



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



MATHEUS GANIKO-DUTRA

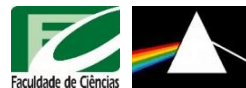
VIDA E CORRESPONDÊNCIA
UMA INVESTIGAÇÃO DO CONCEITO DE INFORMAÇÃO COMO EIXO
INTEGRADOR DO ENSINO DE BIOLOGIA

Bauru

2023



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



MATHEUS GANIKO-DUTRA

VIDA E CORRESPONDÊNCIA
UMA INVESTIGAÇÃO DO CONCEITO DE INFORMAÇÃO COMO EIXO
INTEGRADOR DO ENSINO DE BIOLOGIA

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

Bauru

2023

Ganiko-Dutra, Matheus.

Vida e correspondência: uma investigação do conceito de informação como eixo integrador do Ensino de Biologia / Matheus Ganiko-Dutra, 2023
276 f. : il.

Orientadora: Ana Maria de Andrade Caldeira

Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Ciências, Bauru, 2023

1. Epistemologia da Biologia. 2. Ensino de Biologia. 3. Ensino de Genética. 4. Informação. 5. Linguagem. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

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

Aos 10 dias do mês de outubro do ano de 2023, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de MATHEUS GANIKO DUTRA, intitulada **Vida e correspondência: uma investigação do conceito de informação como eixo integrador do Ensino de Biologia**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Assoc. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - Unesp Bauru, Profa. Dra. FERNANDA DA ROCHA BRANDO FERNANDEZ (Participação Virtual) do(a) Departamento de Biologia / Universidade de São Paulo, Profa. Dra. LILIAN ALCHUEYR PEREIRA MARTINS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Biologia / Universidade de São Paulo, Profa. Dra. THAÍS GIMENEZ DA SILVA AUGUSTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Economia Administração e Educação / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp Jaboticabal, Prof. Assoc. MARCELO CARBONE CARNEIRO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Humanas / Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design - Unesp Bauru. Após a exposição pelo doutorando 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. Assoc. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA


Documento assinado digitalmente
 ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA
Data: 17/10/2023 08:09:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Matheus Ganiko-Dutra

Vida e correspondência: uma investigação do conceito de informação como eixo integrador do Ensino de Biologia

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

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Ana Maria de Andrade Caldeira

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp – Bauru – SP

Prof^a. Dr^a. Fernanda da Rocha Brando

Universidade de São Paulo – USP – Ribeirão Preto – São Paulo – SP

Prof^a. Dr^a. Lilian Al-Chueyr Pereira Martins

Universidade de São Paulo – USP – Ribeirão Preto – São Paulo – SP

Prof^a. Dr^a. Thaís Gimenez da Silva Augusto

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp – Jaboticabal – SP

Prof. Dr. Marcelo Carbone Carneiro

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp – Bauru – SP

Bauru, 10 de outubro de 2023.

À vida em todas as suas manifestações.

AGRADECIMENTOS

A ciência é, essencialmente, um empreendimento coletivo. Para a elaboração desta tese, tive a fortuna de contar com a colaboração de muitas pessoas que tiveram um papel fundamental na minha formação.

Só quem já foi orientado pela Prof^a. Dr^a. Ana Maria de Andrade Caldeira sabe do impacto que essa oportunidade tem em nossas vidas como elemento formativo na carreira de pesquisador. Agradeço-a imensamente pela presença, pelo olhar experiente e comprometido, pelo compartilhamento de saberes científicos, filosóficos, acadêmicos e pelos conselhos de vida. Agradeço pela sua orientação, que, ao mesmo que é disciplinada e rigorosa, também expressa cuidado e respeito, principalmente por ter permitido a escolha de um tema de pesquisa que realmente me atravessasse. Agradeço por ter me apoiado de inúmeras formas, por abrir portas, por ser inspiradora e por me inserir em um campo de pesquisa. Sair do ninho é desafiador, mas, por conta da orientação que recebi, me sinto preparado e animado para buscar novos voos.

Sou eternamente grato aos meus pais Raquel Regina Ganiko e Valdemir Luiz Dutra, que nunca mediram esforços para apoiar minha educação. Agradeço pelos apoios afetivos e também pelos financeiros. Seus sacrifícios não foram em vão: essa tese é nossa. Agradeço pela escuta paciente e conselheira que vocês sempre me ofereceram ao longo da pós-graduação: vocês são meu porto seguro. Acima de tudo, agradeço por me lembrarem de que a vida deve ser comemorada. Agradeço por me lembrarem de celebrar cada conquista. Estendo os agradecimentos à toda minha família.

Agradeço ao Kevin Delphino pela companhia ao longo do percurso, por me oferecer um espaço de escuta e elaboração que precisei em diversos momentos, por se propor a discutir meu objeto de pesquisa nos mais variados momentos (em alguns deles até mesmo na condição de participante de pesquisa) e também por me incentivar e apoiar todas as minhas decisões.

Agradeço à Dr^a. Beatriz Ceschim, professora, parceira de grupo de pesquisa e amiga. A forma como eu enxergo a Biologia atualmente tem grande contribuição sua e sou eternamente grato a isso. Agradeço pelos espaços de discussão fornecidos, pelos *insights* compartilhados, pela disponibilidade ao longo de todo o meu percurso formativo para discutir inúmeros aspectos da pesquisa, pela paciência pedagógica, pela companhia na vida acadêmica e pelo apoio. Especificamente, agradeço ainda pela validação do instrumento de pesquisa e pelos comentários no exame geral de qualificação.

Agradeço também à Júlia Chiti, pela amizade e parceria no percurso formativo. Nossas discussões sobre a vida acadêmica, sobre objetos de pesquisa, sobre a Área de Ensino de

Ciências e sobre a docência são constituintes na minha formação. Muitas vezes, o percurso na pós-graduação é solitário e você contribuiu para que eu não me sentisse sozinho. Compartilhar os anseios e ambições com você deixa o percurso mais leve. Estendo meus agradecimentos a todos os meus amigos que estiveram ao meu lado mantendo a minha sanidade, proporcionando momentos de lazer e apoio.

Agradeço aos membros titulares da banca: Prof^a. Dr^a. Fernanda da Rocha Brando, Prof^a. Dr^a. Lilian Al-Chuyer Pereira Martins, Prof^a. Dr^a. Thaís Gimenez da Silva Augusto e Prof. Dr. Marcelo Carbone Carneiro pelo olhar cuidadoso e científico no material, contribuindo para qualificar a produção e por me oportunizar mais um importante e final momento formativo.

Pelos ensinamentos ao longo das disciplinas do doutorado, agradeço pelo Prof. Dr. Marcelo Carbone e pelo Prof. Dr. Osvaldo Pessoa Jr., que contribuíram para a minha formação filosófica.

Agradeço às pesquisadoras que me antecedem no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia por facilitar o processo ao documentarem as pesquisas realizadas, pelo detalhe da descrição das etapas metodológicas em seus trabalhos e pelo fomento das discussões epistemológicas e da cultura de pesquisa na área. Continuar o caminho por vocês iniciado é uma honra e me traz a sensação de pertencimento.

Essa pesquisa não seria possível sem o entusiasmo genuíno e a disponibilidade dos participantes dos encontros do GPEB no ano de 2022. Vocês abraçaram o problema de pesquisa junto comigo e foram indispensáveis na construção do meu raciocínio. Espero que as discussões também tenham contribuído com a formação de vocês e que vocês nunca percam o interesse legítimo pela Biologia. Obrigado, GPEBers! Também estendo o agradecimento a todos os meus alunos e orientandos, pois ensinar é uma atividade que dá sentido à minha vida e, sem vocês, eu não poderia viver essa realização.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, especialmente ao Prof. Dr. Nelson Pirola, que sempre se demonstrou disposto a me ajudar com questões burocráticas e com a articulação de auxílios. Agradeço por acreditarem em mim e no meu potencial como pesquisador. Os auxílios recebidos foram imprescindíveis para me proporcionar participações em eventos que contribuíram com a ampliação dos meus referenciais e dos interlocutores para a minha pesquisa.

Agradeço às servidoras Patrícia Milani do Departamento de Educação e Julia Carrer da Seção Técnica de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências pela permanente solicitude e disponibilidade para a resolução dos trâmites burocráticos. Vocês facilitaram diversos processos ao longo do percurso.

Agradeço à equipe do Herbário UNBA, principalmente à Prof^a. Dr^a. Veridiana Weiser, que me proporcionaram um espaço em que pude manter minha alma de biólogo viva e pulsando.

Agradeço à Rede PED Brasil, por me proporcionar experiências transformadoras que hoje constituem o professor que eu sou. Vocês me ensinaram o valor de uma comunidade de aprendizagem e a importância de um ambiente seguro e empático de aprendizagem. Em nome da Rede, agradeço especialmente à Andrea Schimtz, pelo acolhimento e incentivo; e à Prof^a. Dr^a. Anelise Grünfeld, pela amizade, pelo companherismo e pelos ensinamentos. Fico feliz que nossas vidas tenham se cruzado! Em nome da equipe PED Unesp, agradeço imensamente à Prof^a. Dr^a. Márcia Lopes, por ser uma pessoa contagiante, cuja simples presença nos motiva e anima para continuar caminhando. Agradeço por todas as oportunidades que você tem me proporcionado.

Agradeço à equipe da Editora Ibero-Americana de Educação, especialmente ao Prof. Dr. José Anderson Cruz, que tem me fornecido um espaço de trabalho alinhado com a minha formação acadêmica. Terminar a pós-graduação no Brasil é um momento de crise, por vezes, até mesmo identitária, e as possibilidades que tenho vislumbrado e materializado na editora me fazem ser grato pela oportunidade de ter acesso a esse espaço tão raro.

Agradeço à CAPES pelo financiamento da minha bolsa de doutorado, que viabilizou a realização dessa pesquisa com dedicação exclusiva. Sem isso, eu não conseguiria ter realizado a pesquisa e ainda entregar os 67 créditos de atividades complementares em dois anos e meio de curso. Espero ter convertido todo o apoio que recebi em produção científica que contribua para a construção de uma formação de professores mais preparada para enfrentar os desafios do mundo de hoje.

“[...] each stopping place is but a pause in arriving at knowledge. Satisfying as it is, it is but the inspiration for a new beginning. [...] No scientific discovery is ever complete. No experience is ever finished or exhausted. New and fresh meanings are forever in the world and in us. [...] The whole process of being within something, being within ourselves, being within others, and correlating these outer and inner experiences and meanings is infinite, endless, eternal. This is the beauty of knowledge and discovery. It keeps us forever awake, alive, and connected with what is and with what matter is life.”

(Clark Moustakas)

GANIKO-DUTRA, Matheus. **Vida e correspondência: uma investigação do conceito de informação como eixo integrador do Ensino de Biologia**. 2023. 276f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Unesp, Faculdade de Ciências, Bauru, 2023.

RESUMO

Levando em consideração a relação triádica do Ensino de Biologia – professor, estudante e conhecimento biológico, professores de Biologia devem apresentar conhecimento pedagógico do conteúdo que os possibilite tomar decisões de planejamento que priorizem a aprendizagem dos estudantes. No contexto do Ensino de Genética, é de grande relevância o conceito de informação. Contudo, algumas investigações têm apontado ausência de consenso científico para sua definição, bem como a possibilidade de tratar-se de uma metáfora. Levando em consideração o potencial de a metáfora causar distorções conceituais no ensino, é importante investigar a construção deste conceito na formação de professores. Além disso, uma percepção de natureza individual, tem sugerido que a informação seja um conceito integrador para o conhecimento biológico. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar a epistemologia do conceito de informação e as concepções que professores de Biologia em formação exibem a respeito dele. Propusemos contribuições teóricas para o debate epistemológico e coletamos dados em encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia com professores em formação por meio de questionários, entrevistas em grupo e representações individuais. Elaboramos uma definição de informação como processo de estabelecimento de correspondência entre dois objetos e como objeto informado. As concepções dos estudantes puderam ser classificadas em duas categorias: i) distorções conceituais de natureza relação-pensamento linguagem ou epistemológica; e ii) compatíveis com o conceito científico proposto. Além disso, identificamos, por meio de uma análise de conteúdo que resultou em um quadro de dupla entrada, que o conceito de informação pode ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia, tendo em vista que, na amostra investigada, os estudantes utilizaram conhecimentos biológicos de diversos recortes de tempo e de diversos níveis de organização para debater acerca da informação.

Palavras-chave: Epistemologia da Biologia. Ensino de Biologia. Ensino de Genética. Informação. Linguagem. Distorção conceitual.

ABSTRACT

Considering the triadic relationship in Teaching of Biology – teacher, student and biological knowledge, Biology teachers should have pedagogical content knowledge that allow them making planning decisions that prioritize students learning. In the context of Teaching of Genetics, the concept of information is of great relevance. However, some investigations have pointed the lack of scientific consensus for its definition, as well as the possibility of information being a metaphor. Once that metaphor may cause misconceptions in teaching, it is important investigating the construction of this concept in teacher education. Besides that, a perception from individual nature suggested that information may be an integrating concept for biological knowledge. In this sense, we aimed investigating the epistemology of the concept of information and the conceptions Biology teachers in training exhibited about it. We offered theoretical contributions for the epistemological debate and collect data in meetings at the Epistemology of Biology Research Group with teachers in training using questionnaires, group interviews and individual representations. We proposed a definition of information as the process of stablishing a correspondence between two objects and as the informed object. Students' conceptions were classified in two categories: *i*) misconceptions from tough-language relationship nature and epistemological one; and *ii*) compliant with the scientific concept proposed. Moreover, we identified, through a content analysis that resulted in a double entry panel, that the concept of information can be an integrating axis for Teaching of Biology, once that, in the sample investigated, students used biological knowledges in different time scales and in different levels of organization when discussing information.

Keywords: Epistemology of Biology. Teaching of Biology. Teaching of Genetics. Information. Language. Misconception.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Diagram representing the relation among the four uses of genetic information. Arrows indicate a reciprocal interaction between genetic information itself and environmental information.	32
Figure 2. Diagram representing three types of relationships among objects that characterize information. Association is the simplest, and representation is the most complex.	33
Figure 3. Diagram representing two types of representation: natural and arbitrary. The squares represent the physiological landscape of an organism. Arrows indicate correspondence, and dotted lines represent representation.....	37
Figure 4. Diagram representing information at different levels of organization and on different timescales. The rectangle represents an organism, and balls represent any given object. Arrows indicate correspondences.....	38
Figura 5. Etapas metodológicas da investigação.	47
Figura 6. Representação do conceito de informação genética produzido pelo estudante E2..	63
Figura 7. Fluxograma das etapas da análise de conteúdo executadas neste capítulo.	75
Figura 8. Captura de tela da base de dados “Unidades de registro” do Notion. As colunas representam as propriedades da base de dados e são exibidos alguns exemplos de como as informações referentes à cada unidade de registro foram preenchidas.....	77
Figura 9. Captura de tela da base de dados “Quadro categorial de dupla entrada” do Notion. As colunas representam as propriedades da base de dados, referentes às categorias da dimensão temporal. Nas linhas, é possível verificar as categorias da dimensão estrutural. Os espaços estão preenchidos pelas unidades de registro da base de dados “Unidades de registro”.	78
Figura 10. Diagrama do percurso formativo estruturado a partir das categorias fundamentais da experiência: Primeirdade, Secundidade e Terceiridade. Os números de 1 a 8 representam diferentes momentos do percurso formativo: 1. Definição do problema; 2. Planejamento da pesquisa; 3. Obstáculos metodológicos; 4. Obstáculos teóricos; 5. Investigação teórica; 6. Investigação empírica; 7. Integração da investigação; e 8. Continuidade da pesquisa. A espiral de triângulos representa a continuidade da experiência <i>ad infinitum</i>	101
Figure 11. Fotografia dos cartazes utilizados como rascunhos dos diagramas da pesquisa.	108
Figura 12. Representação de E1 para responder “o que é informação genética”.	152
Figura 13. Representação de E2 para responder “o que é informação genética”.	153
Figura 14. Representação de E5 para responder “o que é informação genética”.	154
Figura 15. Representação de E7 para responder “o que é informação genética”.	155

Figura 16. Lousa com anotações realizadas ao longo do encontro.....	187
Figura 17. Representação de E1 para responder “o que é informação genética”.....	198
Figura 18. Representação de E2 para responder “o que é informação genética”.....	199
Figura 19. Representação de E6 para responder “o que é informação genética”.....	200
Figura 20. Representação de E7 para responder “o que é informação genética”.....	201
Figura 21. Representação de E1 para responder “o que é informação genética”.....	214
Figura 22. Representação de E2 para responder “o que é informação genética”.....	215
Figura 23. Representação de E4 para responder “o que é informação genética”.....	216
Figura 24. Representação de E5 para responder “o que é informação genética”.....	217
Figura 25. Representação de E6 para responder “o que é informação genética”.....	218
Figura 26. Representação de E1 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.....	224
Figura 27. Representação de E2 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.....	225
Figura 28. Representação de E3 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.....	226
Figura 29. Representação de E4 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.....	227
Figura 30. Representação de E5 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.....	228
Figura 31. Representação de E6 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.....	229

Figura 32. Proposta de definição de informação apresentada ao grupo.	232
Figura 33. Diagrama representando a definição de informação indicando elementos dos conjuntos A e A' que ao longo do tempo passam a estabelecer relações de correspondência.	232

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Respostas ao questionário final, indicando a quantidade de assertivas assinaladas em cada opção da escala Likert. O eixo x corresponde à quantidade respondentes e o eixo y corresponde às assertivas indicadas no quadro 4.....	67
Gráfico 2. Respostas para a pergunta 1 do questionário final.	258
Gráfico 3. Respostas para a pergunta 2 do questionário final.	258
Gráfico 4. Respostas para a pergunta 3 do questionário final.	259
Gráfico 5. Respostas para a pergunta 4 do questionário final.	260
Gráfico 6. Respostas para a pergunta 5 do questionário final.	261
Gráfico 7. Respostas para a pergunta 6 do questionário final.	261
Gráfico 8. Respostas para a pergunta 7 do questionário final.	262
Gráfico 9. Respostas para a pergunta 8 do questionário final.	263
Gráfico 10. Respostas para a pergunta 9 do questionário final.	264
Gráfico 11. Respostas para a pergunta 10 do questionário final.	265
Gráfico 12. Respostas para a pergunta 11 do questionário final.	266
Gráfico 13. Respostas para a pergunta 12 do questionário final.	267
Gráfico 14. Respostas para a pergunta 13 do questionário final.	268
Gráfico 15. Respostas para a pergunta 14 do questionário final.	269
Gráfico 16. Respostas para a pergunta 15 do questionário final.	270
Gráfico 17. Respostas para a pergunta 16 do questionário final.	271
Gráfico 18. Respostas para a pergunta 17 do questionário final.	272
Gráfico 19. Respostas para a pergunta 18 do questionário final.	272
Gráfico 20. Respostas para a pergunta 19 do questionário final.	273
Gráfico 21. Respostas para a pergunta 20 do questionário final.	274
Gráfico 22. Respostas para a pergunta 21 do questionário final.	275

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Descrição dos encontros realizados, apresentando a data, atividades e dados produzidos em cada um deles.....	49
Quadro 2. Assertivas do questionário final respondido pelos estudantes. A segunda coluna apresenta aquilo que a assertiva busca verificar e a terceira coluna apresenta a possível distorção conceitual associada à assertiva.....	51
Quadro 3. Categorias de análise das concepções dos estudantes e seus respectivos indicadores.	53
Quadro 4. Assertivas para coleta de dados no questionário final. As respostas foram estruturadas segundo a escala Likert com quatro opções mediante justificativa em caso de discordância (concordo plenamente, concordo parcialmente, discordo parcialmente e discordo totalmente).....	61
Quadro 5. Quadro de dupla entrada das categorias da dimensão temporal (colunas) e da dimensão estrutural (linhas). Nos cruzamentos, apresentamos os códigos que usaremos para nos referirmos à cada combinação possível entre duas categorias, uma de cada dimensão.....	77
Quadro 6. Quadro categorial de dupla entrada. As colunas exibem as categorias da dimensão temporal: fisiológico, ontogenético, evolutivo; e as linhas exibem as categorias da dimensão estrutural: ambiente externo, organismo e ambiente interno. Cada espaço do quadro é preenchido pelas unidades de registro que foram incluídas nas categorias que cruzam o quadrante.	79
Quadro 7. Quadro categorial da experiência formativa. Nas linhas são descritas as etapas da pesquisa e nas colunas são identificadas as categorias da experiência.	103
Quadro 8. Apresentação de cada tipo de dado produzido por cada estudante em cada encontro e etapa dos encontros no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia.	125

SUMÁRIO

TRAJETÓRIA DO PESQUISADOR.....	21
INTRODUÇÃO	23
CAPÍTULO 1	26
INTRODUCTION.....	27
1 INFORMATION AS A FUNDAMENTAL PRINCIPLE FOR BIOLOGY	27
2 THE DEBATE ABOUT INFORMATION	28
3 THE CONCEPT OF INFORMATION: A PURPOSE OF A DEFINITION.....	32
4 CATEGORIES OF INFORMATION	33
4.1 ASSOCIATION.....	34
4.2 CORRESPONDENCE	34
4.3 REPRESENTATION.....	37
5 INFORMATION: A LIFE PHENOMENON.....	38
6 CONCLUDING REMARKS	41
REFERENCES.....	41
CAPÍTULO 2	45
METODOLOGIA	46
A METÁFORA DA COMUNICAÇÃO NA COMPREENSÃO DO CONCEITO DE INFORMAÇÃO GENÉTICA: UMA INVESTIGAÇÃO DA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA	54
Introdução.....	56
O conceito de informação genética.....	57
Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no Ensino de Biologia	58
Metodologia.....	60
Resultados e discussão	62
Considerações Finais	68
REFERÊNCIAS	69
CAPÍTULO 3	73
INTRODUÇÃO	74
METODOLOGIA	74
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
Descrição das Categorias	80

INFORMAÇÃO COMO UM EIXO INTEGRADOR PARA O ENSINO DE BIOLOGIA.....	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
CAPÍTULO 4.....	98
INTRODUÇÃO.....	99
METODOLOGIA.....	99
META-ANÁLISE.....	102
1 Definição do problema.....	105
2 Planejamento da pesquisa.....	106
3 Obstáculos metodológicos.....	107
4 Obstáculos teóricos.....	109
5 Investigação teórica.....	112
6 Investigação empírica.....	113
7 Integração da investigação.....	113
8 Continuidade da pesquisa.....	114
CONSIDERAÇÕES RIZOMÁTICAS.....	115
REFERÊNCIAS.....	117
ANEXO A.....	121
CADERNO DE MATERIAL SUPLEMENTAR.....	124
APRESENTAÇÃO.....	125
ETAPA INICIAL.....	126
RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO INICIAL.....	127
ENCONTRO 02 – 05/JUL/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO.....	129
ENCONTRO 02 – 05/JUL/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES.....	152
ENCONTRO 03 – 12/JUL/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO.....	156
DESENVOLVIMENTO.....	173
ENCONTRO 06 – 09/AGO/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO.....	174
ENCONTRO 06 – 09/AGO/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES.....	198
ENCONTRO 08 – 03/OUT/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO.....	202
ENCONTRO 09 – 10/OUT/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO.....	208
ENCONTRO 08 E 09 – 09 E 10/OUT/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES.....	214
ENCONTRO 10 – 17/OUT/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO.....	219

ENCONTRO 10 – 17/OUT/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES	224
ENCERRAMENTO.....	231
ENCONTRO 13 – 09/JAN/2023: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO	232
ENCONTRO 14 – 16/JAN/2023: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO	242
ENCONTRO 15 – 30/JAN/2023: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO	248
RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO FINAL	258

TRAJETÓRIA DO PESQUISADOR

Existem marcos históricos que determinam contornos na cronologia da minha formação, bem como do presente trabalho. Entretanto, o tempo do pensamento filosófico não é o mesmo tempo da nossa organização institucional acadêmica. O tempo do pensamento filosófico é teimoso: resiste à nossa disciplina e ao nosso planejamento. Por mais que eu me sente às 8h da manhã com uma tela em branco à minha frente, às vezes a ideia que vai acrescentar um tijolo a tese em formulação aparece durante o banho ou em um passeio durante o fim de semana.

Apesar disso, percebo fechamentos na minha formação marcados pelo fim da graduação, a conclusão do mestrado e a conclusão do doutorado. Porém, o trabalho que apresento nesta tese não foi desenvolvido apenas a partir de 2021 quando ingressei no curso presente. Ela representa o ponto mais maduro do pensamento que venho construindo desde que entrei no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia – GPEB, em 2018, e me incomodei com esta questão de pesquisa que desde então me atravessa durante os mais variados momentos da minha vida. Lembro-me de um encontro, em que a palavra “informação” havia surgido aleatoriamente, para discutir evolução e teleologia. Naquele momento, fiquei me questionando: o que seria a informação genética? Seria a informação do DNA a mesma informação de um livro, a mesma informação das sinapses? Seria a informação um terceiro domínio próprio da realidade, ao lado de energia e matéria?

Desde então, penso na questão da informação na Biologia enquanto lavo louça, enquanto dirijo e enquanto pratico exercícios. Quando estou lendo livros e artigos dos mais variados temas, até mesmo não relacionados à Biologia, sou presenteado por momentos de êxtase e de inspirações sobre informação. **É engraçado como o cérebro constrói correspondências.** Ao longo da minha vida, sempre tive interesse por assuntos muito variados e que, por vezes, me pareciam incompatíveis: ensino, micologia, botânica, fotografia, educação ambiental, epistemologia... A lista é longa. Estes distintos interesses me fizeram desenhar diversas pesquisas possíveis para serem conduzidas durante este curso. Flertei com diversos problemas de pesquisa, tentei me aprofundar em diversos referenciais teóricos, o que me rendeu certa bagagem difusa. Mas não consegui escapar da questão que mais me atravessava: o que é informação?

Fui acumulando conhecimento nas mais diversas áreas e hoje, após sistematizar esse conceito, percebo que, a partir dele, consigo integrar tudo o que já aprendi. Neste sentido, a partir da minha experiência, concordo com Scheiner (2010) ao afirmar que informação é um conceito estruturante para a Biologia, pois, uma vez que construí uma teoria pessoal sobre

informação (e que, espero, torne-se coletiva), passei a ver os conceitos que eu já tinha aprendido de outra forma.

INTRODUÇÃO

O Ensino de Biologia, atualmente orientado em uma perspectiva de alfabetização científica, requer a articulação entre professor, estudante e conhecimento biológico (CALDEIRA; BASTOS, 2009). A fim de cumprir o objetivo da alfabetização científica, alinhado com a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), o professor deve desenvolver, ao longo de sua formação, conhecimento pedagógico do conteúdo (SHULMAN, 1986). Tal conhecimento permitirá que o professor tome decisões acerca do planejamento das aulas que priorizem a aprendizagem dos estudantes levando em consideração as características do conteúdo científico.

Levando em consideração a alfabetização científica como critério organizador do currículo, atualmente, existem diversas questões socioambientais acerca das quais é necessário que os cidadãos tenham conhecimento biológico para interpretar e intervir. Algumas dessas questões são de ordem molecular na Biologia. Nesse sentido, podemos citar o uso de organismos geneticamente modificados na agricultura e no controle de vetores de epidemias, as vacinas de DNA e RNA, terapia gênica e edição de genes por CRISPR-CAS-9, por exemplo. Para que os estudantes sejam capazes de participar das tomadas de decisão relacionadas a estas questões, será preciso que eles aprendam sobre conceitos da Genética. Neste sentido, é importante que os professores dominem com profundidade o conceito de informação genética para tomar decisões pedagógicas de planejamento a fim de promover as experiências de aprendizagem mais compatíveis com a aprendizagem.

Apesar de a informação ser apontada como um princípio fundamental da Biologia (SCHEINER, 2010) e indicada como um conceito prioritário de ser ensinado no currículo do Ensino Médio (CARVALHO; EL-HANI; NUNES-NETO, 2020), não há consenso científico para a definição sua definição. Alguns autores indicam que o uso desse conceito é metafórico (LEVY, 2011; MATURANA, VARELA, 2001), e nosso grupo de pesquisa tem investigado a forma como a metáfora e outras figuras de linguagem e polissemia podem causar distorções conceituais no Ensino de Biologia (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020; GANIKO-DUTRA, 2021).

Nesse contexto, justificamos a importância de investigar a construção do conceito de informação para ser usado no Ensino de Biologia de forma que permita a aprendizagem sem causar distorções conceituais. O objetivo principal desta tese é investigar a epistemologia do conceito de informação e as concepções que professores de Biologia em formação exibem a respeito dele. Como objetivos específicos, podemos apontar (1) contribuir com o debate epistemológico acerca do conceito de informação na Biologia; (2) descrever as concepções

metafóricas que professores de Biologia em formação exibem para este conceito; (3) listar obstáculos de aprendizagem para o conceito de informação; (4) identificar estratégias que contribuam para que professores em formação enfrentem tais obstáculos; e (5) investigar a possibilidade de o conceito de informação ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia.

Nesta produção acadêmica de conclusão de curso de doutorado, defendemos a tese de que a informação é um princípio fundamental da Biologia, apresentando como essência, a correspondência entre dois elementos. Defendemos que as correspondências atravessam os fenômenos biológicos em diversas escalas de tempo e níveis de organização e, por isso, o conceito de informação pode ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia.

Optamos por estruturar essa tese em capítulos, alguns deles com artigos. Para isso, dividimos o documento em quatro capítulos. No primeiro capítulo, apresentamos um ensaio filosófico na forma de artigo científico, submetido ao periódico *Biology & Philosophy* (Qualis CAPES A1), que se encontra nas etapas iniciais de avaliação. A partir de uma abordagem epistemológica, discutimos o conceito de informação como princípio fundamental e conceito estruturante do conhecimento biológico. Trata-se de um resgate da discussão presente na literatura científica, principalmente no periódico citado. Além disso, incluímos novos olhares a partir dos conceitos de marcador somático de Antônio Damásio (2012) e de acoplamento estrutural de Maturana e Varela (2001).

No segundo capítulo, apresentamos uma investigação empírica da compreensão do conceito de informação genética conduzida com professores de Ciências e Biologia em formação no âmbito do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB). No início do capítulo descrevemos a metodologia empregada para a coleta e análise de dados. Em seguida, categorizamos as concepções dos estudantes a partir da natureza das distorções conceituais identificadas. A partir disso, optamos por nos aprofundarmos na compreensão de como a linguagem metafórica estrutura o pensamento acerca desse conceito. Para isso, estruturamos um artigo que discute as distorções conceituais a partir da relação pensamento-linguagem, com ênfase no papel da metáfora; que foi submetido e aceito na Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação (Qualis CAPES A1). Os dados brutos estão publicados na forma de um “Caderno de Material Suplementar” ao final deste documento, após os anexos.

No terceiro capítulo, refletimos acerca do potencial de a informação ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia e fazemos alguns desdobramentos didáticos. Para isso, organizamos as falas dos estudantes em categorias de recorte de tempo e de níveis de organização da vida, tendo como referência o organismo. A partir dessa categorização, verificamos que, ao debater acerca do conceito de informação ao longo dos encontros do grupo,

os estudantes mobilizaram conhecimentos de fenômenos que variavam do tempo fisiológico ao tempo evolutivo; bem como do nível celular ao nível ecossistêmico, concluindo o fechamento dos objetivos de investigação e relacionando as ideias dos dois capítulos iniciais.

O quarto e último capítulo apresentará uma meta-análise do percurso do pesquisador. Para isso, a partir do conceito da experiência e da Semiótica Peirceana, discutiremos os principais obstáculos teóricos enfrentados e como eles foram solucionados ao longo do processo formativo no curso de doutorado, conduzindo o investigador à autonomia na investigação científica na área de Ensino de Ciências e Biologia, com ênfase em Epistemologia da Biologia e Didática.

CAPÍTULO 1

Informação na Biologia: uma síntese

Artigo submetido ao periódico *Biology & Philosophy*

Information in Biology: A Synthesis

Abstract: Information is considered a fundamental principle for Biology; however, its definition is not consensual in the Science of Biology or in other fields. Given its importance for understanding life phenomena, this article offers a synthesis of the concept of information contributing to building a theory in philosophical debate. Regarding the debate about genetic information, a literature investigation points out that there is no consensus for a unifying theory, and authors use the term to talk about molecules, nucleic acids, signals from the environment and scientific data. We define information as the process of building a correspondence between two elements and as these objects that were informed. Depending on the complexity, information can be categorized as association, correspondence or representation. We offer a theoretical framework to understand the implications of classifying information as a biological phenomenon in time and at hierarchical levels. By offering a synthesis, we hope that the discussion organizes the debate about this concept and that it helps to identify patterns shared among different manifestations of biological phenomena.

Keywords: Information; Language; Structural Coupling; Physiological landscape; Embodiment; Varela

INTRODUCTION

In Biology, we use informational language to speak about several phenomena. Bacteria may share information through horizontal transmission of genes. The Chilean vine *Boquila trifoliata* can read the environmental information of the leaves from other plants from distinct species around it and reproduce their morphologies in its own body. Fungal mycelia in the soil allow communication among plants, making it possible for one plant to share information with others. In regard to human beings, we interact with information in ways that are even more sophisticated, in contexts that vary from teaching and learning to binary codes, for example.

The concept of information plays a key role in Biology, although its definition does not yet have a consensus. In recent research made from the discussion presented in this journal about the concept of “genetic information”, it was possible to identify distinct comprehensions of this concept (Ganiko-Dutra 2021). Once language is limited in representing phenomena, some losses or distortions are expected when trying to put a complex idea into words. Some authors believe that genetic information is about a biological phenomenon (Godfrey-Smith 2008; Planner 2014; Shea 2011), while others may say it is a metaphor (Levy 2011).

In Biology, informational words are not limited to genetic and molecular phenomena. They are also present in Ethology when we talk about animal communication as one “transmitting a piece of information” to another, in Neuroscience when we say that the nervous system processes information or that information is transmitted via synapses, and in Cell Physiology when we say that a given molecule in a membrane receptor can inform a cell about something. With so many ideas and comprehensions for this vague concept, a question that remains open for Biology is what we are talking about when we talk about information. In this work, we looked for the essences of this concept. Performing the phenomenological exercise of epoché, we reached some conclusions.

Two questions guide this essay: “What is information?” and “What is its importance for Biology?”. The aim of this article is to contribute to shedding light on the debate that seeks a theory of information. In the first section, we present a theoretical background to understand this concept as a fundamental principle that structures biological knowledge. In the second section, we indicate the debate and dive into the debate about genetic information in this journal. In sections three and four, we present our definition of information and explore some examples. Finally, in the fifth section, we frame the concept as life phenomena and organize a theoretical structure to understand it.

1 INFORMATION AS A FUNDAMENTAL PRINCIPLE FOR BIOLOGY

In this section, we point out the importance of the concept of information for biological knowledge. Although there is no consensus regarding a theory of Biology that indicates the main concepts that structure its science, in some purposes, information is indicated as a fundamental principle (Carvalho, El-Hani and Nunes-Neto 2020). Scheiner (2010), when proposing a hierarchical theory of Biology, suggested its organization in three levels: the broader theory, which was named general theories of Biology (Cell, Genetics, Evolution, Ecology and Organism); the middle level, which represented constitutive theories; and the more specific level, which was structured in means of models.

Above all these theories, Scheiner listed ten fundamental principles that describe biological systems, searching for an overarching theory of Biology. The author says that “fundamental principles are meant to be broad in scope, often encompassing multiple interrelated patterns and mechanisms” (Scheiner 2010, p. 297) and explains that they consist of concepts and confirmed generalizations. The author states rules for theory construction, and in regard to the fundamental principles, it is said that they must be shared among all general theories and connected and that each one of them should encompass a single concept.

When describing the theory of Biology, Scheiner states the third principle as “Life requires a system to store, use, and transmit information” (Scheiner 2010, p. 299). Presenting this principle, the author continues by saying, “The third fundamental principle—information—recognizes that life is ordered complexity and that order contains information (Quastler 1953). For living organisms to maintain themselves, they must have “a way to capture and use the information contained in that order” (Scheiner 2010, p. 300). The fundamental principle of information structures the general theory of Genetics, whose domain is “the patterns and processes of the use, storage, and transmittal of information in organisms” (Scheiner 2010, p. 303).

Although we do not agree with these definitions of information that suggest that it may be something beyond nucleic acids, such as some type of metadata, we agree with Scheiner in the sense that information is a fundamental principle in Biology, because it organizes the comprehension of this science and can be applied to all of its general theories, creating links among them.

In this sense, it is said that information is a pervasive principle in biological phenomena (Scheiner 2010); however, philosophical debate about it did not point toward a consensus definition for this concept. Not having a unifying theory about information may impact the way we understand how this principle structures Biology as an autonomous science. Therefore, it is important that we develop a potential unifying theory for it. In the next section, we present the philosophical debate about information by means of the example of the debate about genetic information.

2 THE DEBATE ABOUT INFORMATION

Information seems to be a clearly defined concept once it is used in our everyday life very often. However, in this section, we indicate the discussion that exists around it. Although this word is problematic in the field of natural sciences, information *per se* is a problematic concept outside Biology. Despite the importance of the concept information for this science, it is known that it did not arise inside of this field, as indicated by the use of this word in our everyday lives. There is divergence about its definition, and it can mean different things according to each context. Buckland (1991) points out the ambiguity of the term, suggesting three uses for it. The author suggests that it exists i) information-as-process, i.e., the communication of the knowledge, when someone is informed; ii) information-as-knowledge, i.e., what is perceived in information-as-process; and iii) information-as-thing: objects that are informative (Buckland 1991, p. 351).

Beyond three different uses for the term, Capurro and Hjørland (2007) map many other definitions and applications for the term in different areas, such as in information sciences, in human and social sciences and in natural sciences. They discuss the use of the term in everyday use, its Latin and Greek origins, and its interdisciplinary nature. In regard to the Latin etymology of the term, one possible meaning is something related to shaping the form of something (*informatum*) (Capurro and Hjørland 2007, p. 156). Given all these ambiguities involving this concept, it is not surprising that it also consists of a chaotic term in Biology.

Mapping the uses for the concept of “information” in the context of Genetics in the articles published in the journal *Biology & Philosophy* between 2000 and 2020, Ganiko-Dutra (2021) analyzed 28 works and identified four categories that differ according to the object that the authors were referring to when they used this term: i) molecular-organizational information, ii) genetic information itself, iii) environmental information, and iv) scientific information. In the next paragraphs, each of them will be described in terms of a) its definition of information, b) its main concepts, and c) the relationship between thought and language each of them evoke, consisting of a denotative expression or in a metaphor in the sense of Lakoff and Johnson (2003) and Ceschim, Ganiko-Dutra and Caldeira (2020).

The first category encompasses the uses of information to describe organizational aspects from molecules in time and in space, exceeding the exclusive context of nucleic acids (Ganiko-Dutra 2021, p. 41-47). The main concepts of this category are entropy, organization, and restriction. In some cases, information is synonymous with order and can be measured by entropy (Haig 2014; Rohwer and Barott 2013). “Physical information” was another

denomination found for naming this use of this word (Rohwer and Barott 2013). It could also be understood as a metaphor for describing the organizational pattern of molecules in biological contexts and how they change or are preserved over time, resulting in different organisms through evolution (Kauffman, Logan, Este, Goebel, Hobill and Shmulevich 2008, p. 35). The different patterns are preserved over time through the capacity of self-organization from the organisms that sustain their own physical and chemical structure over time (Wilkins, Stanyon and Musgrave 2012).

For some authors, the idea of restriction is important to understand information. Once restrictions impose limits and generate different events, the accumulation of these differences over time results in information and even in the emergence of a code (Kauffman et al. 2008). The differences between molecules and their patterns in cells are relevant because they are different and would not matter if they were all the same. Molecular-organizational information is related to these differences (Ganiko-Dutra 2021).

Kauffman et al. (2008) use the term “instructional informational” to indicate the property of genes to give origin to protein products and admit that, over time, genes can acquire meaning. Ganiko-Dutra (2021) rejects the use of the term “instructional” since it may cause conceptual distortion by teleology when attributing purpose to gene metabolism, considering it a metaphor. In this sense, in regard to the relationship between thought and language for this category, molecular-organizational information was considered a denotative expression when it is related to physical descriptions of the world but was considered a connotative expression when evoking a symbolic dimension, such as “instruction”. Although related to nucleic acids, molecular-organizational information can describe any molecule in a biological context, such as structural molecules of organisms and molecules from the environment (Ganiko-Dutra 2021).

The category of “genetic information itself” describes the use of information in a specific context of nucleic acids and is related to its particular structural and functional properties, although in a blurred way (Ganiko-Dutra 2021). Most of the time, the authors in the articles investigated referred to the structure and function of nucleic acids when using the word “information”, even from different epistemological perspectives (Ganiko-Dutra 2021, p. 47-65). Compared with the previous category, although genetic information itself also refers to a molecule, similar to molecular-organization information, the present category is related to a specific type of biomolecule: the nucleic acid and its informational properties. In this sense, it is reasonable that nucleic acids may be read, transcribed, translated, copied, and interpreted.

The concepts that structure this category are transmission, metabolic control, measurability, sequence properties, code, natural selection and semantics. Each of these concepts will be briefly explored. In the scientific debate on this topic, an orthogonal pattern of transmission of information emerges (Ganiko-Dutra 2021). Horizontally, information is transmitted through transcription and translation of DNA into protein products that have physiological effects (Bromham 2016; Stegmann 2004; Wilkins et al. 2012). Vertically, information is transmitted through replication of DNA and through reproduction, resulting in transgenerational transmission with evolutive effects (Bergstrom and Rosvall 2011a, b; Stegmann 2004; 2012).

In regard to the physiological axis of transmission, some authors describe genetic information in terms of metabolic control. Usually, this metabolic dimension is comprehended in terms of an association between the genome and a computer program, which was named the “genetic program” (Planer 2014). In this approach, the processing of DNA information by the cell would be analogous to a computer running a program. This information would consist of what is necessary for an organism to build itself, controlling what proteins to produce and in which context (Planer 2014). In this sense, we may say again that the content of genetic information is instructional, as discussed by some authors (Austin 2015; Kjosavik 2007, p. 340; Pridmore 2008; Shea 2007). However, there is also a purpose to consider the DNA not the information itself but the processor of it, just as defended by Planer’s theory of signaling games (2014) and by the comparison of DNA with an algorithm (Wilkins, Stanyon and Musgrave 2012, p. 220). From this perspective, genes send and receive information in a network of communication that regulates metabolism.

Knight (2007) suggests that genetic information may be measured in bits. These purposes are in accordance with Shannon’s mathematical theory of information (Shannon 1948). Against this numeric perspective, other authors defend that what matters about information is not the numbers but their meaning (Robinson and Southgate 2010; Shea 2007). Haig (2014) indicates that the content of genetic information is the characteristic that allows the organism to survive and reproduce in each environment. Most of these theories address only the role of determining the characteristics of organisms to the genome, consisting of a reductionism of phenotypic building,

ignoring other important aspects that may contribute to the phenotype of the organism (Ceschim, Ganiko-Dutra and Caldeira 2021).

The sequential properties of nucleic acids make the existence of the code possible (Godfrey-Smith 2007; Mosini 2013). The existence of a sequence of nitrogenous bases in one molecule (DNA) and its chemical combination one by one that gives origin to another molecule of a similar kind (RNA) is what makes possible the transmission of information (Godfrey-Smith 2007, p. 432; Kjosavik 2007, p. 345). This property is also used as an argument to justify the special causal role of nucleic acid over other causal elements, such as environment, once the sequential property is observed only in the first (Stegmann, 2012), although other authors defend the opposite, getting closer to multifactorial causation to phenotype (Kjosavik 2014).

Stegmann (2004) indicates that the genetic code is chemically arbitrary, and Bergstrom and Rosvall (2011) defend that the function of the DNA is transmitting information; once that among some possibilities of correspondences between codons and amino acids, the most efficient ones were selected (Fox 1987). Stating that code is chemically arbitrary means that the reasons why a given codon corresponds to a given amino acid are arbitrary in the sense that it does not have a chemical principle that explains this correspondence (Stegmann 2004). The chemical properties that allow the combination of GGA with glycine are the same and could lead to the combination of GGA with valine, for example. Therefore, the reasons that explain why each codon corresponds to each amino acid in the genetic code are of an evolutionary order. This argument evokes an evolutive dimension of genetic information and sustains the vertical axis of its flow.

In this vertical discussion, there are divergences about the main point of genetic information. In the transmissive information trend, some authors advocate that the main point is the transmissional property of the DNA (Bergstrom and Rosvall, 2011a, b; MacLaurin 2011; Godfrey-Smith 2011), while others, in the semantic information trend, advocate that the main point is the content of this message, which has a selective dimension and may represent a given past environmental condition in which the organism lived (Haig 2014; Kõiv 2020; Shea 2007). Ganiko-Dutra (2021) argues that semantic information is adaptationist because only those fragments of DNA that underwent a selective episode would exhibit information, while those other fragments maintained by genetic drift would not. From this perspective, genetic information would exist only in those DNA fragments selected.

Other authors reject the symbolic dimension of genetic information, because as soon as the representation implies the existence of a mind, DNA does not represent a second mind; rather, DNA itself is a thing (Kauffman et al. 2008; Kjosavik 2007, p. 348), as discussed in Sections 3 and 4. Ganiko-Dutra (2021) agrees with this argument and reinforces that genetic information is about molecules and chemical reactions themselves. The author also considered all the uses of genetic information itself a metaphor, in accordance with Levy (2011).

The third category identified, environmental information, may be defined as “signals from the internal and external environment of the organism that interact directly or indirectly with the nucleic acid” (Ganiko-Dutra 2021, p. 90). The structural concepts of this category are processing and signaling. In this category, the authors’ use of the term “information” suggests that genes are not comprehended as information but as processors of environmental information (Kauffman et al. 2008; Lean 2014). The genome may emit different responses according to the environment in which the organism is and to the stimuli that reach the molecular environment of the cell (Mosini 2013). From this perspective, environmental information may include molecules from the external environment of the organism, molecules from the metabolism of the organism, sound waves, light, energy, or gravity (Ganiko-Dutra 2021, p. 73).

Environmental information may interact with the genome at various levels of organization through a metabolic chain, crossing the organismic level until the molecular level (Ganiko-Dutra 2021). For example, light may hit a plant leaf, and this signal can be converted many times into other molecules inside the plant cell until it reaches the nucleus and reacts with nucleic acids, resulting in a protein product. Ganiko-Dutra (2021) exemplifies this phenomenon, describing the perception of light by phytochromes. Kauffman et al. (2008) called this process of propagated information.

Planer (2014) proposes the theory of signaling games for understanding the molecular gene network that processes information. The author frames genes as senders and receivers of information. In this sense, the information may be, for example, a transcription factor produced by one gene (sender) that will be read by another gene (receiver). This last one, in turn, may produce another molecule and be a sender.

These purposes sketch the idea that information is in the environment and is processed by genes. However, there is another approach for this category that suggests that the information is, indeed, in DNA but that

its content is *about* the environment. Once the information that is present in DNA happens to survive natural selection over time, it may contain data about the environment in which the organism lived (Cofnas 2017), as already discussed before in other categories. For example, if an analysis of the DNA of a plant suggests that a particular DNA fragment could result in a protein that thickens the cuticle of a leaf, this could be information that suggests that the environment in which this plant lives receives abundant sunlight.

Similar to the category of molecular-organizational information, Ganiko-Dutra (2021) considered this expression denotative when related to physical description and connotative when related to a symbolic dimension or to communication.

The last category identified, scientific information, gathers units of meaning that suggest that the use of “information” by the authors investigated is related to biological phenomena through scientific activity (Ganiko-Dutra 2021, p. 91). Authors referred to this word when describing scientific processes of investigation. The term genetic information is used by some authors to refer to human endeavor to systematically understand the word and its biological phenomena. Shea (2007, p. 314), when talking about genetic information, says that “it is information in the sense that its presence allows us to work things out”, and Rohwer and Barott (2013, p. 288), when explaining virus DNA, state that “the majority of the information contained in viral genomes is unknown”. This statement indicates that humanity still does not know the information that is in the viral genome. This use of the concept of information defines it as scientific knowledge. Something is information as it is reported in a scientific communication that results from scientific research.

To illustrate, we may think about a mycologist studying a new species of fungus. The size of the basidiome, its shape and its color, for example, are data produced during the research. Similar to how we may think about these data as mycological information, we may think about genetic information as the data collected in an inquiry about genes, such as its sequence of nitrogenous bases. From this perspective, genetic information is synonymous with scientific knowledge. We may call scientific information what we know about genes (Bromham 2016). In this definition, information is something that exists only if a human being is thinking about it: It is a product of human culture. The concepts that structure this definition are historic information, measurability, and technical application.

Informational language may be justified by taking into consideration the historic context of the studies regarding DNA structure. In the 1950s, Schrödinger suggested that the essential information of life was inside the cell nucleus. By that time, researchers were guided by this theoretic approach, and the discovery of nucleic acids motivated the use of these informational terms to describe their function (Andrade and Caldeira 2009). Currently, nitrogenous base sequences are easily identified using third-generation sequencers (Heather and Chain 2016), and the strong correlation between codons and amino acids allows us to predict the phenotypic traits of organisms from their sequences of nitrogenous bases (Knight 2007, p. 296).

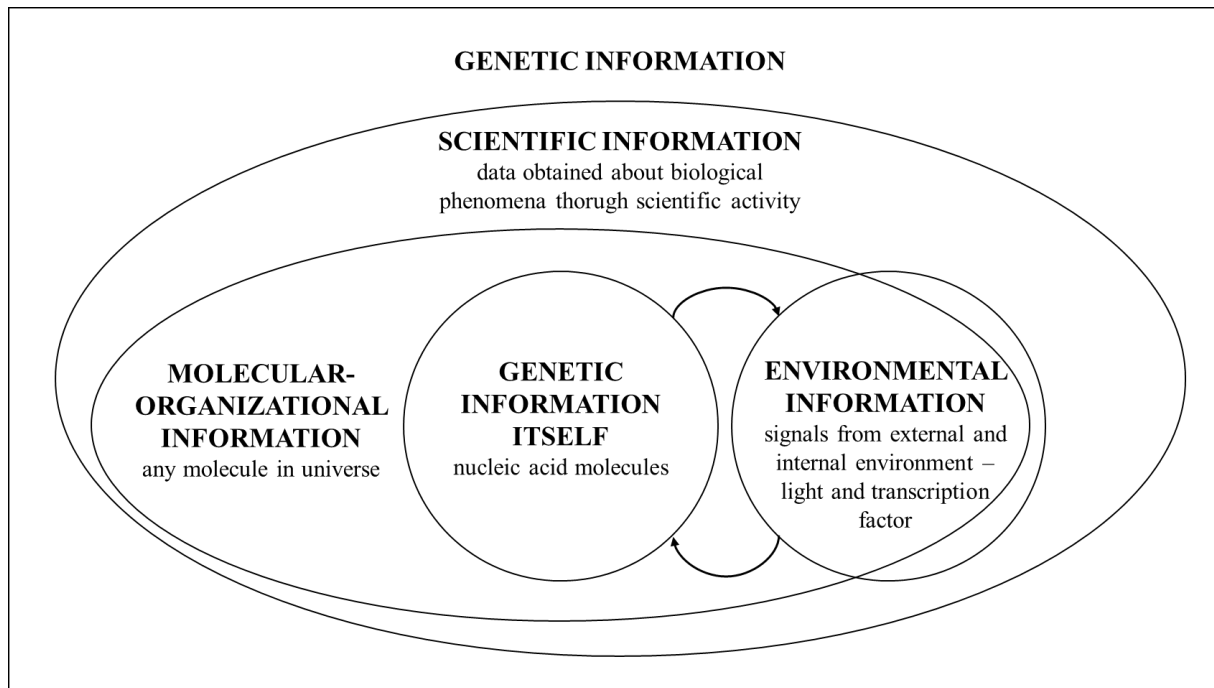
In this scientific context, genetic information may be quantitatively measured. Its measurement unit depends on the theory that guides the investigation. When the object measured is the number of nitrogenous bases, the unit is bits (Knight 2007), and when the object measured is the reduction of uncertainty, the unit is shannon (Sh) (Rioul 2021). In addition, science made possible the portability between genetic information and the information stored in hard drives. By making the binary code compatible with the genetic code, it is possible to use nucleic acids to store data, such as images and text (Takashi, Nguyen, Strauss and Ceze 2019).

It is worth specifying the codes involved: Genetic code describes the correspondences between codons and amino acids, and binary code describes the correspondence between two digits and other kinds of information able to occur in computer files. The portability between these two codes implies a third one that would describe the correspondence between the nitrogenous bases and the “1” and “0”. In this sense, the same fragment of nucleic acid could result in information (protein) in the scope of the genetic code but could result in completely different information in the scope of the binary code (a file not related to the protein).

When the qualitative dimension of nucleic acids is also important, other fields of research look at this same object to answer other questions. In this sense, Genomics, for example, when comparing DNA sequences from different populations, may be interested in answering how these populations differed over time and how they became distinct species. In addition to these questions, Bromham (2016) also suggests empirical research with historical information. DNA sequences may provide information about past environmental conditions in which organisms lived, and this could be a trustworthy source of data for scientific investigation. Ganiko-Dutra (2021) considered that the use of the word information in this sense expresses a denotative relationship between its meaning and the phenomenon.

All the uses of the word mapped are connected. Molecular-organizational information describes data from any molecule in the universe, while genetic information itself describes aspects from nucleic acids as a particular kind of molecule that is involved in complex biological phenomena. Environmental information also involves molecules, but it is not limited to them; it also involves energy as elements that can be in the external environment in which organisms live and that are relevant to them to interact with. Finally, scientific information describes the human activity of interpreting and theoretically building a representation of the world. It is related to the way scientists give meaning to nucleic acids and to sequences of nitrogen bases to answer a range of research questions, such as, “How phylogenetically related are two given species?” and “Which protein can originate from the metabolism of an organism?” (Ganiko-Dutra 2021). The synthesis of these connections among the four uses of information is represented in Fig. 1.

Figure 1. Diagram representing the relation among the four uses of genetic information. Arrows indicate a reciprocal interaction between genetic information itself and environmental information.



This map indicates that in scientific discourse, the concept of genetic information is polysemic. Researchers may use the same term with different meanings to express different theoretic perspectives that guide several empirical investigations. These multiple dimensions in which informational terms were used and that exceed the field of Genetics reinforces the idea that information is a key term for understanding Biology, as the concept is also related to Evolution, Ecology, Physiology and Development to evolution, ecology, physiology and development.

Facing this polysemic use of the term, some questions remain. Is this lack of a scientific consensus about information a problem for Biology? Do we need a unifying theory of information in Biology? What do all these concepts of information have in common? What is information itself? To answer these questions that seek the essences of the concept of information, in the next section, we present a theoretical framework to help understand this problem.

3 THE CONCEPT OF INFORMATION: A PURPOSE OF A DEFINITION

We examined all the different concepts of information and tried to find its essences in its phenomenological sense (Moustakas 1994). In an epoché exercise, we asked ourselves, “What do all of the uses of the concept of information have in common?” and “What will disqualify the phenomena as information if we remove it?”. From digital information to genetic information, what makes people talk about these phenomena as being “information”? Through this exercise, we interpret that the concept of information in its broader sense refers

to the correspondence between two objects. The idea was to identify the smallest unit of meaning present in the concept of information.

We can state the definition of the concept of information, modified from (Ganiko-Dutra and Caldeira 2022), as (1) the process that establishes a relationship of correspondence between two objects and (2) the object being informed. An object 'A' that undergoes a process of information may establish with object 'B' a relationship of correspondence. In these terms, 'A' corresponds to 'B', or vice versa. In addition, we may say that 'A' is information. Because 'A' and 'B' have a relationship of correspondence, we can predict aspects of 'B' knowing only 'A'. By objects, we mean anything that can establish a correspondence, for example, a word, a molecule, an energy pattern, a sound wave and a synaptic web. In accordance with Buckland (1991), in the suggested definition, information may be understood as a process and as an object.

Again, it is worth taking the genetic code as an example. We will replace 'A' and 'B' in the previous definition with 'codon/AGA' and 'amino acid/arginine'. A codon that undergoes a process of information may establish a relationship of correspondence with an amino acid. In these terms, 'AGA' corresponds to 'arginine' or vice versa. We also may say that 'AGA' is information. Because 'AGA' and 'arginine' have a relationship of correspondence, we can predict aspects of 'arginine' knowing only 'AGA'. Once 'AGA' is present, it is possible to predict 'arginine' in synthesis, but knowing only the protein that contains this amino acid, it is not possible to state exactly the codon that gave origin to it; once 'AGG', 'CGA', 'CGC', 'CGG' and 'CGU' also specify 'arginine'. However, it is possible to reduce the range of possibilities sustaining a possible correspondence between 'arginine' and 'AGA'.

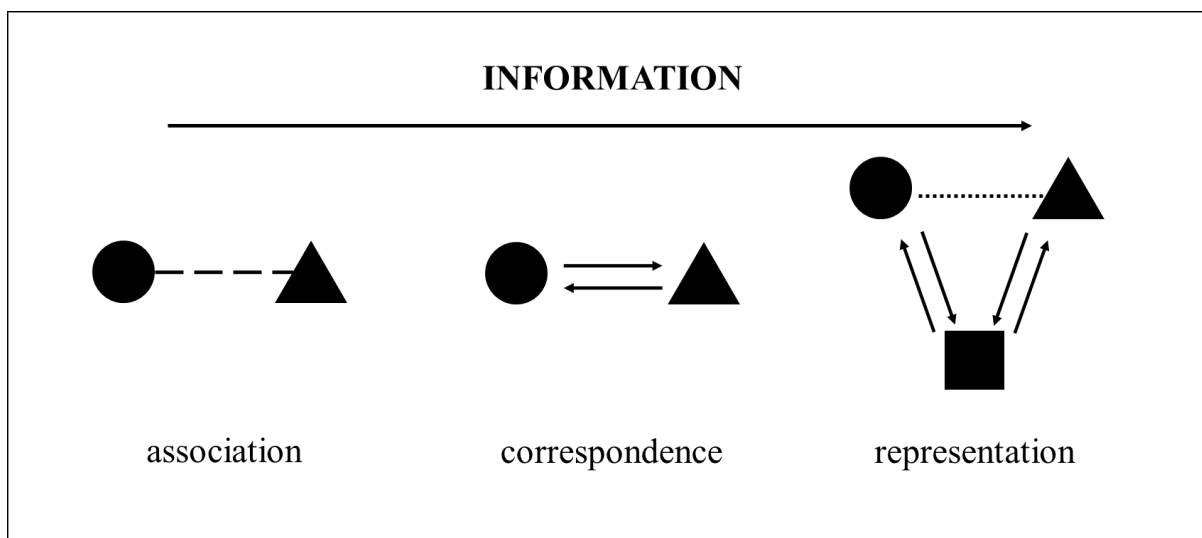
The process to propose a definition of information was not arbitrary. We tried not to impose a new concept that could modify the present use of the term and that would imply rejecting some definitions of "information", thereby invalidating its theoretical and empirical use in science. Instead, we tried to organize what we understand of what is common among all the ways that people use the concept, which could validate all the different perspectives described in the posterior section. The exercise was not to impose a new concept that could be an artificial move for language but to give a definition for a phenomenon that already exists.

Our interpretation of information recovers the Latin origin of the term rescued by Capurro and Hjørland (2007): "in-form", to put in form or to give a form. We also may notice that creating a correlation is a process of putting into form: aligning one object to another. When we say that a person is "informed", we are saying that he or she aligned an idea to a given fact that occurred, building a correspondence between the episode and a thought, with the episode being one object and the structural basis of thought being another. In addition, we may also say that these objects are information because they inform us; i.e., they put us in form with some correspondence they have with another object. In the next section, we explore the conceptual framework to organize the concept of information.

4 CATEGORIES OF INFORMATION

Varying in the level of complexity built over time in the relationships among objects, it is possible to define three stages of information: association, correspondence and representation (Fig. 2). Not every interaction between objects needs to develop in the stage representation—some interactions remain at the level of association, for example. However, to reach the level of representation, the interaction among objects must have passed through the stages of association and correspondence in this sequence. In the next sections, we provide details about each of them.

Figure 2. Diagram representing three types of relationships among objects that characterize information. Association is the simplest, and representation is the most complex.



4.1 ASSOCIATION

We named association a previous stage of information: Association is when two objects have a single and unstable relation. In this situation, it is not possible to say that information exists—it is a contingent occurrence of an interaction. For example, a sound emitted by a frog may cause an insect to flee once but not the next time it happens. This occurrence is contingent in the sense that it happened once but may not happen again. In this scenario, objects have only the potential to become information.

If an interaction occurs repeatedly in the same pattern over time, motivated by an identifiable cause, allowing the type of interaction to be predictable, then it is possible to say that some correspondence was established between the objects involved. To this process of establishment of a correspondence, we named information: putting an interaction in form.

4.2 CORRESPONDENCE

The interaction between two objects that we name correspondence is stable, predictable and has a history. For an association to become some correspondence, it takes time because it is necessary to have many occurrences of the same kind. Therefore, information is a historical process. In our previous example, we may say that if every time the frog vocalizes, it causes the insect to perform the same behavior, we may say that there exists a correspondence between the sound emitted by the frog and the physiological landscape of the insect that induces it to flee. One object is sound waves, and the other is the physiological landscape of the insect. Both become associated every time one sound wave is emitted, so they become informed, and each of them is information about the other. In this same aspect, if it is always the case that a codon occurs in messenger RNA, it results in a particular amino acid in protein synthesis, so they are informed, and one is a piece of information about the another, because they are stably associated: There is a correspondence between them. Therefore, correspondence is the reinforcement of an association.

While associations are interactions with a contingent nature, the interactions that result in a correspondence happen within a restricted range of possibilities undergone by a particular bias, which can be understood as the means by which the process of information happens, i.e., something that reinforces the interaction in the same form. The biases that we identified that may cause correspondence between objects at the molecular level are i) chemical and ii) physical biases; at the level of the cell are iii) physiological biases; at the level of the organism are iv) developmental and v) cognitive biases; and at the level of the population are vi) communicative, vii) moral and viii) evolutive biases. For bias, we must comprehend something that reduces the diversity of probabilities of interactions and that over time makes it possible to identify a pattern of association that results in some correspondence. In the following paragraphs, we explain each of them.

A physicochemical bias can be, for example, atomic valence, polarity, pH and enzyme kinetics. These aspects may reduce the range of possibilities of interactions between biomolecules at the molecular level and put the objects in a form that repeats the same pattern of interaction between them. There is a correspondence between the presence of food remaining in the mouth and the occurrence of dental caries. This correspondence is possible

once the presence of remaining food leads to fermentation by bacteria, which lowers the pH, making crystals from tooth enamel more likely to dissolve (Fejerskov and Kidd 2011). Physiological bias can be, for example, cascade effects, the family of proteins present in the cell membrane, the movement of the cytoplasm, cell type and homeostasis. The binding of adenosine to adenosine receptors in the neuronal membrane corresponds to a feeling of tiredness. Caffeine can bind to these receptors, blocking them and preventing adenosine from being perceived. When caffeine is present in the organism, over time, the number of receptors increases. This change in the number of receptors changes the amount of adenosine necessary to correspond to the same feeling of tiredness (Ribeiro and Sebastião 2010).

Developmental bias is related to ontological histories of organisms. Root morphology may correspond to previous scenarios of plant stress, for example, once this organ development is controlled by reactive oxygen species (Tsukagoshi 2016), and eyespot size and color are the results of development processes involving specific genes in *Bicyclus anynana* butterflies, but the possibilities are limited by development once some mutations are lethal (Saenko, Brakefield and Beldade 2010). Cognitive bias is related to how an organism can associate an experience with a physiological landscape, making it a somatic marker (Damásio 2012). In this sense, a body state corresponds to a given signal in the environment. For example, when a dog takes a bath, it associates some signals from its environment with the experience of taking a bath; for example, when it sees a shower or when it hears the word “bath”, it evokes the body state of taking a bath. These associations are possible due to somatic markers. The word “bath” triggers in the dog a particular physiological landscape that makes it remember the experience of taking a bath. Memory is another mechanism that allows the recurrence of an association. Memory allows us to remember that a given word is associated with a given object—the association becomes registered in synapse patterns (Consenza and Guerra 2011).

At the population level, communication, morals and evolution may drive the form of interactions. By communication, we may understand the provision of one object by one entity (sender) and the perception by another (receiver) that puts an interaction of the receiver in form with the object made available. In animal communication, when a bird emits a sound for the flock in the presence of a predator, the other birds that perceive the signal correspond it with danger. In human communication, when someone tells news to another person, the sender provides an object (news) to the receiver who associates the news with an episode. Communication is also the means through which humanity validates correspondences. Scientific debate, for example, is a communicative act that may result in a consensus about a scientific theory. The consensus is what warrants that a given phenomenon corresponds to a given theory, at least for a period.

Maturana and Varela (2001, p. 218) discuss the tube metaphor for communication. This metaphor says that communication “is something that is produced in one point, that is taken by a conduit (or tube) and is delivered in another extreme, the receiver”. The thing that is transmitted should be “information”. The authors reject this comprehension of information that is transmitted, such as the description that “information contained in an image”, asserting that information does not exist as a unity that is not structurally determined. We agree that when we talk about “information contained in something”, this mentioned information that exists beyond the image does not exist, but we disagree that a transmission of information does not exist, because we interpret that the object transmitted is the object itself and, hence, that the information is structurally determined. We are calling here information, the image itself transmitted, and not something beyond this image. For example, in an oral conversation, what is being transmitted is a sound wave that informs the receiver, that corresponds to a concept, and that becomes associated with the receiver’s synapses. In this sense, we also agree with the authors when they say that communication is less related to the intention of the sender, which sometimes has the state of instruction, and is more related to how the receiver informs the precepted object.

Moreover, when we talk about communication at the cellular level or among nonhuman organisms, the idea of a sender may be problematic. When we talk about human communication, there is a clear intention of the sender to send a message, but this is not supported in other biological contexts that we understand as communication. A plant that sends a volatile molecule had no intention of sending it, even though another plant receives and interprets it as a signal that corresponds to a given metabolic effect; the sending just happened, and other plant happened to perceive it and inform its physiology. Looking at the complex effects of these interactions can induce us to understand it in terms of intentionality, but it is only an emergence of contingent interactions: One “signal” was emitted by one entity and perceived by another, but there was no intention for the signal to be received. We believe that speaking about nonhuman communication in terms of entities that release or emit

informable objects and entities that perceive and inform them, instead of senders and receivers, better accommodates the contingent nonteleological nature of these phenomena within language.

In these social contexts, the set of values of a population also biases the interactions. A public policy, for example, can be understood as a mechanism for regulating interactions. The building of a public policy may happen through debate, in which moral positions may intervene in communicative action (Habermas 1989). The consensus of the debate should warrant that every person involved in the debate agrees to being governed by the law in question, and this is a mechanism that gives form to the interactions among citizens.

Finally, evolutive processes may also reinforce associations. Objects, such as a given morphology, that become more frequent in a population due to their increase in fitness they provide for the organisms that exhibit them may correspond to their function, i.e., to a particular effect that enhanced the fitness of the organisms that exhibited this phenotype in ancestral generations. In this sense, the phenotype is associated with a function when it is a result of natural selection. In this sense, if a trait could also correspond to specific genes, we could agree with purposes that say that, after natural selection, a particular set of genes could be related to a given adaptive trait (Shea 2011) but not in a symbolic dimension. Taking back the case of the chemical arbitrariness of the genetic code (Stegmann 2004), the reasons why each codon corresponds to each amino acid is of an evolutive order (Fox 1987). We do not intend to exhaust the biases or mechanisms that may give form to associations but try to build upon a previous list with the biases or mechanisms we could identify and give some examples of them.

The broadness of the range of possibilities of associations can be more or less rigid depending on the hierarchical level at which the interaction occurs. Interactions that occur at the molecular level are more rigid because they are restricted by chemical and physical constraints. It is a chemical constraint that frequently makes the association of guanine with cytosine, which is why it is impossible for guanine to be paired with adenine. At a population level, constraints are softer. If we examine the reasons why the word “dog” corresponds to the animal, they have a more arbitrary justification, given by a consensus; that is, a bias of information that accepts interactions more flexibly than chemical bias, as in the previous example.

Although correspondence is stable and predictable, it is not rigid—it is flexible. If a change occurs in the mechanism that sustains or produces the correspondence, it may change. Let us take the example of a lake that starts getting polluted. In the lake, a population of algae may exhibit variation in a trait: One group accelerates the metabolism at a neutral pH, and the other group accelerates it at an acidic pH. In its preserved state, the population that prefers a neutral pH is more abundant. Receiving pollutants may cause a change in the distribution of varieties of given traits in the algae population, changing the information that was present in this population before the disruption. Another example of change in the form of correspondence is the change in words used to express ideas caused by epistemological and moral reasons. In Brazil, the word “*deficiente*” (disabled) was replaced by the term “*pessoa com deficiência*” (person with disability). This change in language was implemented to cause a change in perspective. The word “disabled” labels a person and limits him or her to the condition of having a disability; by contrast, “person with disability” first identifies the subject as a person, and after establishing this, the term then communicates one of the person’s characteristics: having a disability. This is an example of how we can change information by changing the agreements in the use of language. This change was implemented in public policies (Brasília 2008), reinforcing the form that word-mediated interactions must have.

Another idea about the nature of information at the stage of correspondence is that one object may have correspondences with more than one other object. Examining the genetic code may offer some examples of this phenomenon. The amino acid valine corresponds to four different codons: GUA, GUC, GUG and GUU (Alberts, Johson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts and Walter 2014). In this framework, we can understand that code is a map of the correspondences of a given domain. The genetic code describes the correspondences among codons and amino acids. Another example of one object with many correspondences is the expression “genetic information”, which was discussed before and may correspond to DNA, which receives signals from the environment and provides data for scientific research (Ganiko-Dutra 2021), but the same DNA molecule may correspond to a protein or a digital file, depending on the code, given the portability between them present in Section 2. From this perspective, correspondence is relative in the sense that it depends on the context, as one object may exhibit correspondence with many others.

When one of the objects that has multiple correspondences is a given synaptic web, we may say that there exists a relationship of representation among the objects that share correspondences with it.

4.3 REPRESENTATION

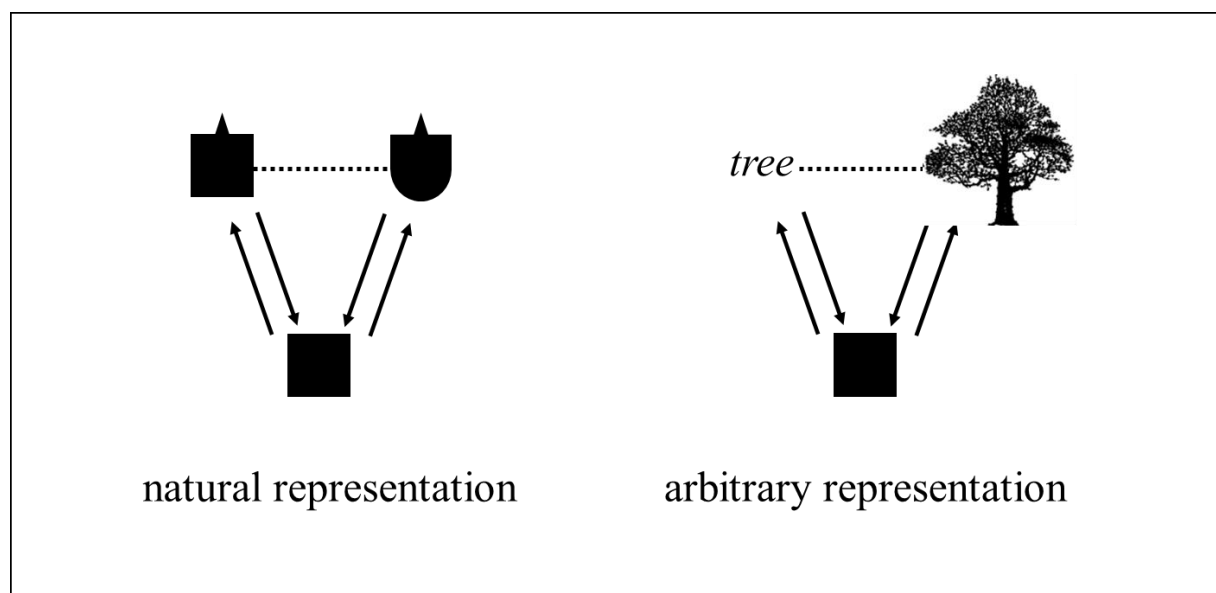
Representation is an interaction among at least three objects, which we name ‘A’, ‘B’ and ‘C’ (Fig. 2). In this interaction, one of the objects is a specific physiological landscape (‘A’). Each of the two other objects (‘B’ and ‘C’) have some correspondence with ‘A’, and because they share this object in their correspondences, we may say that between ‘B’ and ‘C’ exists a relationship of representation. Regarding physiological landscape, we agree with Damásio (2012), who explains that it is a given body state, as it was a photograph of the condition of the organs and cells in a given moment, with all its neuronal representations. In a final instance, the physiological landscape emerges in an image in thought. We may say that this image, a product of a physiological landscape, is object A. We could also say that this body state is the embodiment of the mind and that representation is the basis of cognition (Varela, Thompson and Rosch 2016).

In this sense, the same image appears in thought when one sees a tree and when he or she reads the word “tree”. Because a real tree and the word “tree” share the same physiological landscape of an organism, we may say that the word “tree” represents the plant. In this framework, we have support to say that something is “symbolic” when one object represents another because they share the same embodiment in an organism.

We classify representation into two types: natural and arbitrary (Fig. 3). Natural representations are the ones in which two objects have something in common that evoke that same physiological landscape. The obsolete analogy between the genome and a recipe book is common. Just as a recipe book contains instructions about how to make a dish, the genome would contain instructions about how to build an organism. The natural features of these objects evoke the same cognitive structure to understand them. In this sense, natural representations have a metaphoric nature because the aspects two objects have in common are highlighted, while what they do not have in common is hidden (Lakoff and Johnson 2003). On the other hand, arbitrary representations are the ones whose objects do not share a natural resemblance but come to share the same physiological landscape by arbitrary means. The case of the word “tree” and the real tree is an example of this. The reason why the plant is called by “tree” in English is not a natural reason; in Spanish, it is called “árbol,” and in Portuguese, it is called “árvore”. The word for “tree” could be different and could be unrelated to phenomena but rather related to the language history of each culture.

The shared dimension of information among interlocutors is central to the concept of representation. An object comes to represent another only if organisms collectively agree with this relationship between them. For a word to come to represent an object, it is necessary that its meaning be shared and consensually used by a group.

Figure 3. Diagram representing two types of representation: natural and arbitrary. The squares represent the physiological landscape of an organism. Arrows indicate correspondence, and dotted lines represent representation.



This concept of representation is convergent with the idea of representation in the triadic sign from Peircean Semiotics (Peirce 2017). The object ‘B’ that represents ‘C’ is aligned with the idea of representamen, as

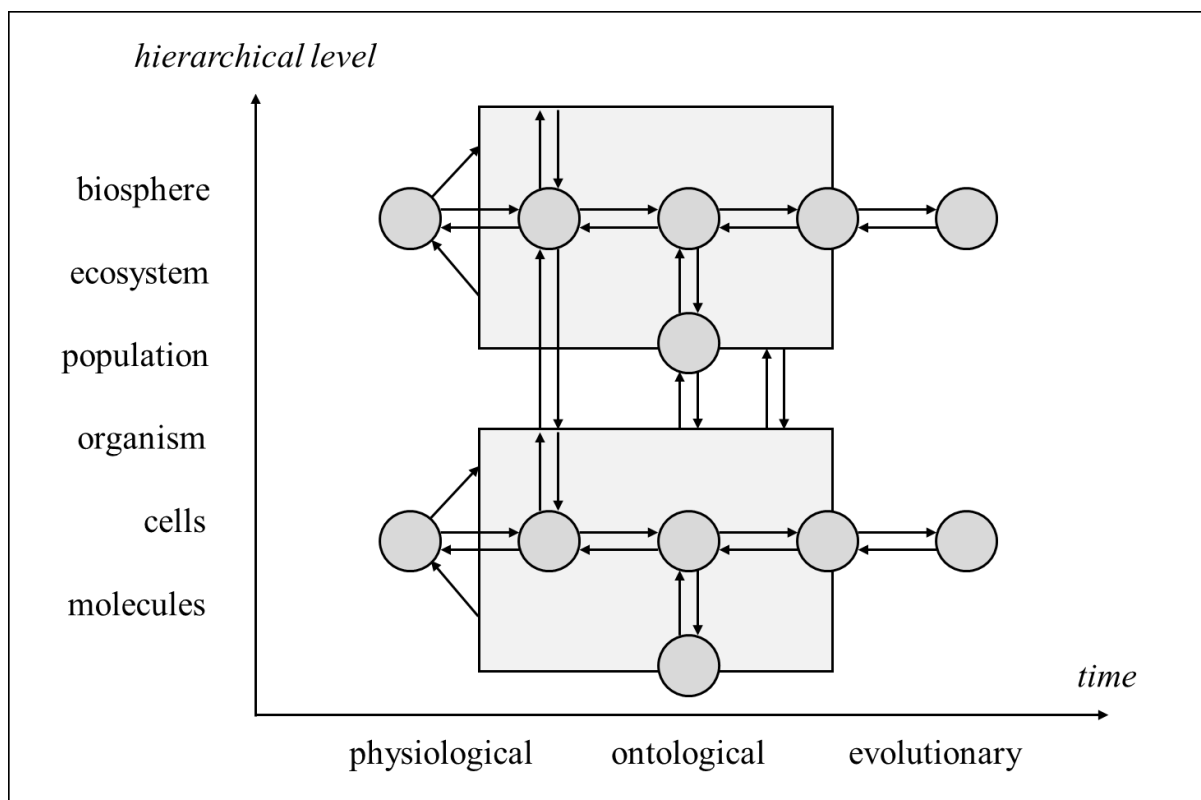
the one that stands for another. The object 'C' that is represented by the representamen is aligned with the idea of object from Peirce's theory, and the physiological landscape is supported by the concept of interpretant, i.e., the way thought appears as images. The main difference between our purpose of representation and Peirce's theory is that while Peirce admitted the existence of representation in the absence of a human mind or even in the absence of an organism, the existence of a body able to embody the environment is a condition for the existence of representation as we are proposing. We are not saying that this body needs to be a human body but a living system able to physiologically establish a correspondence of an object by means of the embodiment of a physiological landscape. We believe that even in the absence of an animal neurological system, an organism could be able to embody information, as evidence has shown, for example, from plant neurobiology (Brenner, Stahlberg, Mancuso, Vivanco, Baluska and Volkenburgh 2006).

Peirce made the phenomenological exercise of finding the essences of experience, reaching to the triadic sign. In an analogy, if the atom is the smallest unit of matter, but it exists even in the smallest subatomic particles, we may say that the Peircean sign is the atom and its particles, and information is the subatomic particles, once it is an essence inside an essence.

5 INFORMATION: A LIFE PHENOMENON

We believe that not only representation but also information itself may exist in the absence of a living system. Therefore, information is essentially a phenomenon of life. To offer a theoretical framework to understand information as a biological phenomenon, we would like to integrate it with a previous framework that synthesized the object of study of Biology. Meglhioratti (2009) and Meglhioratti, El-Hani and Caldeira (2012), starting from Salthe (1985), take back the organism as the object of study of Biology. The authors suggested a hierarchical structure to frame the interactions of the organism: It may be understood from the interactions established between it and the external environment and between it and the internal environment, both across time. Ganiko-Dutra (2021) extended this conceptual frame, situating these interactions in an orthogonal axis, crossing the organism interactions at levels of hierarchical organization (cell, organism, population, etc.) and at different timescales (physiological, ontological and evolutionary). Starting from these authors and from Scheiner (2010), we designed a scheme to frame information as a biological phenomenon (Fig. 4).

Figure 4. Diagram representing information at different levels of organization and on different timescales. The rectangle represents an organism, and balls represent any given object. Arrows indicate correspondences.



In this scheme, in which arrows indicate correspondences, organisms are represented as rectangles. In and outside them, there are circles representing other objects, indicating that interactions exist i) between objects (molecules, cells, organs) in the internal environment of the organism, ii) between the organism and objects in its internal environment, iii) between the organism and other organisms (external environment), and iv) between the organism and objects from the external environment, which may be a direct interaction of the object with the whole organism or by means of an external object with an object from the organism. On the x-axis, time is represented, and hierarchical levels are represented on the y-axis. Organisms may inform objects at different levels of organization (molecules, cells, organisms, populations, communities and the biosphere) and across different timescales (physiological, ontological and evolutionary).

Understanding information as a process of alignment of the form inspires us to build theoretical bridges between this concept and the concept of structural coupling from Maturana and Varela (2001). These authors described structural coupling as follows: “We speak of structural coupling whenever there is a history of recurrent interactions leading to the structural congruence between two (or more) systems” (Maturana and Varela 2001, p. 87). The two systems mentioned by the authors are the environment and the organism. Being structurally coupled means that the disturbances triggered by the environment on the organism are sustained and do not break its structure, and vice versa. In this sense, we could understand that giving form to an interaction, i.e., informing the structure of the organism with its environment, is the mechanism by which structural coupling is possible. Ultimately, information and structural coupling are the biological principles through which organisms may interpret their environment and coordinate with it.

We also may notice that saying that an organism is informed with a given aspect of its environment saves us from the trap of saying that it is “adapted”. These purposes are also coherent with the emergent need to bring back the organism as the center of the study of Biology (Meghlhioratti, El-Hani and Caldeira 2012), giving back to it the autonomy and the capacity of agency. It is the organism itself that interprets the environment and responds to it, building the coupling: The organism is the entity that performs the process of information.

It is through simple and contingent one-by-one interactions between molecules that complex patterns of information become possible across superior levels of organization and across different timescales. First, we would like to explore information across levels of hierarchical organization. The smallest level in which life manifests is the molecular level. In this domain, interactions happen one by one between molecules, biased by chemical and physical principles. These interactions are contingent and independent. The recurrence of some type of interaction may result in patterns at the cellular level, such as a change in gradient. At the cellular level, physiological biases

inform the interactions, which may also result in patterns at the level of the organism. We will name this level of interactions of molecules and cells the *first or internal level of information*. This is the simplest level of interaction, but it ultimately sustains complex structures at other levels. We refer to emergence as the result of an ordered pattern at one level resulting from contingent interactions at the lower level (Holland 1981).

At the *second or organism level of information*, we may see interactions that coordinate the structure of the organism with its environment. Thought, for example, is an emergence at this level that results from many different processes of information in the first level. It is an emergence in the sense that thought is not in any molecule or organ, but it is an ordered and complex manifestation that results from them. At the *third or collective level of information*, we may see processes such as teaching and learning, scientific activity, pollination and organization of social insects, for example. These interactions happen among organisms.

To understand how complexity grows across hierarchical levels and how the most complex information depends on underneath and simplest interactions, we may examine the way humanity makes science. Scientific knowledge is produced collectively once it depends on consensuses. People need to agree on the methods by which knowledge should be produced; once an investigation is finished, the group that performed it needs to publicize the results and conclusions to validate it in the scientific community. Other researchers need to agree on the interpretations. This process informs two objects through social processes: the scientific theory and the phenomena it aims to explain. For this to happen, people previously needed to participate in the consensus of language: It is necessary that scientists agree that one given word corresponds to a given object. This information (between scientific theory and the phenomenon and between words and objects) takes place at the *collective level of information*.

For this information to be possible, it is necessary that at the *organism level*, some correspondences take place. One needs to correspond a sound pattern (spoken word) to a given visual pattern of word (written word) and to correspond these patterns to an object. Physiologically, this is possible due to emergences that result in cognitive processes at the level of the organism. The senses allow organisms to perceive objects in the environment and trigger specific physiological patterns to correspond to them, embodying them. At the lower *molecular level*, correspondences among cells and molecules are necessary. For example, it is necessary that the structural change that the light pattern of a written word triggers on the cones and rods be informed with changes in neurons. This is how information at the *third level* needs a web of correspondences in the levels underneath to be possible.

Once we explore the manifestation of information across hierarchical levels of organization, we will lean on the different manifestations across timescales. In physiological time, information manifests as the immediate correspondences that maintain homeostasis of the organism at the first, second and third levels. These correspondences allow, for example, a stoma to open, an insect to flee from a predator or a person to answer a question. In ontological time, physiological information accumulates during the life of the organism, resulting in structural changes and triggering changes in the environment. We may think about someone who practices weight training and hypertrophies his or her muscle fibers constantly. This accumulation of these physiological effects over time results in a structural change in the increase in muscle mass, resulting in changes in the person's body during his or her life and allowing the continuation of structural coupling between the person and his or her environment.

Finally, on an evolutionary timescale, the result of the accumulation of correspondences are the changes in structure that cross generations and the changes in the distribution of phenotypes. If a change in structure built by an organism is inheritable, independent of its basis—genetic, epigenetic, environmental, cultural, etc.—the next generation will reproduce the changes and continue the structural coupling. By this process, we may see as a result the adaptations and functions of structures that match the environments in which populations live, making an inheritable characteristic correspond to a given aspect of the environment. We believe that this was what motivates authors, as Shea (2007) and Bromham (2016) say that genetic information is about ancestral lives of the organisms. Every correspondence has an evolutionary history that could be explained in terms of genetic drift or natural selection. If a given information variation increases the fitness of an organism, the tendency is that it increases in frequency in the population over generations.

Finally, information is what allows us to know the world and how we get in form with it, sustaining our couplings. By information here, we mean the way that the organism becomes aligned with its environment. The explanation of its mechanisms is, itself, a theory of knowledge. In this sense, we agree with the statement from Maturana and Varela (2001) that “living is learning”.

6 CONCLUDING REMARKS

The main ideas we offered in this essay are that when we talk about something in terms of information, we are talking about the correspondence between two objects. Varying in the level of complexity, this relationship may be an association, a correspondence or a representation (natural or arbitrary). Once information is a life phenomenon, its manifestation may cross hierarchical levels (from the molecular to the collective) of organization and different timescales (from the physiological to the evolutive). The complexity of information manifestations may be explained in terms of emergence and its analysis in the first, second and third levels of information.

By presenting a broad purpose of definition for information, we aimed to identify common points among the debate, starting from the map of the definitions of genetic information made by Ganiko-Dutra (2021). Stating that the essence of information is the correspondence between two objects allowed us to unify the debate and walk toward a consensus in the area. We believe that even though the authors discussed from different perspectives, they were shedding light on different correspondences involving the same object: nucleic acid. In addition to organizing the debate, we hope that this theoretical synthesis of information contributes to building a theory of biology once information is set as a fundamental principle for this area.

We expect that our purpose offers a common language for Biology and more scientific rigor by creating a scaffold as a criterion to understand correspondences and talk about them without evoking metaphysics. By understanding the manifestations of information across different levels of organization, we also contribute to dissolving some barriers between Biology and social sciences—we do this by describing information as an emergence at the collective level in the dimension of language, morality and science, for example, that is supported by complex correspondences at the levels underneath, in each organism of a population and within each organism's physiologies.

REFERENCES

- Alberts B, Johnson A, Lewis J, Morgan D, Raff M, Roberts K, Walter P (2014) *Molecular Biology of the Cell*. Garland Science, Dallas
- Andrade MABS, Caldeira AMA (2009) O modelo de DNA e a Biologia Molecular: intersecção histórica para o ensino de Biologia. *Fil Hist Biol* 4:139-165. <https://www.abfhib.org/FHB/FHB-04/FHB-v04-05-Mariana-Andrade-Ana-Maria-Caldeira.pdf>
- Austin CJ (2015) The dispositional genome; primus inter pares. *Biol Philos* 30:227-246. <https://doi.org/10.1007/s10539-014-9454-y>
- Bergstrom CT, Rosvall M (2011a). The transmission sense of information. *Biol Philos* 26:159-176. <https://doi.org/10.1007/s10539-009-9180-z>
- Bergstrom CT, Rosvall M (2011b) Response to commentaries on “The Transmission Sense of Information. *Biol Philos* 26:195-200. <https://doi.org/10.1007/s10539-011-9257-3>.
- Brasília (2008) *Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva*. Ministério da Educação
- Brenner ED, Stahlberg R, Mancuso S, Vivanco J, Baluska F, Volkenburgh EV (2006) Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling. *Trends Plant Sci* 11:419-419. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.009>.
- Bromham L (2016) What is a gene for? *Biol Philos*, 31:103-123. <https://doi.org/10.1007/s10539-014-9472-9>
- Buckland M (1991). Information as a thing. *J Am Soc Inf Sci*, 45:351-360.
- Capurro R, Hjørland B (2007) The concept of information. *Annu Rev Inf Sci Technol* 37:343-411. <http://dx.doi.org/10.1002/aris.1440370109>
- Carvalho IN, El-Hani CN, Nunes-Neto N (2020) How Should We Select Conceptual Content for Biology High School Curricula? *Sci Edu* 29:513-547. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00115-9>

- Ceschim B, Ganiko-Dutra M, Caldeira AMA (2020) The Relation between Thought and Language, and Misunderstandings in the Teaching of Biology. *Ciênc Educ* 26:e20068. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200068>
- Ceschim B, Ganiko-Dutra M, Caldeira AMA (2021) Como a teoria evolutiva na atualidade pretende explicar a origem da inovação das características vivas? *Genet Esc* 16:344-355. <https://doi.org/10.55838/1980-3540.ge.2021.392>
- Cofnas N (2017) Innateness as genetic adaptation: Lorenz redivivus (and revised). *Biol Philos* 32:559-580. <https://doi.org/10.1007/s10539-017-9576-0>
- Cosenza RM, Guerra LB (2011) Neurociência e Educação: Como o cérebro aprende. Artmed, Porto Alegre
- Damásio AR (2012) O erro de Descartes: Emoção, Razão e o Cérebro Humano. Companhia das Letras, São Paulo
- Fejerskov O, Kidd E (2011) Cárie dentária: a doença e seu tratamento. Editora Santos, Curitiba
- Fox TD (1987) Natural variation in the genetic code. *Annu Rev Genet* 21:67-91
- Ganiko-Dutra M (2021) Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética. Dissertation, São Paulo State University
- Ganiko-Dutra M, Caldeira AMA (2022) Relación pensamiento-lenguaje en la comprensión del concepto de “información genética” en la formación inicial en Ciencias Biológicas. In: XVI Encuentro Iberoamericano de Educación.
- Godfrey-Smith P (2007) Is it a revolution? *Biol Philos* 22:429-437. <https://doi.org/10.1007/s10539-007-9062-1>
- Godfrey-Smith P (2008) Information in Biology. In: Hull DL, Ruse M (ed) *The Cambridge Guide to the Philosophy of Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 103-119
- Godfrey-Smith P (2011) Senders, receivers and genetic information: comments on Bergstrom and Rosvall. *Biol Philos* 26:177-181. <https://doi.org/10.1007/s10539-010-9206-6>
- Habermas J (1989) Consciência moral e agir comunicativo. Tempo brasileiro, Laranjeiras
- Haig D (2014) The strategic gene. *Biol Philos* 27:461-479. <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9315-5>
- Heather JM, Chain B (2016) The sequence of sequencers: The history of sequencing DNA. *Genomics* 107:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2015.11.003>
- Holland JH (1998) *Emergence: From Chaos to Order*. Perseus Books New York
- Kauffman S, Logan RK, Este R, Goebel R, Hobill D, Shmulevich I (2008) Propagating organization: an enquiry. *Biol Philos* 23:27-45. <http://dx.doi.org/10.1007/s10539-007-9066-x>
- Kjosavik F (2007) From symbolism to information? - Decoding the gene code. *Biol Philos* 22:333-349. <https://doi.org/10.1007/s10539-006-9044-8>
- Kjosavik F (2014) Genes, structuring powers and the flow of information in living systems. *Biol Philos* 29:379-394. <https://doi.org/10.1007/s10539-013-9407-x>
- Knight R (2007) Reports of the death of the gene are greatly exaggerated. *Biol Philos* 22:293-306. <https://doi.org/10.1007/s10539-006-9039-5>
- Köiv R (2020) Elusive vehicles of genetic representation. *Biol Philos* 35:1-24. <https://doi.org/10.1007/s10539-020-9741-8>

- Lakoff G, Johnson M (2003) *Metaphors We Live By*. The University of Chicago Press, Chicago
- Lean OM (2014) Getting the most out Shannon information. *Biol Philos* 29:395-413. <https://doi.org/10.1007/s10539-013-9410-2>
- Levy A (2011) Information in Biology: A Fictionalist Account. *NÔUS* 45:640-657. <https://www.jstor.org/stable/41330876>
- Maclaurin J (2011) Commentary on “The transmission sense of information” by Carl T. Bergstrom and Martin Rosvall. *Biol Philos* 26:191-194. <https://doi.org/10.1007/s10539-010-9233-3>
- Maturana HR, Varela FJ (2001) *A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana*. Palas Athena, São Paulo
- Meghlhoratiti FA (2009) O conceito de organismo: uma introdução à epistemologia do conhecimento biológico na formação de graduandos de Biologia. Thesis, São Paulo State University
- Meghlhoratti FA, El-Hani CN, Caldeira, AMA (2012) O conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da biologia. *Rev Biol* 9:7-11. <https://doi.org/10.7594/revbio.09.02.02>
- Mosini V (2013) Proteins, the chaperone function and heredity. *Biol Philos*, 28:53-74 <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9332-4>
- Moustakas CE (1994) *Phenomenological Research Methods*. Sage Publications, New York
- Peirce CS (2017) *Semiótica. Perspectiva*, São Paulo
- Planer RJ (2014) Replacement of the “genetic program” program. *Biol Philos* 29:33-53. <https://doi.org/10.1007/s10539-013-9388-9>
- Pridmore B (2008) Review of genes in development: re-reading the molecular paradigm. *Biol Philos* 23:579-589. <https://doi.org/10.1007/s10539-008-9115-0>
- Quastler H (ed) (1953) *Essays on the Use of Information Theory in Biology*. University of Illinois Press, Champaign
- Ribeiro JA, Sebastião, AM (2010) Caffeine and adenosine. *J Alzheimer's Dis* 20:S3–S15. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-1379>
- Rioul O (2021) This is IT: A Primer on Shannon’s Entropy and Information. In: Duplantier B, Rivasseau V (ed) *Information Theory: Poincaré Seminar 2018*, Birkhäuser Cham, pp 49-86 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-81480-9>.
- Robinson A, Southgate C (2010) A general definition of interpretation and its application to origin of life research. *Biol Philos* 25:163-181. <https://doi.org/10.1007/s10539-009-9188-4>
- Rohwer F, Barott K (2013) Viral information. *Biol Philos* 28:283-297. <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9344-0>
- Salthe S (1985) *Evolving hierarchical systems: their structure and representation*. Columbia University Press, New York
- Saenko SV, Brakefiel PM, Beldade P (2010) Single locus affects embryonic segment polarity and multiple aspects of an adult evolutionary novelty. *BMC Biol* 8:1-13. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-8-111>
- Scheiner SM (2010) Toward a Conceptual Framework for Biology. *Q Rev Biol* 85:293-318. <https://doi.org/10.1086/655117>
- Shannon CE (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst Tech J* 27:379-423. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>

- Shea N (2007) Representation in the genome and in other inheritance systems. *Biol Philos* 22:313-331. <https://doi.org/10.1007/s10539-006-9046-6>
- Shea N (2011) What's transmitted? Inherited information. *Biol Philos* 26:183-189. <https://doi.org/10.1007/s10539-010-9232-4>
- Stegmann UE (2004) The arbitrariness of the genetic code. *Biol Philos* 19:141-144. <https://doi.org/10.1023/B:BIPH.0000024412.82219.a6>
- Stegmann, UE (2012) Varieties of parity. *Biol Philos* 27:903-918. <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9331-5>
- Takahashi CN, Nguyen BH, Strauss K, Ceze L(2019) Demonstration of End-to-End Automation of DNA Data Storage. *Sci Rep* 9:5pp. <https://foir.org/10.1038/s41598-019-41228-8>
- Tsukagoshi H (2016) Control of root growth and development by reactive oxygen species. *Curr Opin Plant Biol* 29:57-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2015.09.008>
- Varela FJ, Thompson E, Rosch E (2016) *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Revised edition. MIT Press, Amherst
- Wilkins JS, Stanyon C, Musgrave I (2012) Selection without replicators: the origin of genes, and the replicator/interactor distinction in etiobiology. *Biol Philos* 27:215-239. <https://doi.org/10.1007/s10539-011-9298-7>

CAPÍTULO 2

A metáfora da comunicação na compreensão do conceito de informação genética: uma investigação acerca da formação inicial de professores de Ciências e Biologia

Metodologia

Artigo “A metáfora da comunicação na compreensão do conceito de informação genética: uma investigação acerca da formação inicial de professores de Ciências e Biologia” que foi aceito para publicação na Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação.

METODOLOGIA

Esta investigação tem caráter de pesquisa qualitativa (PATTON, 2002) e foi conduzida dentro do paradigma da Pesquisa Interpretativa (TAYLOR, 2014). Entendemos que essa investigação está sob esse paradigma uma vez que se preocupa com a atribuição de significado para os dados e que se leva em consideração as subjetividades dos pesquisadores. Os padrões de qualidade para este tipo de pesquisa são a confiabilidade, a autenticidade e a triangulação ou a cristalização dos dados (TAYLOR, 2014).

Para cumprir com o critério de cristalização dos dados, a coleta de dados foi realizada por meio de grupo focal, questionários pré e pós-teste e elaborações representativas dos participantes. A análise de dados foi realizada por meio de uma análise de conteúdo com inferências realizadas a partir da síntese criativa dos autores (PATTON, 2002).

Conforme apresentado por Ganiko-Dutra (2021, p. 31-32):

Essa 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, escolhem-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. [...] 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 representa-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.

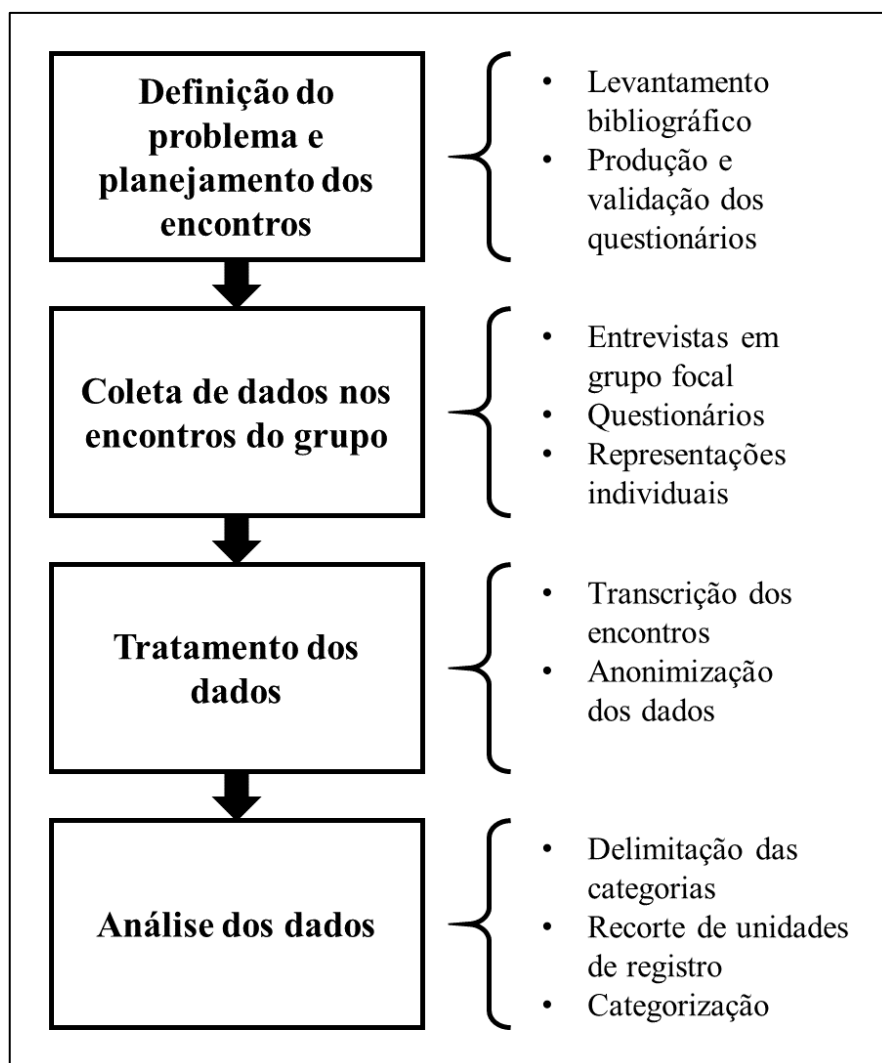
Posteriormente à etapa de codificação, as unidades encontradas devem ser agrupadas e ordenadas em categorias, a depender da forma como elas convergem (PATTON, 2002). As categorias devem apresentar homogeneidade interna, ou seja, dentro de cada categoria existem significados compartilhados; e heterogeneidade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

As etapas metodológicas desse trabalho foram: a definição do problema e planejamento dos encontros, a coleta de dados nos encontros do grupo, o tratamento e análise. Essas etapas encontram-se detalhadas na Figura 5.

Figura 5. Etapas metodológicas da investigação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A amostragem foi intencional sendo que, a partir do objetivo de pesquisa de investigar em profundidade as compreensões dos estudantes, foram selecionados estudantes de graduação de um curso de Ciências Biológicas de uma universidade estadual de São Paulo. A investigação foi realizada seguindo as diretrizes éticas do Conselho Nacional de Saúde e o protocolo de aprovação encontra-se como [anexo](#).

A amostra de estudantes contava com participantes que já haviam participado dos encontros do grupo em anos anteriores e já estavam acostumados com a dinâmica das atividades (E1, E2, E3, E6 e E7), bem como por estudantes que ingressaram no ano de 2022 (E4 e E5). A frequência dos estudantes nos encontros foi instável, dificultando a padronização da amostragem. Inicialmente, o grupo contava com 10 estudantes e, ao final, apenas seis permaneceram. O número variável da amostragem para cada etapa da coleta de dados se justifica a partir da ausência dos estudantes em determinados encontros ([Quadros do Caderno de Material Suplementar](#)). O foco de análise estará sobre os dados dos estudantes E1, E2, E3,

E4 e E5, que estiveram presentes do início ao fim da coleta, mas também serão incluídos dados de outros estudantes para complementar as análises. No quadro a seguir, apresentamos um resumo das informações de cada encontro, apresentando os dados que foram produzidos em cada um deles.

Quadro 1. Descrição dos encontros realizados, apresentando a data, atividades e dados produzidos em cada um deles.

Encontro		Data	Atividades	Dados produzidos
Etapa inicial	01	28/JUN/22	(1) Apresentação do grupo; (2) discussão acerca da Epistemologia da Biologia e Ensino; (3) Aplicação do questionário inicial.	(1) Gravação do encontro; (2) Respostas do questionário.
	02	05/JUL/22	(1) Aplicação do questionário inicial; (2) Discussão acerca da informação na Biologia; (3) Elaboração de representação da informação.	(1) Respostas do questionário; (2) Gravação do encontro; (3) Representações elaboradas pelos participantes.
	03	12/JUL/22	(1) Aplicação do questionário inicial; (2) Discussão acerca da informação na Biologia; (3) Encaminhamento de leitura de Buckland (1991) ¹ .	(1) Respostas do questionário; (2) Gravação do encontro.
Desenvolvimento	04	19/JUL/22	(1) Discussão acerca da informação na Biologia a partir da leitura de Buckland (1991); (2) Encaminhamento de leitura de Capurro e Hjørland (2007) ¹ .	(1) Gravação do encontro.
	05	02/AGO/22	(1) Discussão acerca da informação na Biologia a partir da leitura de Capurro e Hjørland (2007).	(1) Gravação do encontro.
	06	09/AGO/22	(1) Discussão a partir da pergunta: “Depois do que temos discutido nos encontros anteriores, o que vem à mente quando pensamos em “informação genética”?; (2) Exercício de criar um enunciado para informação genética; (3) Encaminhamento de pesquisa: participantes deveriam buscar trechos de materiais didáticos ou sites contendo a expressão “informação genética”.	(1) Gravação do encontro; (2) Registro escrito individual dos enunciados dos estudantes.
	07	16/AGO/22	(1) Discussão a partir dos trechos trazidos pelos participantes.	(1) Gravação do encontro.
	08	03/OUT/22	(1) Registro individual das concepções de informação genética; (2) Análise em grupo das respostas do formulário inicial; (3) Discussão sobre aproximações e afastamentos entre as concepções anteriores e as atuais.	(1) Gravação do encontro; (2) Registro escrito individual das concepções dos participantes.
	09	10/OUT/22	(1) Continuação da discussão da semana anterior; (2) Edição dos registros individuais produzidos no encontro anterior, (3) Análise em grupo da transcrição do encontro 03.	(1) Gravação do encontro; (2) Registro escrito individual das concepções dos participantes.
	10	17/OUT/22	(1) Participantes foram convidados a responder à pergunta: “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em	(1) Gravação do encontro; (2) Registro escrito individual das concepções dos participantes.

¹ Leitura selecionada para contextualização da discussão de informação na literatura científica.

			diversos processos moleculares da célula. Explique a estrutura e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”; (2) Discussão acerca de a informação genética ser uma metáfora.	
	11	31/OUT/22	(1) Continuação da discussão da semana anterior e discussão acerca do conceito de “código genético”.	(1) Gravação do encontro.
	12	07/NOV/22	(1) Participantes foram convidados a escrever uma sentença relacionando “código genético” com “informação genética”; (2) Discussão acerca de a informação genética e código genética a partir de Barbieri (2019) ² .	(1) Gravação do encontro; (2) Registro escrito individual das sentenças dos participantes.
Encerramento	13	09/JAN/23	(1) Apresentação da definição prévia de informação (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2022); (2) Discussão para validar a definição.	(1) Gravação do encontro.
	14	16/JAN/23	(1) Continuação da discussão do encontro anterior.	(1) Gravação do encontro.
	15	30/JAN/23	(1) Interpretação de caso biológico da planta <i>Boquila trifoliata</i> a partir da definição oferecida no último encontro ³ ; (2) Aplicação de questionário final.	(1) Gravação do encontro, (2) Respostas do questionário.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O questionário inicial foi dividido em duas seções para que a leitura das perguntas da seção dois não influenciasse na resposta da seção um. A primeira seção apresentava a pergunta: “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a estrutura e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”. O trecho: “*“informação” pode ser entendida como uma unidade de comunicação. Quando informamos, estamos informando alguém sobre algo. No caso da informação genética...*” introduzia a segunda seção do formulário, que apresentava as seguintes questões: “*Quem estaria comunicando, isto é, quem seria o emissor?*”, “*A quem estaria comunicando, isto é, quem seria o receptor da mensagem?*” e “*O que estaria sendo comunicado, isto é, qual é esta informação, sobre o que?*”. As respostas foram agrupadas a partir de categorias criadas *a posteriori*.

O questionário final contava com uma lista de 21 assertivas que os estudantes deveriam responder seguindo as seguintes opções da escala Likert: discordo totalmente, discordo parcialmente, concordo parcialmente e concordo plenamente. Em caso de discordância, os estudantes eram convidados a justificar o posicionamento. A opção neutra foi removida para pressionar um posicionamento dos estudantes. O instrumento foi analisado por uma banca

² Leitura selecionada para compreensão da dimensão evolutiva do código genético.

³ Exemplo selecionado para investigar como o conceito de informação pode contribuir para a interpretação de um fenômeno biológico.

composta por três juízes com titulação de doutorado na área de Ensino de Ciências. A lista das assertivas encontra-se no quadro a seguir.

Quadro 2. Assertivas do questionário final respondido pelos estudantes. A segunda coluna apresenta aquilo que a assertiva busca verificar e a terceira coluna apresenta a possível distorção conceitual associada à assertiva.

Assertiva	Quero saber se os estudantes compreendem que...	Possível distorção conceitual relacionada
1 A informação genética pode ser emitida de um organismo para os seus descendentes (incorreta).	Seres vivos não humanos não enviam informação. Seres vivos sintetizam moléculas, emitem padrões de energia e ondas que podem ser percebidos por outros organismos. Este processo não é direcionado e intencional, foi	Existe emissor da informação genética ao nível evolutivo.
2 Não existe emissor para a informação genética que é traduzida na síntese proteica (correta).	estabelecido evolutivamente por interações contingentes.	Existe emissor da informação genética ao nível fisiológico.
3 Os organismos recebem informação genética da geração parental (incorreta).	São os próprios seres vivos/ células que interagem com a matéria e energia ao seu redor, estabelecendo correspondências internas ou externas, de natureza material ou energética. Ocasionalmente, estes elementos foram produzidos por outros organismos, ou são a continuidade deles.	Existe receptor da informação genética ao nível evolutivo.
4 A célula é quem recebe a informação genética (incorreta).	O estabelecimento de uma correspondência dos códons em aminoácidos é uma emergência metabólica da célula.	Existe receptor de informação genética ao nível fisiológico.
5 Uma parte do genoma pode representar uma característica (incorreta).	As sequências dos ácidos nucleicos não representam coisa alguma, não estão no lugar de um outro, são apenas as moléculas em si. Os sofisticados padrões dos processos nos quais eles estão envolvidos que observamos são produtos evolutivos e complexos.	Moléculas carregam significado.
6 Uma parte do genoma pode representar como a geração anterior lidou com um determinado aspecto do ambiente em que vivia (incorreta).		
7 Informação genética nada mais é do que as moléculas de ácidos nucleicos em si (incorreta).		
8 A informação contida no DNA é semelhante à informação contida em uma palavra, pois assim como uma palavra representa algo (por exemplo, um objeto físico, uma ação, um processo), um códon representa um aminoácido (incorreta).		
9 Um feromônio na atmosfera significa para um determinado organismo “há um parceiro sexual em potencial neste ambiente” (incorreta).	Moléculas e padrões de energia não representam, não estão no lugar de um outro, apenas são moléculas e padrões de energia em si mesmos.	Significado é sinônimo de função biológica.
10 Para uma planta, a luz do sol significa que o dia começou (incorreta).	Função biológica é estabelecida evolutivamente e significados são arbitrários, sem restrições biológicas, químicas e físicas.	
11 A luz do sol para uma planta significa que ela deve fazer fotossíntese (incorreta).		
12 Um pássaro pode emitir um som com a intenção de avisar o bando que existe um predador no local (incorreta).	A comunicação entre seres vivos é uma emergência evolutiva que surge a partir de interações contingentes.	Existe intencionalidade em processos de comunicação entre organismos vivos.

13 O gametófito feminino de briófitas envia um sinal químico com a finalidade de atrair o anterozoide (incorreta).		
14 Uma molécula de toxina pode ser interpretada por uma célula como um ambiente inóspito (incorreta).	Os padrões de resposta para as mais diversas informações se dão de forma contingente, por interações sem intenção e sem cognição, que acontecem por restrições químicas, físicas ou biológicas.	Existe interpretação cognitiva nos fenômenos de interação na biologia.
15 Conhecendo o genoma de um organismo, é possível prever sua morfologia, fisiologia e comportamento (incorreta).	A construção fenotípica é um processo complexo que não depende apenas de processos genéticos.	Todas as características dos organismos têm correspondência com uma parte do genoma.
16 Se uma informação não for relevante para o fitness de um organismo, ela não será processada (incorreta).	Nem toda informação altera o fitness de um organismo.	Toda informação tem uma função biológica.
17 O efeito de uma informação é diferente de acordo com o organismo ou unidade com a qual está interagindo (correta).	Seres humanos e células acopladas recebem as mesmas informações de formas diferentes.	Células e organismos não humanos acoplados recebem informações da mesma forma que seres humanos.
18 O DNA é formado por um conjunto de códigos (incorreta).	O código genético consiste na correspondência entre códons e aminoácidos.	Sequências de bases nitrogenadas e código genético são sinônimos.
19 Cada códon do DNA é um código (incorreta).		
20 O código genético consiste na sequência de bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos (incorreta).		
21 O código genético é formado por: adenina, guanina, citosina, timina e uracila (incorreta).		

Fonte: elaborado pelos autores.

Os encontros foram gravados e os mais representativos para este momento da pesquisa tiveram os trechos em que os estudantes manifestavam suas concepções de informação transcritos.

O contato com os dados nos permitiu identificar algumas distorções conceituais nas falas e representações dos estudantes. Nesse sentido, organizamos duas categorias principais para a análise de dados: 1 Distorções conceituais e 2 Conceito científico. Na primeira categoria, incluímos os dados em que consideramos encontrar distorções conceituais de duas naturezas: 1.1 Relação pensamento-linguagem (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020) e 1.2 Epistemológica. As distorções conceituais oriundas da relação pensamento-linguagem, por sua vez, foram organizadas nas subcategorias de 1.1.1 Metáfora e 1.1.2 Polissemia. Por outro lado, as distorções conceituais de natureza epistemológica foram divididas nas subcategorias de 1.2.1 Reificação da informação e 1.2.2 Código genético como sinônimo de sequência de bases nitrogenadas. Consideramos que os estudantes se referiram à categoria de conceito científico quando falavam em informação em termos de correspondência (conforme definição proposta no artigo [Informação na Biologia: uma Síntese](#), apresentado no capítulo 1 dessa tese). Estabelecemos indicadores para identificar cada uma das categorias, selecionamos unidades de

sentido nos dados produzidos e categorizamos cada uma delas. A síntese da organização das categorias e seus indicadores estão disponíveis no Quadro 3.

Quadro 3. Categorias de análise das concepções dos estudantes e seus respectivos indicadores.

Categoria	Subcategorias		Indicadores
1 Distorção conceitual	1.1 Natureza pensamento-linguagem	1.1.1 Metáfora	“emissor”, “receptor”, “enviar”, “receber”, “transmitir”, “passar”, “interpretar”.
		1.1.2 Polissemia	Concepções fragmentadas e distintas para cada área do conhecimento. “Diferente”, “duas”, “mais que um”.
	1.2 Natureza epistemológica	1.2.1 Reificação da informação	“conteúdo é sobre...”, “significado”, não indicar a síntese proteica como processo pelo qual há correspondência entre a sequência de bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos e os aminoácidos das proteínas; “carregar”, “armazenar”.
		1.2.2 Código genético é a sequência de bases nitrogenadas	“o código indica as proteínas a serem produzidas”, “cada DNA tem um código”.
2 Conceito científico citado (Capítulo 1)	2.1 Correspondência como sinônimo de informação genética		“interações moleculares”, “síntese proteica”, “fisiologia”, “correspondência”, “interação”, “combinação”, “química”, “sinapse”, “emitir”, “reação”.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir, no artigo “[A metáfora da comunicação na compreensão do conceito de informação genética: uma investigação acerca da formação inicial de professores de Ciências e Biologia](#)”, aceito para publicação na Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação, discutiremos as concepções que categorizamos na categoria 1.1 Distorções conceituais de natureza pensamento-linguagem. Todos os dados provenientes da coleta estão disponíveis no [Caderno de Material Suplementar](#), após os anexos desse documento.

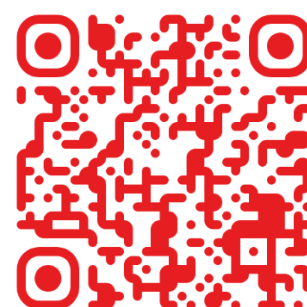
**A METÁFORA DA COMUNICAÇÃO NA COMPREENSÃO DO CONCEITO DE
INFORMAÇÃO GENÉTICA: UMA INVESTIGAÇÃO ACERCA DA FORMAÇÃO
INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA**

***LA METÁFORA DE COMUNICACIÓN EN LA COMPRENSIÓN DEL
CONCEPTO DE INFORMACIÓN GENÉTICA: UNA INVESTIGACIÓN DE
FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE CIENCIAS Y BIOLOGÍA***

***THE METAPHOR OF COMMUNICATION IN GENETIC INFORMATION
CONCEPTUAL COMPREHENSION: AN INVESTIGATION IN INITIAL SCIENCE
AND BIOLOGY TEACHER EDUCATION***

Como referenciar este artigo:

SOBRENOME, Nome. Título do artigo. **Revista
Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v.
18, n. 00, **ELOCATION**, 2023. e-ISSN: 1982-5587. DOI:



| Submetido em: 00/00/0000
| Revisões requeridas em: 00/00/0000
| Aprovado em: 00/00/0000
| Publicado em: 00/00/0000

Editor: Prof. Dr. José Luís Bizelli
Editor Adjunto Executivo: Prof. Dr. José Anderson
Santos Cruz

RESUMO: O conceito de informação genética é de relevância para a compreensão de problemas socioambientais como organismos geneticamente modificados e terapia gênica. Levando em consideração a possibilidade de esse conceito causar distorções conceituais por metáfora na aprendizagem, objetivamos descrever quais são as concepções de *informação genética* de professores de Biologia em formação e como suas compreensões foram modificadas ao longo de reflexões científicas e filosóficas. Coletamos dados por meio de questionários, entrevistas em grupo e representações individuais. Identificamos que professores em formação compreendiam a informação genética em termos metafóricos, avançaram para uma rejeição completa da metáfora e atingiram um ponto de equilíbrio no encerramento, exibindo compreensões compatíveis com o conceito científico proposto, apesar de exibirem uma combinação de perfis conceituais. Propusemos critérios linguísticos para utilizar a metáfora no ensino e para identificar o seu denotativo do termo. Oferecemos um quadro de assertivas para diagnóstico de concepções e indicamos implicações didáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Biologia. Ensino de Genética. Informação. Metáfora. Linguagem.

RESUMEN: *En el presente escenario de sofisticación tecnológica, la Enseñanza de Ciencias debe formar ciudadanos capaces de participar de la toma de decisiones individuales y colectivas. El concepto de información genética es relevante para la comprensión de problemas socioambientales como organismos genéticamente modificados y terapia génica, por ejemplo. Teniendo en cuenta la posibilidad de este concepto provocar distorsiones conceptuales por metáfora en el aprendizaje, objetivamos describir cuales son las concepciones de “información genética” de profesores de Biología en formación y cómo sus comprensiones fueran modificadas al largo de sesiones de conversaciones científicas y filosóficas. Recogimos datos por medio de cuestionarios, entrevistas en grupo y representaciones individuales. Identificamos que profesores en formación comprendían información genética en términos metafóricos, avanzaron para un rechazo total de la metáfora y han alcanzado un punto de equilibrio al cierre, mostrando comprensiones compatibles con el concepto científico propuesto, aunque presentasen una combinación de perfiles conceptuales.*

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de Biología. Enseñanza de Genética. Información. Metáfora. Lenguaje.

ABSTRACT: *In the present context of technological sophistication, Science Education might train citizens to be able to participate in individual and collective decision making. The concept of genetic information is relevant for the comprehension of socioenvironmental problems, such as genetic modified organisms and genic therapy, for example. Considering the possibility of this concept to provoke misconceptions by metaphor in learning, we aimed describing which are the conceptions of genetic information from Biology teachers in training and how these conceptions changed through scientific and philosophical conversation sessions. We collected data using questionnaires, group interviews and individual representations. We identified that teachers in training comprehended genetic information in metaphorical terms, moved forward to a complete rejection of the metaphor and reached a balancing point in the end, exhibiting comprehensions compatible with the proposed scientific concept, although some showed a combination of different conceptual profiles.*

KEYWORDS: *Biology Teaching. Science Teaching. Information. Metaphor. Language.*

Introdução

A Educação relacionada à Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) tem por objetivo aperfeiçoar o letramento científico. Nesse sentido ela orienta os conteúdos e procedimentos curriculares para possibilitar a aprendizagem de conteúdos que contribuam para que tomar melhores decisões frente à natureza e aos problemas socioambientais (RICARDO, 2007; SANTOS; MORTIMER, 2001; SASSERON; CARVALHO, 2011). Nessa abordagem, os problemas socioambientais são os contextos de aprendizagem, enquanto os conceitos científicos e tecnológicos constituem os saberes de referência. (SANTOS; MORTIMER, 2001).

Um dos temas mais importantes da Biologia é o Ensino de Genética, uma área que contribui para posicionar os estudantes acerca de questões como: organismos geneticamente modificados, vacinas de DNA e RNA, terapia gênica, edição de genes e a própria teoria evolutiva. Dentre os conceitos necessários para a interpretação destes cenários de tomada de decisão está o conceito de *informação genética*. Apesar da relevância atestada pela ampla ocorrência do termo nos materiais didáticos, observa-se a falta de consenso acerca de sua definição no debate filosófico e científico (GANIKO-DUTRA, 2021). Nesse mesmo momento, indicamos a possibilidade de este termo causar distorções conceituais devido a ele ser, possivelmente, de natureza conotativa. Para evitar distorções conceituais e, portanto, assegurar que os estudantes tenham acesso a termos mais precisos, propomos uma investigação acerca das concepções de professores de Biologia acerca do termo *informação genética*.

Assim, tendo em vista que o conceito de *informação* é um saber de referência para a compreensão e enfrentamento dos problemas socioambientais anteriormente citados, este trabalho tem como objetivo inicial diagnosticar as concepções prévias de *informação genética* correntemente disseminada por graduandos dos cursos de licenciatura em Ciências Biológicas. Uma segunda abordagem mostrou como as compreensões desses licenciandos acerca do tema foram se tornando mais precisas ao longo das atividades propostas, no sentido de clarificar o conceito sob os pontos de vista científico e filosófico. Finalmente, propomos uma reflexão acerca da relação pensamento-linguagem de natureza metafórica distorções conceituais indesejáveis que elas aportaram.

O conceito de informação genética

A palavra *informação* é um dos princípios fundamentais da Biologia, sendo um importante conceito estruturante para esta ciência. De acordo com Scheiner (2010), ele pode ser sintetizado no enunciado “a vida requer um sistema para armazenar, usar e transmitir informação”. Neste contexto, a expressão mais evidente da presença da palavra *informação* nos fenômenos biológicos se dá nos âmbitos da Genética e da Biologia Molecular.

Apesar da evidente importância, esse conceito vem sendo amplamente discutido a partir de diversos pontos de vista epistemológicos, porém, sem consenso aparente. Sem o objetivo de aprofundar a discussão neste momento, indicamos parte da diversidade de abordagens existente para interpretação do conceito: (I) informação causal (GODFREY-SMITH, 2008; SHANNON, 1948); (II) informação semântica (GODFREY-SMITH, 2008; MAYNARD SMITH, 2000; SHEA, 2007; 2011; STEGMANN, 2004); (III) informação reificada (WILLIAMS, 1992); (IV) informação transmissiva (BERGSTROM; ROSVALL, 2011; GODFREY-SMITH, 2011; MACLAURIN, 2011; STEGMANN, 2014); (V) informação evolutiva (KOONIN, 2016); (VI) informação fictícia (LEVY, 2011); e (VII) jogos de sinalização (PLANER, 2014).

No âmbito da Genética identificamos pelo menos as quatro seguintes acepções relativas ao termo *informação*, o que caracteriza uma polissemia (Ganiko-Dutra, 2021). Trata-se das referências: (1) a dados moleculares, como estrutura e medidas quantitativas; (2) aos ácidos nucleicos; (3) a sinais provenientes do ambiente que interagem com os ácidos nucleicos; e (4) à prática científica. Como o termo também pode derivar para uma possível *metáfora* (GANIKO-DUTRA, 2021), ele será utilizado no sentido (a) de um processo que estabelece relação de correspondência entre dois objetos e (b) do objeto informado (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, em preparação).

A maior parte dos autores concebem o termo *informação genética* a partir de uma relação pensamento-linguagem denotativa, mas alguns, como Levy (2011) e Maturana e Varela (2001) o consideram como uma metáfora. Levy (2011) propõe até sua eliminação na Biologia devido à falta de plausibilidade semântica para designar funções evolutivas, permanecendo válido somente para explicações proximais. Apesar de se postular a dimensão evolutiva da informação, quando se questiona acerca de seus efeitos nos organismos, as explicações, frequentemente, são fisiológicas (*idem*). Sua crítica ainda chama a atenção para o caráter intencional do termo, e até para o tom das explicações em que ele ocorre, frequentemente acompanhado de aspas.

Maturana e Varela (2001, p. 218) afirmam que não existe “informação transmitida” em Biologia indicando que essa interpretação é concebida a partir da metáfora de que a comunicação é um tubo: “a comunicação é algo que se produz num ponto, é levado por um conduto (ou tubo) e entregue em outro extremo, o receptor” (*sic!*). Segundo Levy (2011), as características das descrições informacionais são: a direcionalidade, uma vez que há um emissor que envia um fator intermediário para um receptor; a correspondência entre partes distintas de dois sistemas; e a agência dos emissores e receptores em detrimento da passividade do sinal (informação).

Apesar da importância das metáforas para a compreensão dos fenômenos moleculares que ocorrem nas células, argumenta-se que o uso delas requer cuidado para não incorrer em visões metafísicas que reificam a informação, bem como em visões genecentristas (LEVY, 2011). Além disso, Maturana e Varela (2001) rejeitam o uso dessa metáfora que indicaria que a interação seria determinada pelo emissor e não pela dinâmica estrutural do sistema de acoplamento. Na metáfora, o receptor seria concebido como uma entidade passiva que apenas recebe a informação enviada pelo emissor. Entretanto, os autores defendem que os efeitos no receptor estão relacionados com as suas características estruturais, ou seja, de como a informação percebida reverbera no fluxo de matéria e energia autopoiético que o constitui.

Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no Ensino de Biologia

No âmbito da linguagem, que também estrutura nossa visão do mundo (EVANS; GREEN, 2006; VYGOTSKY, 2000), a metáfora ocorre quando entendemos um conceito em termos de outro (LAKOFF; JOHNSON, 2003). Podemos dizer que existe um domínio X, familiar e já conhecido, e um domínio Y, a ser conhecido. Como X e Y possuem aspectos compatíveis, podemos entender Y em termos de X. Nesse sentido, podemos dizer que a

metáfora coloca em evidências aspectos compatíveis entre os domínios, porém, oculta aspectos incompatíveis (LAKOFF; JOHNSON, 2003).

As metáforas têm origem em nossa experiência, como a noção de espaço e das ações físicas. A nossa cultura corrente admite, por exemplo, que o tempo se organiza segundo uma dimensão espacial, com o futuro orientado “para frente” e o passado, “para trás”. Para além dessas questões pontuais, as metáforas estruturam nossa percepção da realidade (LAKOFF; JOHNSON, 2003).

No que diz respeito da metáfora no âmbito do Ensino de Biologia, Wandersee, Fisher e Moody (2000) apresentaram um esquema acerca da apreensão de conceitos em Biologia. Entre as fontes de informação estão: a percepção do mundo vivo; a sociedade e a cultura; e as aprendizagens formais e informais, que também incluem as metáforas. De acordo com eles, os meios que os estudantes dispõem para aprender são: a aquisição do conhecimento; a organização e reflexão; e o uso do conhecimento. Essas etapas são retroalimentadas, e a compreensão resultante pode influenciar a forma como se percebe a realidade.

Nosso grupo de pesquisa vem investigando a forma como o uso de termos conotativos pode originar distorções conceituais no Ensino de Biologia. Embora as analogias e metáforas constituam um recurso didático relativamente comum para compreender as características mais fundamentais da natureza, elas trazem também algum grau de deformação conceitual associado. Portanto, a transferência de aspectos incompatíveis entre dois domínios associados por uma metáfora, configura a distorção conceitual por metáfora (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020).

Nesse sentido, ao refletirmos acerca do uso da metáfora no ensino (GLYNN, 2007), é possível explicá-lo por meio de outra metáfora. O uso delas no ensino é como um andaime. Assim como esse instrumento é utilizado para a construir um edifício e removido após a obra, a metáfora pode ser utilizada para ensinar, mas precisa ser removida assim que a aprendizagem é diagnosticada, a fim de evitar a transferência dos aspectos incompatíveis de um domínio a outro. Um molde discursivo para utilizar metáfora em sala de aula poderia ser: “assim como X [descrever o aspecto compatível do conceito familiar], Y também [reforçar aspecto compatível do conceito a ser ensinado]. Entretanto, apesar de X [descrever aspecto incompatível do conceito familiar que não pode ser transferido para o conceito a ser ensinado], o mesmo não ocorre para Y”.

Metodologia

Esta investigação, de carácter qualitativo (PATTON, 2002), foi conduzida dentro do paradigma da visão-lógica de pesquisa interpretativa propugnada por Taylor (2014).

Os dados foram coletados por meio de questionários e roteiros de entrevistas aplicados em estudantes de graduação do curso de Ciências Biológicas de uma universidade estadual do estado de São Paulo, dos períodos integral e noturno. Nesse sentido, foram realizados quinze encontros entre junho de 2022 e janeiro de 2023, com amostra intencional, com o intuito de diagnosticar como evoluiu a abordagem dos graduandos sobre temas ligados à Genética Molecular. A investigação foi realizada em acordo com as diretrizes éticas do Conselho Nacional de Saúde mediante aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.

Ao longo dos encontros, foram realizadas entrevistas em grupo gravadas segundo os movimentos discursivos propostos por Windschitl, Thompson e Braaten (2018). Aplicamos também um questionário inicial e um questionário final cujas respostas foram entregues por escrito.

Segundo os objetivos, as reuniões foram divididas em três momentos: (1) a etapa inicial (três encontros), quando problematizamos a questão epistemológica e entregamos o questionário inicial, (2) o desenvolvimento (nove encontros), quando foi proposta a leitura de Buckland (1991)⁴ e foram coletadas as respostas do questionário inicial e (3) o encerramento (três encontros), momento em que os participantes também responderam ao questionário final e explicitaram suas próprias representações sobre o tema.

O questionário inicial foi dividido em duas seções para que as perguntas da segunda seção não influenciassem nas respostas da primeira. A primeira seção apresentava o seguinte comando:

Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.

Como esperado, a partir de nossas hipóteses iniciais, que houvesse uma profusão no uso da palavra *informação* nas respostas (como “transmissão da informação genética”), o tema suscitou um desdobramento, na segunda seção. Nesta perspectiva, a palavra *informação* pode ser entendida como uma unidade de comunicação. Quando informamos, estamos informando alguém sobre algo. Por isso, a segunda seção do formulário apresentou as seguintes questões:

⁴ Esta leitura contribuiu para um mapeamento inicial da discussão acerca da *informação* presente na área de Ciências da Informação e de Ciências da Natureza.

- Quem estaria comunicando, isto é, quem seria o emissor?
- A quem estaria comunicando, isto é, quem seria o receptor da mensagem? e
- O que estaria sendo comunicado, isto é, qual é a natureza dessa informação; sobre o que ela versaria?

Entre as atividades realizadas no conjunto dos encontros que chamamos de *desenvolvimento*, podemos citar: discussões epistemológicas, leituras de artigos⁵, elaboração de representações individuais, análise das respostas coletadas no questionário inicial e análise da transcrição do segundo encontro.

Na etapa de *encerramento* foi proposta uma definição prévia da palavra *informação* para reflexão sobre a pertinência de seu uso em Biologia (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2022). Esta proposta não foi apresentada como consenso científico aos estudantes, mas, sim, com caráter de “ciência viva”, ou seja, como uma questão que ainda encontra-se em debate na comunidade científica. Também foi proposto o estudo de um caso de mimese observado na planta *Boquila trifoliata*⁶ e, por fim, foi aplicado o questionário final cujos resultados foram interpretados de acordo com a escala Likert. Dentre as assertivas presentes nesse instrumento, selecionamos aquelas relacionadas à *metáfora* (quadro 4).

Quadro 4. Assertivas para coleta de dados no questionário final. As respostas foram estruturadas segundo a escala Likert com quatro opções mediante justificativa em caso de discordância (concordo plenamente, concordo parcialmente, discordo parcialmente e discordo totalmente).

Assertiva	Teriam os estudantes compreendido que...	Possível distorção conceitual
A) A informação genética pode ser emitida de um organismo para os seus descendentes (incorreta).	as reações bioquímicas dos seres vivos não enviam informação? Seres vivos sintetizam moléculas, emitem padrões de energia e ondas que, eventualmente, percebidos por outros organismos?	Sob o ponto de vista evolutivo, existiria um emissor de informações genéticas.
B) Não existe emissor para a informação genética que é traduzida na síntese proteica (correta).	Teriam eles consciência de que esse processo não é direcionado ou intencional, mas estabelecido somente por contingências evolutivas?	Sob o ponto de vista fisiológico, existiria um emissor das informações genéticas.
C) Os organismos recebem informação genética da geração parental (incorreta).	são os próprios seres vivos ou suas células que interagem com a matéria e energia ao redor, estabelecendo correspondências internas ou externas, de natureza material ou energética? Ocasionalmente, tais elementos foram produzidos por outros organismos, ou são a continuidade deles.	Sob o ponto de vista evolutivo, existiria um receptor da informação genética.
D) A célula é quem recebe a informação genética (incorreta).	a correspondência dos códons em aminoácidos é uma emergência metabólica da célula?	Sob o ponto de vista fisiológico, existiria um receptor da informação genética.
E) Informação genética nada mais é do que as moléculas de	as sequências dos ácidos nucleicos não representam coisa alguma, mas são apenas moléculas? Os sofisticados padrões e processos nos	Moléculas carregariam um significado.

⁵ Barbieri (2019); Buckland (1991); e Capurro e Hjørland (2007).

⁶ Esta planta é capaz de mimetizar as folhas de outras plantas próximas de onde ela cresce. A proposta da discussão seria interpretar a mimese a partir do conceito de *informação*.

ácidos nucleicos em si (incorreta).	quais eles estão envolvidos são produtos complexos que resultaram da evolução biológica.	
F) Um pássaro pode emitir um som com a intenção de avisar o bando que existe um predador no local (incorreta).	a comunicação entre seres vivos é uma emergência evolutiva não intencional que surge a partir de interações contingentes?	Existiria intencionalidade nos processos de comunicação entre organismos vivos.
G) O gametófito feminino de briófitas envia um sinal químico com a finalidade de atrair o anterozoide (incorreta).		
H) Uma molécula de toxina pode ser interpretada por uma célula como um ambiente inóspito (incorreta).	os padrões de resposta para as informações do ambiente ocorrem por interações químicas, físicas ou biológicas não intencionais e desprovidos de cognição?	Existiria uma interpretação cognitiva nos fenômenos biológicos.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados foram selecionados a partir da transcrição dos trechos mais representativos dos encontros, quando os participantes discutiam explicitamente o conceito de *informação*. Nesta etapa, os dados foram anonimizados.

A análise foi realizada por meio de uma análise temática com inferências realizadas a partir da síntese criativa dos autores (PATTON, 2002). Nesse sentido, identificamos três categorias de acepções por parte dos estudantes: i) distorções conceituais de natureza relação pensamento-linguagem (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020); ii) distorções conceituais de natureza epistemológica (*ibidem*); e iii) compreensão compatível com o conceito científico. No presente artigo, analisaremos a categoria i, que diz respeito à *metáfora*. Utilizamos indicadores para delimitar unidades de sentido e realizamos a categorização das concepções. Os indicadores foram *emissor*, *receptor*, *enviar*, *receber*, *transmitir*, *passar* e *interpretar*.

Resultados e discussão

Descreveremos as concepções dos estudantes (E), identificadas na análise temática para a categoria *metáfora*, em cada um dos três momentos: etapa inicial, desenvolvimento e encerramento.

Para responder à primeira pergunta do questionário inicial, cinco dos seis respondentes utilizaram a palavra *informação* e todos utilizaram palavras indicativas de distorção conceitual. O estudante E2 respondeu o seguinte:

- A função dos ácidos nucleicos está relacionada ao armazenamento e transferência de informações dos organismos, são eles o código mestre (“a receita de bolo”) de cada indivíduo.

Aí podemos identificar a palavra *transferência* como um indicador de distorção conceitual por metáfora. Entretanto, os mesmos estudantes que exibiram indicadores de distorção, forneceram explicações compatíveis com o conceito científico:

O funcionamento consiste em promover, por meio das suas informações, a síntese de proteínas que atuam na manutenção da vida. (E2)

Além disso, todos os estudantes indicaram emissores e receptores para a informação genética, o que, por si, consiste em indicadores de distorção conceitual por metáfora. O emissor foi apontado como o organismo (E1), o material genético (E2 e E5), qualquer lugar em que esteja a informação (E3), a célula-mãe (E4), e o núcleo celular (E7). O receptor foi apontado como sendo o próprio organismo (E1, E2), o meio que a informação genética influenciou (E3), as células-filhas (E4), as células (E5) e o RNA (E7). Levy (2011) considera a metáfora da informação genética como um processo de comunicação flexível, o que pode explicar os apontamentos de diferentes emissores e receptores, segundo os diferentes contextos e pontos de vista.

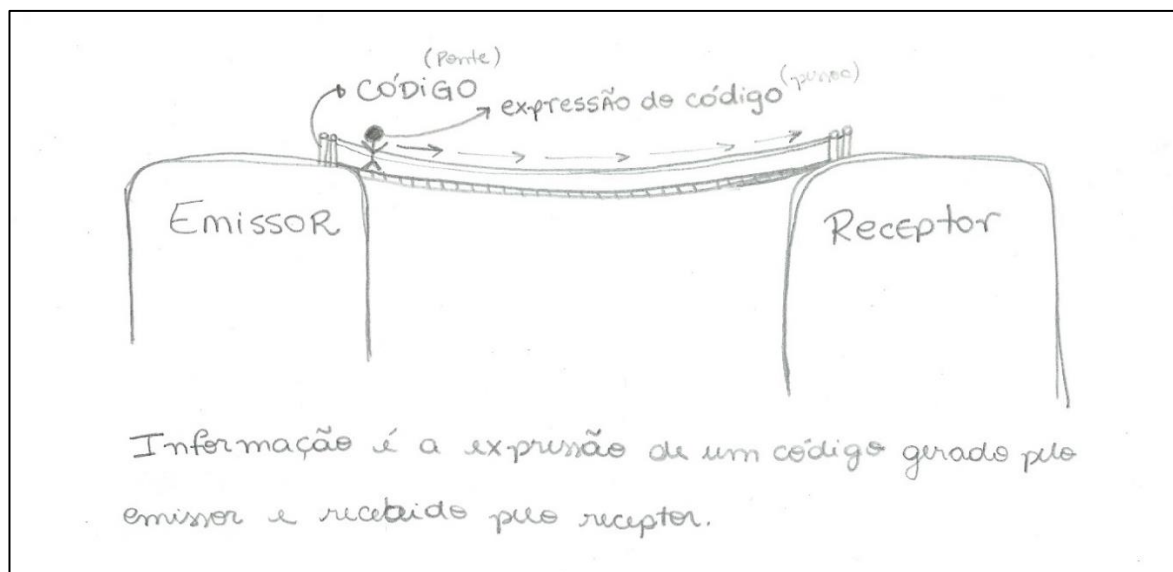
Ao longo das discussões dos encontros iniciais, os estudantes exibiram falas estruturadas com base em metáforas, como nos seguintes enunciados.

- É que a informação, na minha opinião, depende de quem está emitindo e de quem está recebendo. (E2);
- Fazendo uma analogia com propagação de som, tem que existir um meio para essa propagação, então a informação não seria o meio, ela seria o som. Ela seria o que é propagado. (E1); e
- Quero pensar na informação de uma célula tentando mandar alguma coisa para outra. Ela tem um objetivo e aí o receptor, na subjetividade dele, vai receber de formas diferentes. (E2).

Nesta última, a palavra o termo *objetivo* deixa explícita uma conotação de intencionalidade.

Nas representações individuais, E2 representou a informação genética como um fator intermediário entre emissor e receptor (Figura 6).

Figura 6. Representação do conceito de informação genética produzido pelo estudante E2.



Fonte: Elaborado por E2. Acervo dos autores.

Em determinados momentos, foi possível identificar respostas cujos conceitos oscilaram entre a conotação e a denotação, como as transcritas a seguir.

- Tem o fato que pode ser um objeto, um acontecimento; tem a informação que é o meio; e tem você assimilando isso, que é o receptor. Então, o fato ou o objeto, não é a mesma coisa que o processo de transmissão dele. (E1)
- Se não tem uma interação com um outro organismo, não é uma informação, só é. (E4)

Neste diálogo, é possível observar a substituição da palavra *emissor* por *objeto*, indicando uma possível transição da metáfora para a denotação.

Ao longo do desenvolvimento, foi possível observar conflitos linguísticos dos estudantes ao buscar por outras palavras alternativas à metáfora. Esse foi o caso, por exemplo, do estudante E6 quando questionado acerca da definição de *informação genética*:

- Determinação de característica passível de transmissão dá a entender que eu estou me referindo à característica, mas eu quero me referir ao fator de determinação, então eu acho que eu trocaria por “determinante passível de transmissão”.

Também nesta etapa, foi possível observar um aumento no uso de termos científicos, por exemplo, nas seguintes falas:

- Acho que seria a sequência de bases nitrogenadas combinada em aminoácidos. (E1);
- Correspondência. (E6);
- Então a expressão é a transcrição, a partir do DNA e do RNA. (E6)

Além de optar por termos mais precisos, os estudantes demonstraram uma tendência por rejeitar a palavra *informação*. Quando solicitados a descrever a estrutura e funcionamento dos ácidos nucleicos, a mesma tarefa solicitada no primeiro encontro, nenhum deles utilizou o termo *informação genética* em suas representações individuais. Anteriormente, cinco de seis participantes haviam usado essa expressão. E2, por exemplo, que na etapa inicial havia respondido com base em uma metáfora, apresentou a seguinte definição:

O funcionamento do material genético, contido no núcleo, se dá por meio dos processos de transcrição e tradução dos pares de bases que formam a fita em unidades de proteínas, que posteriormente (em conjunto) poderão atuar na fisiologia e morfologia do organismo como um todo.

Consideramos essa mudança como um sinal do “medo da metáfora”, como descrito por Lakoff e Johnson (2003).

Em alguns momentos, a rejeição dos termos relacionados a *informação* fez com que os estudantes a utilizassem como sinônimo de “material genético”, negligenciando o significado de *correspondência*, intrínseca a esse princípio fundamental da Biologia. Neste sentido, foi possível observar falas como:

- O DNA é a informação genética. (E1);
- A gente encontra informação genética como sinônimo de material genético, ou qualquer coisa herdável. (E6);
- A ideia seria substituir por termos como sinônimo de conjunto de genes, então utilizar termos como genótipo, tradução e transcrição. (E3).

Desde que adequadamente utilizada em salas de aulas consideramos a metáfora um importante recurso para o Ensino da Biologia, como proposto, entre outros, por Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020) e Glynn (2007). Portanto, não é desejável que os estudantes adquiram aversão pela metáfora, mas, ao contrário, que a partir de um aprofundamento epistemológico do conhecimento biológico, sejam capazes de desenvolver um conhecimento pedagógico do conteúdo (SHULMAN, 1986) suficiente para determinar os limites do uso da metáfora no ensino. Para isso, é importante que sejam capazes de distinguir os termos: *comunicação como tubo*, *informação genética* e *material genético*.

Em um dos encontros, o grupo de estudantes chegou a se aproximar de um consenso de que o termo *informação genética* poderia ser reduzido, sem risco de perder significado, para *material genético*. Entretanto, a informação genética não pode ser tomada como sinônimo de DNA e RNA. A informação consiste na relação triádica entre dois objetos e a correspondência

entre eles. Uma intervenção do pesquisador ao questioná-los “Qual é a função do DNA?” fez com que reelaborassem suas concepções e atingissem a ideia de correspondência.

No encerramento, foi possível observar que os estudantes passaram a ser mais criteriosos para utilizar os termos informacionais, associados à ideia de correspondência, conforme indicado pelas seguintes falas:

- Eu fiquei pensando que a informação está diretamente ligada à correspondência. (E3);
- Se você coloca a mão em alguma coisa quente, tem a correspondência entre a coisa quente e o impulso que ela gera, e tem a informação que vai correr só no sistema nervoso, que é a informação do estímulo e a ação que você tem que fazer, que no caso é o arco reflexo. Eu tenho a impressão que nesse caso, a gente tem duas informações, porque são duas correspondências, né? Tem a correspondência entre o objeto que gera o estímulo, e o estímulo e a ação consecutiva. (E1).

As evidências indicam que os encontros permitiram que os estudantes passassem pelos três estágios de compreensão conceitual da Biologia: aquisição de conhecimento (etapa inicial e experiências de aprendizagem externas ao contexto desta pesquisa, vivenciadas no curso), organização e reflexão (debates mediados pelo pesquisador e metacognição) e aplicação do conhecimento (interpretação de fenômenos e concepções prévias) (WANDERSEE; FISHER; MOODY, 2000).

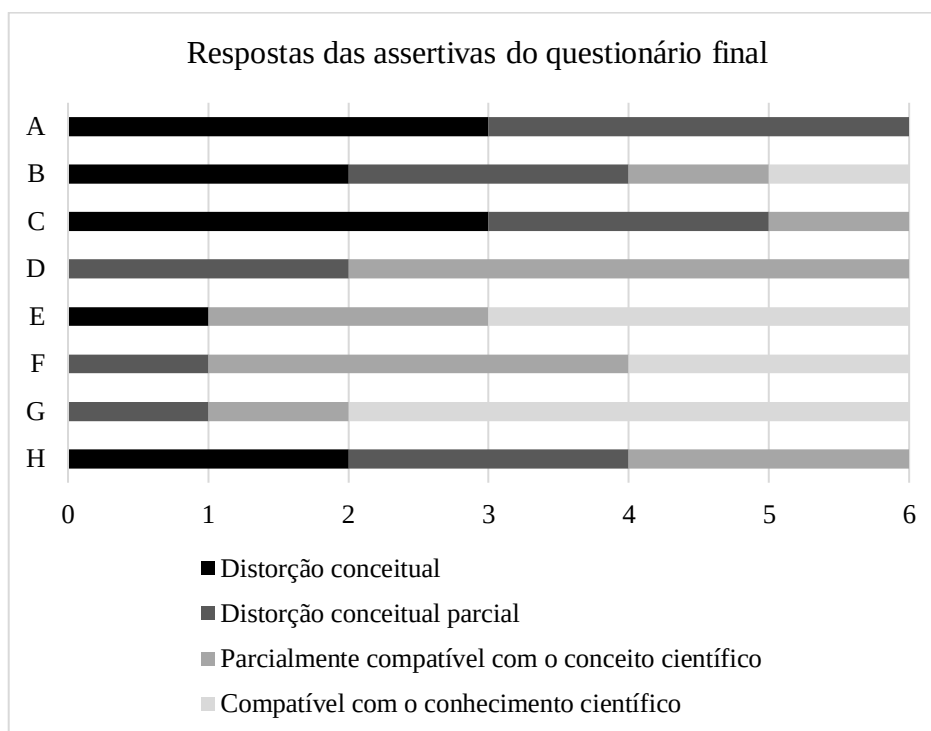
Apesar de identificar um “ponto de equilíbrio” no uso do termo *informação genética* — que está entre a metáfora, que representa um exagero ao atribuir à informação aspectos incompatíveis; e entre a redução, que remove a correspondência como uma importante essência do conceito —, os estudantes também exibiram concepções mistas, em que manifestavam, ao mesmo tempo, concepções compatíveis com o conceito científico e metafóricas, como ficou claro na fala de E4.

- Eu fiquei pensando que quando eu olhei para a árvore, eu estava recebendo aquela informação e aí eu pensei em algum outro animal vendo-a como obstáculo. Ele é o receptor porque ele está interagindo e está recebendo essa informação, mas também está percebendo por que tem a correspondência formulando essa informação, processando, né?

Ao mesmo tempo em que há indicadores como os termos *correspondência* e *interagindo*, podemos identificar cicatrizes de um pensamento metafórico, como indicado pelas palavras *recebendo* e *receptor*.

As respostas do questionário final com as respectivas quantificações das assertivas encontram-se no gráfico a seguir.

Gráfico 1. Respostas ao questionário final, indicando a quantidade de assertivas assinaladas em cada opção da escala Likert. O eixo x corresponde à quantidade respondentes e o eixo y corresponde às assertivas indicadas no quadro 4.



Fonte: elaborado pelos autores.

As assertivas que descreviam *informação* em termos metafóricos, utilizando palavras como *emissão* e *receptor* foram as que mais contribuíram para a distorção conceitual por metáfora (A, B, C e D). Os estudantes foram capazes de identificar a inconsistência teleológica nas assertivas F e G, indicando a ausência de concepções que remetesse explicitamente à intencionalidade.

Tais resultados nos sugerem uma das seguintes hipóteses: *i*) existem perfis conceituais (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2011) relacionados ao conceito de informação genética, sendo eles o perfil que estrutura a interpretação dos fenômenos pela metáfora e o perfil que interpreta a partir da correspondência; ou *ii*) os estudantes não vivenciaram experiências de aprendizagem suficientes para progredirem da conotação para a denotação. Nesse sentido, seria importante que esta investigação tivesse continuidade a fim de verificar se é possível que os estudantes atinjam um nível de aprendizagem no qual apenas forneçam evidências de aprendizagem com indicadores do conceito científico.

Carvalho, El-Hani e Nunes-Neto (2020) sugerem uma reorganização do currículo de Biologia para o Ensino Médio que priorize os conceitos estruturantes dessa ciência. Uma vez que os conceitos estruturantes trazem mais benefícios cognitivos do que a simples memorização, concordamos com a proposta, desde que alinhada aos objetivos da Educação

CTSA. De fato, a aquisição de conceitos estruturantes permite uma reorganização cognitiva que integra os conhecimentos prévios dos estudantes, oferecendo uma nova interpretação, mais abrangente e menos fragmentada.

Nesse sentido, o ensino de *informação* como um princípio fundamental da Biologia é potencialmente integrador, uma vez que permitirá aos estudantes apalpar uma nova interpretação dos fenômenos abordados no estudo das ciências da vida. A partir do esquema proposto por Ganiko-Dutra, Ceschim e Caldeira (a ser publicado), por meio do ensino do conceito de informação, é possível integrar conhecimentos de diversos níveis de organização (molecular, orgânico e populacional) em diversos recortes de tempo (fisiológico, ontogenético e evolutivo).

Considerações Finais

A partir da compreensão da *informação* como princípio fundamental da Biologia, do mapeamento das distorções conceituais por metáfora mobilizadas para a compreensão conceitual, e levando em consideração o potencial integrador desse conceito, elencamos alguns desdobramentos didáticos.

Os movimentos discursivos estratégicos e planejados consistem em um valioso recurso para proporcionar experiências de aprendizagem para que os estudantes tenham oportunidade de confrontar e refletir sobre concepções metafóricas e reconstruam suas próprias compreensões. Neste sentido a sistematização proposta por Windschitl, Thompson e Braaten (2018) é de grande contribuição para o repertório do professor de Biologia.

Embora o uso de metáforas possa gerar distorções conceituais, seu valor como recurso didático não deve ser descartado. Desde que o professor possua conhecimento pedagógico do conteúdo, é possível que a metáfora contribua para aprendizagem do conceito de *informação* ao explicitar a noção de correspondência. Entretanto, uma vez que o professor diagnostique a sedimentação da aprendizagem, é preciso também explicitar os aspectos incompatíveis da metáfora, por exemplo, a intencionalidade.

Uma importante etapa para a aprendizagem é diferenciar: *material genético*, *informação* e *comunicação*. É possível que os estudantes misturem estes três conceitos, que são incompatíveis. Nesse sentido, é importante que o professor faça a distinção entre eles. Com isso, queremos dizer que ensinar sobre a estrutura e funcionalidade dos ácidos nucleicos não é suficiente para a aprendizagem do conceito de *informação*. Entretanto, é por meio do ensino dos conceitos científicos específicos da Biologia, que se podem ser ensinados os conceitos estruturantes (CARVALHO; EL-HANI; NUNES-NETO, 2020). Assim, ao ensinar a estrutura

e funcionamento dos ácidos nucleicos, os professores podem ensinar também o conceito de *informação*.

No que diz respeito à estrutura curricular de cursos de formação inicial em Ciências Biológicas, consideramos que o conceito de *informação* pode estar presente em diferentes momentos: 1) na disciplina de Filosofia da Biologia, aprofundando a discussão e oferecendo um espaço de integração de conceitos; 2) em disciplinas específicas de Genética, Biologia Molecular, Fisiologia Celular, Evolução, Etologia, entre outros. Em cursos de licenciatura, este conceito ainda pode ser explorado em disciplinas de prática de ensino, como uma possibilidade de os professores organizarem aulas utilizando *informação* como um saber de referência para o enfrentamento de problemas socioambientais; como também ser um eixo integrador que organiza os conteúdos de Biologia no Ensino Básico.

Nesta pesquisa, buscamos oferecer critérios para o ensino de Genética apontando palavras indesejadas por tratarem de um uso metafórico da linguagem; critérios para identificar um uso denotativo da palavra *informação* como sinônimo de correspondência; oferecendo um quadro de assertivas para diagnóstico de concepções (Quadro 4); e indicando implicações didáticas. Esperamos que estes registros contribuam com o Ensino de Genética e com a formação cidadã para participação nas tomadas de decisão relacionadas a problemas socioambientais que envolvam questões científicas e tecnológicas.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, Marcello. Evolution of the genetic code: the ambiguity-reduction theory. **BioSystems**, v. 185, 104024, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2019.104024>.

BERGSTROM, Carl T.; ROSVALL, Martin. The transmission sense of information. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 159-176, 2011.

BUCKLAND, Michael K. Information as thing. **JASIST**, v. 42, n. 5, p. 351-360, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199106\)42:5%3C351::AID-ASI5%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199106)42:5%3C351::AID-ASI5%3E3.0.CO;2-3).

CAPURRO, Rafael; HJORLAND, Birger. Tradução: CARDOSO, Ana Maria Pereira; FERREIRA, Maria da Glória Achtschin; AZEVEDO, Marco Antônio de. O conceito de informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 148-207, 2007.

CARVALHO, Ítalo Nascimento de; EL-HANI, Charbel N.; NUNES-NETO, Nei. How Should We Select Conceptual Content for Biology High School Curricula? **Science & Education**, v. 29, p. 513-547. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00115-9>. Acesso em 20 de fev. 2022.

CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA; Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem e as Distorções Conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, v. 26, e20068, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320200068>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/dfxhQ5MtSkSHfFBshpXsJyJ/abstract/?lang=pt#>. Acesso em 08 set. 2023.

EVANS, Vyvyan; GREEN, Melanie. **Cognitive linguistics: An introduction**. New York: Routledge, 2006.

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.

GANIKO-DUTRA, Matheus. **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. Bauru. 135 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2021.

GANIKO-DUTRA; Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem na compreensão do conceito de “informação” na formação inicial em Ciências Biológicas. In: XVI ENCUESTRO IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN (EIDE), 2022, Santiago.

GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Information in Biology: a Synthesis. A ser publicado.

GLYNN, Shawn M. The Teaching with Analogies Model. In: MUTH, K. Denise. **Children’s Comprehension of Text**. Newark: International Reading Association, 2007. p. 185-204.

GODFREY-SMITH, Peter. Information in Biology. In: HULL, David L.; RUSE, Michael. **The Cambridge Guide to the Philosophy of Biology**. Cambridge: Cambridge Univesity Press, 2008, p. 103-119.

GODFREY-SMITH, Peter. Senders, receivers and genetic information: comments on Bergstrom and Rosvall. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 177-181, 2011.

KOONIN, Eugene V. The meaning of biological information. **Philosophical Transactions of The Royal Society 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.

LAKOFF, George; JOHNSON, Mark. **Metaphors we live by**. London: University of Chicago Press, 2003.

LEVY, Arnon. Information in Biology: A Fictionalist Account. **NÔUS**, v. 45, n. 4, p. 640-657, 2011.

MACLAURIN, James. Commentary on "The transmission sense of information" by Carl T. Bergstrom and Martin Rosvall. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 191-194, 2011.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Palas Athena, 2021.

MAYNARD-SMITH, John. The concept of Information in Biology. **Philosophy of Science**, v. 67, n. 2, p. 177-194, 2000.

MORTIMER, Eduardo F.; SCOTT, Phil; EL-HANI, Charbel N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 30, p. 111-128, 2011.

PATTON, Michael Quinn. **Qualitative Research & Evaluation Methods**. 3ª ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2002.

PIETROCOLA, Maurício; RODRIGUES, Ernani; BERCOT, Filipe; SCHNORR, Samuel; Risk Society and Science Education: Lessons from the Covid-19 Pandemic. **Science Education**, v. 30, n. 2, p. 209-233, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00176-w>.

PLANER, Ronald J. Replacement of the "genetic program" program. **Biology & Philosophy**, v. 29, p. 33-53, 2014.

RICARDO, Elio Carlos. Educação CTSA: obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, 2007.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio**, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2002

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SCHEINER, Samuel M. Toward a Conceptual Framework for Biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 5, n. 3, p. 293-318, 2010.]

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. **Biology & Philosophy**, v. 22, p. 313-331, 2007.

SHEA, Nicholas. What's transmitted? Inherited information. **Biology & Philosophy**, 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.

STEGMANN, Ulrich E. On the 'transmission sense of information'. **Biology & Philosophy**, v. 28, p. 141-144, 2014.

STEGMANN, Ulrich E. The arbitrariness of the genetic code. **Biology & Philosophy**, v. 19, n. 2, p. 205-222, 2004.

TAYLOR, Peter Charles. Contemporary Qualitative Research. In: LEDERMAN, Norman G.; ABELL, Sandra K. **Handbook of Research on Science Education**: Volume II. Nova York: Routledge, 2014. p. 38-54.

VYGOTSKY, Lev Semenovitch. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

WANDERSEE, James H.; FISHER, Kathleen M.; MOODY, David E. The Nature of Biology Knowledge. In: FISHER, Kathleen M.; WANDERSEE, James H.; MOODY, David E. **Mapping Biology Knowledge**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 25-38.

WILLIAMS, George C. **Natural Selection**: Domains, levels and Challenges. New York: Oxford University Press, 1992.

WINDSCHITL, Mark; THOMPSON, Jessica; BRAATEN, Melissa. Talk as a Tool for Learning. In: WINDSCHITL, Mark; THOMPSON, Jessica; BRAATEN, Melissa. **Ambitious Science Teaching**. Cambridge: Harvard Education Press, 2018. p. 39-64.

CAPÍTULO 3

A informação como um eixo integrador no Ensino de Biologia: uma análise de conteúdo das concepções de estudantes do curso de Ciências Biológicas

INTRODUÇÃO

Nesta etapa da investigação, nos perguntamos: o conceito de informação é um potencial eixo integrador para o Ensino de Ciências e Biologia? Esse questionamento já estava presente na percepção do fato de que a informação está presente em diversas áreas da Biologia (mesmo que por meio da metáfora da comunicação), como, por exemplo, na Biologia Molecular, na Genética, no Comportamento Animal, na Evolução, na Neurociência e na Fisiologia Celular.

Além dessa percepção da forma como a Biologia está organizada, percebemos nas falas dos estudantes coletadas ao longo dos encontros, argumentos e exemplos de fenômenos biológicos que variavam em recortes de tempo e níveis de organização. A fim de sistematizar essa percepção, neste capítulo, almejamos cumprir o quinto objetivo específico da tese de investigar a possibilidade de o conceito de informação ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia.

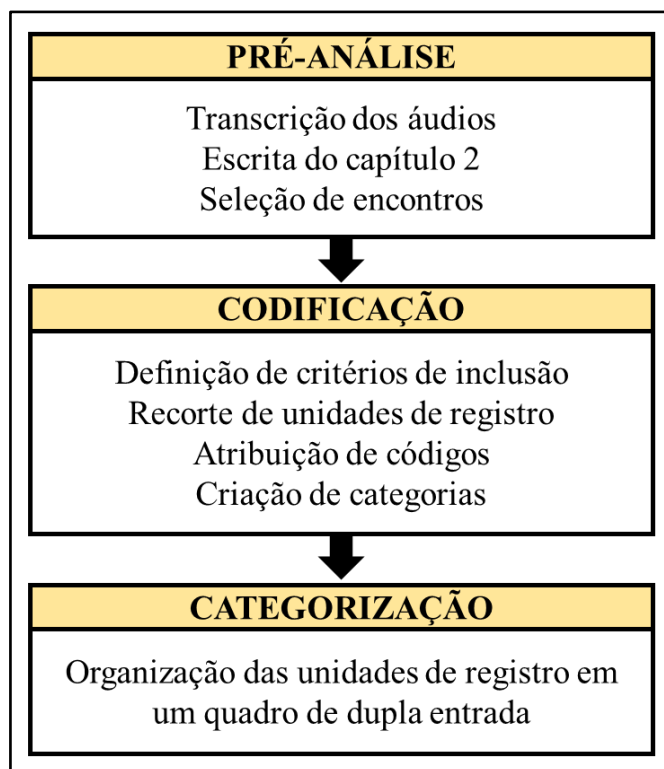
METODOLOGIA

Para cumprir com este objetivo, realizamos uma nova análise de conteúdo (BARDIN, 2016; PATTON, 2002) das falas coletadas ao longo dos encontros do grupo. Os procedimentos de coleta foram descritos no [capítulo 2](#).

Nesta nova análise de conteúdo, seguimos as etapas de pré-análise, codificação e categorização conforme descrito na Figura 7. Na etapa de pré-análise, a familiarização com o material (falas dos estudantes) se deu por meio da transcrição dos áudios e da escrita do capítulo 2. A partir desse conhecimento prévio dos dados, selecionamos intencionalmente alguns encontros representativos para dar continuidade com a análise de conteúdo: o encontro 02 da etapa inicial, os encontros 06 e 10 do desenvolvimento e os encontros 13 e 15 do encerramento. Estes encontros foram selecionados porque foram mencionados exemplos de diversas áreas da Biologia, como Fisiologia, Comportamento Animal e Evolução.

Na etapa de codificação, primeiro definimos critérios de recorte para as unidades de significado. Selecionamos aquelas em que, pela unidade de contexto, fosse possível identificar um recorte de tempo e um nível de organização para o fenômeno que o estudante estivesse mencionando. A partir desse critério de inclusão, recortamos as unidades de registro (palavras e expressões) acompanhadas de suas unidades de contexto (frases). Para cada unidade de registro, atribuímos um código “EXXUYYY”. “XX” que acompanha “E” refere-se ao número do encontro, à medida que “YYY” que acompanha “U” refere-se ao número da unidade dentro da daquele encontro. Assim, por exemplo, a unidade “E06U012” refere-se à décima segunda unidade de registro do encontro seis.

Figura 7. Fluxograma das etapas da análise de conteúdo executadas neste capítulo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para a organização das unidades de registro, criamos um quadro no *software* Notion⁷, em que é possível usufruir dos recursos do plano educacional ao cadastrar-se com e-mail institucional da Unesp.

A título de replicabilidade da pesquisa e de fomentar o uso do Notion na pesquisa em Ensino de Ciências, descreveremos as especificidades técnicas de como a base de dados foi construída no aplicativo. Organizamos a base da dados na forma de tabela. No título de cada página (item da tabela) preenchemos com o código da unidade. Para cada página, incluímos as seguintes propriedades: “Estudante”, “Unidade de registro”, “Significado”, “Encontro”, “Tempo” e “Nível de organização”. A propriedade “Estudante” é do tipo seleção, na qual incluímos as opções “E1”, “E2”, “E3”, “E4”, “E5”, “E6”, “E7” e “E8”, referente a cada estudante que participou dos encontros para identificarmos de quem era a fala. A propriedade “Unidade de registro” é do tipo texto, em que preenchemos com a transcrição da fala na íntegra. O texto incluído nesta propriedade refere-se à unidade de contexto, e, em negrito, destacamos as palavras que consideramos as unidades de registro. A propriedade “Significado” é do tipo texto e refere-se ao significado que a unidade de registro apresenta para os pesquisadores, e como ela é interpretada para a posterior categorização. A propriedade “Encontro” é do tipo

⁷ <https://www.notion.so>

seleção, na qual incluímos as opções “02”, “06”, “10”, “13” e “15”, referentes a cada um dos encontros que utilizamos como fonte de dados para recortar as unidades. Descreveremos as propriedades “Tempo” e “Nível de organização” a seguir, juntamente com a criação das categorias.

As categorias foram criadas *a priori* a partir das características dos fenômenos biológicos. Partindo da abordagem de análise do organismo a partir de Meglhioratti (2009), que utilizou níveis hierárquicos de Salthe (1985), compreendemos que o organismo, enquanto objeto de estudo da Biologia pode ser abordado a partir de seu ambiente externo, do próprio organismo e de seu ambiente interno, conforme representado na hierarquia: [ambiente externo [organismo [ambiente interno]]]. Além dessa hierarquia estrutural, consideramos que os organismos podem ser compreendidos a partir de uma hierarquia temporal: [tempo evolutivo [tempo ontogenético [tempo fisiológico]]]. Nessa proposta, também utilizando o organismo como referência, consideramos que o tempo fisiológico aborda os fenômenos que ocorrem em um período de tempo inferior ao tempo de vida de um organismo; o tempo ontogenético aborda os fenômenos que ocorrem ao longo do período de vida de um organismo; e o tempo evolutivo aborda os fenômenos que ocorrem em um período de tempo que excede o tempo de vida de um organismo, em uma perspectiva transgeracional. Essa proposta está sintetizada na Figure 4 do capítulo 1.

A partir das possibilidades de abordagem dos fenômenos biológicos em diferentes níveis de organização e em diferentes recortes de tempo que têm o organismo como referência, estabelecemos duas dimensões categoriais. Na primeira dimensão, a temporal, utilizamos as categorias: “fisiológico”, “ontogenético” e “evolutivo”. Para acomodar esta categoria no quadro de unidades de registro do Notion, criamos a propriedade “Tempo” do tipo seleção, com as opções correspondentes às categorias mencionadas. Em relação à segunda dimensão, estrutural, utilizamos as categorias “ambiente externo”, que abrange as subcategorias “ecossistêmico/comunidade” e “populacional”; “organísmico”; e “ambiente interno”, que abrange as subcategorias “orgânico” e “molecular/ celular”. Para acomodar estas unidades de registro no Notion, criamos uma propriedade do topo “Relação”. Nesse tipo de propriedade, é possível relacionar a página de uma base de dados com outra que está em outra base de dados. Optamos por essa possibilidade, para conceber uma segunda base de dados, correspondente ao quadro de dupla entrada, que fosse alimentado automaticamente à medida que a base de dados “Unidades de registro” fosse alimentada. Desse modo, na propriedade dessa segunda dimensão categorial, criamos as seguintes páginas: “ecossistêmico/ comunidade”, “populacional”, “organísmico”,

“orgânico” e “molecular/ celular”. A figura 8 ilustra como as informações foram organizadas nessa base de dados e a base completa pode ser acessada mediante solicitação⁸.

Figura 8. Captura de tela da base de dados “Unidades de registro” do Notion. As colunas representam as propriedades da base de dados e são exibidos alguns exemplos de como as informações referentes à cada unidade de registro foram preenchidas.

Estudante	Aa Código	Unidade de registro	Significado	Tempo	Nível de organização	Encontro
E4	E02U001	Mas eu acho que eu coloquei alguma coisa de célula-mãe, célula-filha e a informação ser o próprio gene sendo passado	Localização em dimensão fisiológica e celular	Fisiológico	Molecular/ celular	02
E1	E02U002	o emissor era o organismo por meio das células da informação genética	Articulação entre tempo de vida do organismo e dimensão celular	Ontogenético	Molecular/ celular	02
E1	E02U003	quem primeiro deu essa informação foi a união das informações genéticas dos progenitores	Explicação das informações do organismo em uma dimensão transgeracional	Evolutivo	Organísmico	02

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na etapa de categorização, atribuímos uma categoria da dimensão temporal e uma categoria da dimensão estrutural para cada unidade de registro. Buscamos automatizar o processo para que, à medida que essa base de dados fosse preenchida, uma segunda base de dados, denominada “Quadro categorial de dupla entrada” fosse preenchida automaticamente. A proposta desse quadro é cruzar as duas dimensões categoriais. Assim, as linhas dispõem as categorias estruturais e as colunas dispõem as categorias temporais. Cada quadrante do quadro exhibe as unidades de registro resultantes do cruzamento de duas categorias (Quadro 5).

Quadro 5. Quadro de dupla entrada das categorias da dimensão temporal (colunas) e da dimensão estrutural (linhas). Nos cruzamentos, apresentamos os códigos que usaremos para nos referirmos à cada combinação possível entre duas categorias, uma de cada dimensão.

			Dimensão temporal		
			Fisiológico	Ontogenético	Evolutivo
Dimensão estrutural	Ambiente externo	Ecossistêmico/ Comunidade	Fis/Ext	Ont/Ext	Evo/Ext
		Populacional			
	Organismo	Organísmico	Fis/Org	Ont/Org	Evo/Org
	Ambiente interno	Orgânico	Fis/Int	Ont/Int	Evo/Int
		Molecular/ Celular			

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para acomodar essa proposta no Notion, essa segunda base de dados apresenta como itens, páginas cujos títulos nomeiam as categorias estruturais. Desse modo, temos as páginas:

“ecossistêmico/ comunidade”, “populacional”, “organísmico”, “orgânico” e “molecular/ celular”. Criamos uma propriedade do tipo relação para cada uma dessas páginas, que permitia relacioná-las com as páginas da base de dados “Unidades de registro”. Assim, nesse espaço, para a página “populacional”, por exemplo, seriam exibidas todas as unidades de registro que foram incluídas nessa categoria.

Entretanto, nosso objetivo foi de separar tais unidades de registro também nas categorias temporais. Para isso, utilizamos o recurso “Fórmula”, que funciona a partir de comandos de programação. Uma vez criada a propriedade de relação que exibia todas as unidades de uma determinada categoria estrutural, utilizamos esta informação de referência para as propriedades seguintes. Assim, criamos as seguintes propriedades do tipo fórmula: “Fisiológico”, “Ontogenético” e “Evolutivo”. As fórmulas que incluímos em cada propriedade, respectivamente, foram: “prop(“Unidades de registro”).filter (current.prop(“Tempo”) == “Fisiológico”)”; “prop(“Unidades de registro”).filter (current.Tempo == “Ontogenético”)” e “prop(“Unidades de registro”).filter (current.Tempo == “Evolutivo”)”. A Figura 9 ilustra a disponibilização dessa segunda base de dados no Notion, sendo que, na seção seguinte, apresentamos o quadro reconstruído para melhor visualização.

Figura 9. Captura de tela da base de dados “Quadro categorial de dupla entrada” do Notion. As colunas representam as propriedades da base de dados, referentes às categorias da dimensão temporal. Nas linhas, é possível verificar as categorias da dimensão estrutural. Os espaços estão preenchidos pelas unidades de registro da base de dados “Unidades de registro”.

Visualização em quadro Tabela +		Filtrar Ordenar ⚡ 🔍 ... Nova		
As Categoria	Σ Fisiológico	Σ Ontogenético	Σ Evolutivo	
Ecossistêmico/ Comunidade	E02U020 E02U023 E02U029 E02U033 E02U038 E02U039 E02U040	E02U021 E02U022 E02U024	E06U044 E15U041	
	E06U029 E13U004 E13U005 E15U004 E15U005 E15U006 E15U007	E02U027 E13U011 E15U019		
	E15U008 E15U009 E15U010 E15U011 E15U012 E15U013 E15U014	E15U025 E15U026		
	E15U015			
Populacional	E02U035 E02U036 E06U004 E10U002 E10U005 E13U003 E13U009	E02U028 E02U037 E10U006	E02U019 E10U011 E10U013	
	E13U018 E13U019 E13U020	E10U008	E13U010 E13U013 E13U015	
Organísmico			E13U016 E13U017 E15U042	
			E15U043	
	E02U011 E02U013 E06U007 E06U009 E06U010 E06U012 E06U015	E02U005 E02U030 E06U043	E02U003 E02U016 E13U012	
	E06U017 E06U018 E06U019 E06U020 E06U026 E06U028 E06U032	E13U006 E13U014 E15U016		
	E06U040 E06U042 E06U047 E06U051 E10U004 E13U002 E13U007	E15U023 E15U027 E15U038		
Orgânico	E13U021 E15U001 E15U002 E15U003 E15U017 E15U018 E15U020			
	E15U021 E15U028			
Molecular/ celular	E02U017	E02U025		
	E02U001 E02U007 E02U008 E02U009 E02U010 E02U012 E02U014	E02U002 E02U004 E02U026	E02U006 E06U035 E06U037	
	E02U015 E02U018 E02U031 E02U032 E02U034 E06U001 E06U002	E06U039 E15U029 E15U030	E06U038 E06U039 E06U053	
	E06U003 E06U005 E06U006 E06U008 E06U011 E06U013 E06U014	E15U031 E15U032 E15U033	E10U007 E10U012 E10U014	
	E06U016 E06U020 E06U021 E06U022 E06U023 E06U024 E06U025	E15U034 E15U035 E15U037	E13U001 E15U044	
	E06U027 E06U030 E06U031 E06U033 E06U034 E06U036 E06U041	E15U039 E15U045 E15U046		
	E06U042 E06U045 E06U046 E06U048 E06U049 E06U050 E06U052	E15U047 E15U048 E15U049		
	E06U054 E10U001 E10U003 E10U009 E10U010 E13U008 E15U022	E15U050 E15U051 E15U052		
	E15U024 E15U036 E15U040			

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quadro 6. Quadro categorial de dupla entrada. As colunas exibem as categorias da dimensão temporal: fisiológico, ontogenético, evolutivo; e as linhas exibem as categorias da dimensão estrutural: ambiente externo, organismo e ambiente interno. Cada espaço do quadro é preenchido pelas unidades de registro que foram incluídas nas categorias que cruzam o quadrante.

			Dimensão temporal		
			Fisiológico	Ontogenético	Evolutivo
Dimensão estrutural	Ambiente externo	Ecossistêmico/ Comunidade	E02U020, E02U023, E02U029, E02U033, E02U038, E02U039, E02U040, E06U029, E13U004, E13U005, E15U004, E15U005, E15U006, E15U007, E15U008, E15U009, E15U010, E15U011, E15U012, E15U013, E15U014, E15U015	E02U021, E02U022, E02U024, E02U027, E13U011, E15U019, E15U025, E15U026	E06U044, E15U041
		Populacional	E02U035, E02U036, E06U004, E10U002, E10U005, E13U003, E13U009, E13U018, E13U019, E13U020	E02U028, E02U037, E10U006, E10U008	E02U019, E10U011, E10U013, E13U010, E13U013, E13U015, E13U016, E13U017, E15U042, E15U043
	Organismo	Organísmico	E02U011, E02U013, E06U007, E06U009, E06U010, E06U012, E06U015, E06U017, E06U018, E06U019, E06U020, E06U026, E06U028, E06U032, E06U040, E06U042, E06U047, E06U051, E10U004, E13U002, E13U007, E13U021, E15U001, E15U002, E15U003, E15U017, E15U018, E15U020, E15U021, E15U028	E02U005, E02U030, E06U043, E13U006, E13U014, E15U016, E15U023, E15U027, E15U038	E02U003, E02U016, E13U012
	Ambiente interno	Orgânico	E02U017	E02U025	
		Molecular/ Celular	E02U001, E02U007, E02U008, E02U009, E02U010, E02U012, E02U014, E02U015, E02U018, E02U031, E02U032, E02U034, E06U001, E06U002, E06U003, E06U005, E06U006, E06U008, E06U011, E06U013, E06U014, E06U016, E06U020, E06U021, E06U022, E06U023, E06U024, E06U025, E06U027, E06U030, E06U031, E06U033, E06U034, E06U036, E06U041, E06U042, E06U045, E06U046, E06U048, E06U049, E06U050, E06U052, E06U054, E10U001, E10U003, E10U009, E10U010, E13U008, E15U022, E15U024, E15U036, E15U040	E02U002, E02U004, E02U026, E06U039, E15U029, E15U030, E15U031, E15U032, E15U033, E15U034, E15U035, E15U037, E15U039, E15U045, E15U046, E15U047, E15U048, E15U049, E15U050, E15U051, E15U052	E02U006, E06U035, E06U037, E06U038, E06U039, E06U053, E10U007, E10U012, E10U014, E13U001, E15U044

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Como resultado da criação da segunda base de dados, obtivemos um quadro categorial de dupla entrada (Quadro 6) com 184 unidades de registro. Por meio do quadro, é possível observar que foram identificadas falas dos estudantes nos cruzamentos de todas as categorias. Para ilustrar essa integração, no encontro 06, o estudante E1, quando solicitado a produzir uma definição de informação genética, ofereceu diversas definições possíveis. No momento do recorte de unidades de registro, fragmentamos a resposta do estudante e incluímos os fragmentos em diferentes categorias:

- a **expressão gênica** é o processo de expressão da informação genética contida no **DNA**. (E06U045 – *fis/int*).
- o **organismo** é o resultado da **informação genética** em contato com o **meio**. (E06U043 – *ont/org*).
- a nossa **informação genética** nos **diferencia** dos **demais seres vivos** (E06U044 – *evo/ext*).

A seguir, exploraremos as diferentes dimensões estruturais e temporais e descreveremos os cruzamentos encontrados no quadro categorial.

Descrição das Categorias

Combinação categorial fis/int

No cruzamento *fis/int*, está o espaço em que se encontra a maior parte das unidades de registro, com 53 ocorrências. A maioria das unidades foram recortadas dos encontros 02 e 06. Acreditamos que isso pode ter ocorrido devido ao fato de que nos encontros iniciais, a discussão estava orientada para a dimensão molecular e fisiológica por conta das perguntas que foram apresentadas no questionário inicial (“descreva a estrutura e o funcionamento dos ácidos nucleicos”).

Nessa combinação categorial, a discussão esteve pautada, principalmente, em como o dogma central da Biologia Molecular pode organizar as manifestações da informação genética. Assim, os estudantes buscaram compreender onde a informação se “localiza”: no DNA, no RNA ou nas proteínas sintetizadas. Outro problema sobre o qual os estudantes se debruçaram, foi se a informação está nessas moléculas ou se consiste em um elemento que é transmitido ao longo do processo de transcrição e tradução. Esses obstáculos foram apaziguados uma vez que, encaminhando para os encontros finais, os estudantes demonstraram conceber a informação na dimensão fisiológica da célula a partir da relação de correspondência, conforme indicado pelo estudante E1 na unidade E13U008:

- Voltando na **correspondência** entre **códon** e **aminoácido**, eles existiam antes de alguém estudá-los. Já era uma informação, já existia uma **correspondência** entre um e outro. Os **códons** seriam um conjunto, das **bases nitrogenadas** e outro conjunto seriam os **aminoácidos**. E, enfim, isso já existia antes de a gente saber, então não tem emissor e receptor. (E13U008).

Combinação categorial fis/org

Ainda na categoria do tempo fisiológico, mas ao nível de organização do organismo (*fis/org*), verificamos três temas ao redor dos quais a discussão se configurou. O primeiro tema está relacionado com o encontro 06, em que os estudantes tentavam articular a dimensão molecular, com a emergência de um fenótipo ao nível do organismo. Vale ressaltar que os estudantes exibiram dificuldade em articular como um produto proteico pode culminar em uma característica ao nível do organismo usando termos imprecisos e, por vezes, assumiram “fenótipo” como sinônimo de “característica manifestada ao nível do organismo”, não concebendo a possibilidade de um produto proteico ser um fenótipo ao nível molecular. As unidades de contexto a seguir ilustram nossas interpretações:

- E tem a **expressão** em caracteres superiores, vamos dizer assim, que aí a gente entraria na discussão do que é um **fenótipo**. (E06U007).
- A expressão a nível de molécula culmina na expressão a **nível de organismo**. (E06U009).
- Por exemplo, a **proteína** vai ser usada pelo **organismo** no **metabolismo** e, futuramente, para **expressar uma característica**. (E06U010).
- É que estamos falando de **expressão** apenas a nível molecular, mas tem expressão a **nível fenotípico**. (E06U051).

Essa verificação das dificuldades exibidas pelos estudantes corrobora com os resultados discutidos por Ceschim (2021), que também constatou a articulação entre a dimensão fisiológica e organísmica da construção fenotípica como um obstáculo de aprendizagem em professores de Biologia em formação que buscaram articular genética de transmissão como genética molecular.

Já o segundo tema discutido no âmbito da combinação categorial *fis/org*, está relacionada a processos cognitivos que ocorrem ao nível de organismo. Esses fenômenos apareceram como exemplos nas falas dos estudantes nos encontros 10 e 13. Nesses encontros, os estudantes buscaram compreender como o sistema nervoso é capaz de produzir correspondências entre uma palavra e uma unidade de significado, conforme é possível observar nas seguintes unidades de contexto:

- mas um **sistema** que faz a **conversão** de que o que está **sendo falado** tenha um **significado**, como um texto. (E10U004).
- É bem abrangente mesmo porque pode ser tanto a correspondência entre aminoácidos e códons, como pode ser também a **correspondência** no nosso **nível cognitivo**, de que eu **vejo o códon** tal e **sei** que isso vai codificar tal aminoácido. (E13U002).

- Árvore **corresponde** à árvore **na sua cabeça**. Tem a **informação** da palavra árvore e do elemento árvore. (E13U021).

Essas considerações dos estudantes são coerentes com a proposta de que a informação é um princípio fundamental da Biologia: a mesma informação que está presente nos ácidos nucleicos, está presente na comunicação humana e nos processos cognitivos envolvidos na decodificação e códigos linguísticos. Podemos dizer tratar-se do mesmo processo a partir da compreensão da informação como um processo de correspondência (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2022). Desse modo, em nível molecular, a maquinaria enzimática da célula sustenta a manutenção de uma correspondência evolutivamente construída entre códons e aminoácidos (BARBIERI, 2019), à medida que o ser humano é capaz de “decifrar” uma palavra e compreender seu significado, ou seja, é capaz de trazer à tona a correspondência entre um padrão sonoro ou gráfico com uma paisagem fisiológica específica ([Artigo 1](#)).

O último tema discutido nas unidades de registro encontradas nessa combinação categorial apareceu no último encontro, quando os estudantes elaboraram hipóteses acerca de como a planta *Boquila trifoliata* é capaz de mimetizar folhas que estão em seu ambiente externo. Ao discutir esse tema, os alunos argumentaram acerca de como um organismo é capaz de implementar mudanças fisiológicas em seu corpo. Apesar de estarem mobilizando aspectos do ambiente externo e interno, quando os estudantes trazem essas argumentações para a discussão, concebem o organismo como uma unidade dotada de agência (MEGLHIORATTI; EL-HANI; CALDEIRA, 2012), e não como uma unidade passiva das interações entre genes e ambiente externo – concepção indesejável no Ensino de Biologia. As unidades de registro a seguir ilustram essa discussão:

- Então não tem relação com o gene da hospedeira. Ela faz isso **sozinha**. É como um camaleão **imitando** a cor das coisas. (E15U017).
- Mas ele não precisa ter acesso ao gene da coisa para mudar a cor. Ele tem uma outra forma de **percepção**. (E15U018).

Combinação categorial fis/ext

Na combinação das categorias do tempo fisiológico e do ambiente externo, os estudantes mobilizaram explicações acerca de i) interações com elementos do ambiente; ii) do processamento da linguagem na comunicação; e iii) da comparação da diversidade biológica. A seguir, descrevemos cada um desses temas.

Ao longo de todas as etapas do grupo, os estudantes debateram acerca do primeiro tema. No encontro 02, estudantes discutiram como uma abelha memoriza a localização de uma flor, conforme indicado pelas unidades de registro a seguir:

- Eu acho que talvez a **flor** não seja a informação, mas assim como acontece a **comunicação entre os animais**, a questão **visual**, a **abelha visualizando a flor**, essa sei lá, se estivesse escuro, ela não teria informação, mas a flor ainda estaria ali, entendeu? (E02U020).
- o código da abelha, distância é tal **número de informações visuais**, o **ângulo que o sol** faz e a **interação** que culmina com o pólen ali (E02U033).

Nessas unidades de registro, os estudantes referiram-se à diversos elementos do ambiente: padrões visuais, pólen e flor. Nesse sentido, as interações ocorreram entre a abelha e outros sinais do ambiente, bem como entre a abelha e outros organismos. Consideramos essas interações pertencentes à categoria do tempo fisiológico por tratarem-se de processos que ocorrem em um tempo de vida inferior ao tempo de vida dos organismos mencionados.

Ainda nesse tema, no encontro 15, ao formular hipóteses acerca da mimese da *Boquila trifoliata*, os estudantes também mencionaram interações entre organismos como uma possibilidade para o surgimento das correspondências, conforme indicado a seguir:

- Se a taxa de **herbivoria** fosse menor, não sei. (E15U004).
- Mas ela tem que ter algum tipo de **parasitismo**, sei lá. Ela tem que **interferir na outra planta** para ter alguma **informação** sobre as sequências de bases que dizem respeito ao formato foliar. (E15U005).
- Ela pode ir pela **raiz**, se a **raiz** dela **entrar em contato com a raiz da planta vizinha**. Ela também pode fazer por meio do **caule**, mas eu acho mais provável pela **raiz**. (E15U009).
- Será que tem **fungo** no meio? Fazendo a **comunicação**? (E15U010).
- Mas eu gosto da hipótese das **bactérias**. (E15U015).

Nestas unidades de registro, os estudantes demonstraram conhecimentos de Ecologia de Comunidades, ao formular diversas hipóteses de interações que uma planta poderia estabelecer com outros organismos: herbivoria, parasitismo, interações entre plantas pelas raízes, interações com bactérias e interações com fungos.

Já outro tema discutido pelos estudantes e que também envolve a interação entre organismos, trata-se do processamento da linguagem na comunicação humana. O processamento da linguagem obrigatoriamente envolve uma dimensão populacional, uma vez que o significado das palavras precisa ser compartilhado para que a comunicação possa acontecer. Seguem algumas das unidades em que os estudantes mencionaram a linguagem:

- O código que é usado. Na **comunicação**, a gente usa o código da **linguagem**, enquanto nos ácidos nucleicos, o código são bases nitrogenadas. Além do que, na **comunicação**, pressupõe-se um **desenvolvimento psicológico** para que algo possa ser **interpretado** e nos ácidos nucleicos, não. (E10U002).
- Então dizemos que é uma **informação** porque **significa** algo no nosso **conjunto simbólico**, de **comunicação**, **pensamento**, **linguagem**, enfim. (E15U020).

O último tema mencionado pelos estudantes que nos estimulou a incluir as unidades de registro nessa combinação categorial refere-se à menção da diversidade de uma característica fisiológica ou molecular. Incluímos esse tema nessa categoria uma vez que o recorte temporal é inferior ao tempo de vida do organismo e que o fato de mencionar que existe variação de uma característica implica uma comparação com outros indivíduos, localizando o fenômeno em uma amostra populacional. A seguinte unidade representa esse tema:

- Você deu o exemplo da **planta**, que basicamente elas tinham **características diferentes**, e levantamos **questões epigenéticas**. (E06U004).

Portanto, nessa combinação categorial, ao discutir informação e a criação de correspondências, os estudantes mobilizaram conhecimentos da Ecologia (ao discutir interações), do Comportamento Animal (ao discutir a memorização da abelha), da Epigenética (ao levantar hipóteses acerca da variação fenotípica), e da Psicologia da Aprendizagem (ao discutir a linguagem e a comunicação). Mesmo dentro de uma única combinação categorial, é possível verificar o potencial integrador do conceito de informação e como os organismos criam correspondências em diferentes dimensões temporais e estruturais.

Combinação categorial ont/int

Na combinação da categoria do tempo ontogenético e da categoria do ambiente interno do organismo, os estudantes mencionaram processos que acontecem internamente no organismo ao longo de sua vida. Nesse sentido, no encontro 02, os estudantes mencionaram processos moleculares e como a síntese proteica é importante na manutenção do organismo:

- na verdade, são as **bases nitrogenadas** e tudo mais que tem diferentes combinações, para formar diferentes **proteínas**, que são a **base de funcionamento do organismo**. (E02U004).

Posteriormente, no encontro 06, os estudantes discutiram o papel da sinapse na consolidação de memória. Em relação à inclusão da memória na discussão, consideramos tratar-se de um processo que ocorre ao longo do tempo de vida de um organismo, uma vez que envolve a fixação de uma paisagem fisiológica em seu corpo e seu posterior recrutamento (DAMÁSIO, 2012). A unidade de registro a seguir, ilustra esse tema:

- Eu acho que dá pra pensar como **sinapse**, porque a gente **reforça sinapses** para poder lembrar de alguma coisa. Por exemplo, o jeito que eu **lembro** o meu nome não é a mesma forma que eu **lembro** onde eu moro, sabe? Eu tenho uma **memória** mais forte associada a coisas que eu uso mais. Então, talvez seja uma **questão sináptica** mesmo. (E02U026).

No último encontro, os estudantes discutiram quais seriam os possíveis processos fisiológicos moleculares que sustentariam a capacidade de a *Boquila trifoliata* mimetizar padrões foliares de outras espécies ao longo da vida, conforme presente nas seguintes unidades de registro:

- Como se cada tipo de folha tivesse uma interação diferente com a luz. E essa planta consegue perceber o nível de conhecimento que a folha tem com a **luz**? E aí ela vai desencadeando **reações** dentro dela que vão alterar a produção de **proteínas**. (E15U030).
- Muda a **organização celular** da folha de acordo com a **luz** porque a folha é feita de **células** e as **células** têm uma organização específica na folha para ter esse formato. Aí quando ela percebe a **luz**, ela vai mudar a **organização celular** dela de alguma forma. É a única coisa que eu consigo pensar. (E15U032).

Nesse momento, os estudantes esbarraram em processos do Desenvolvimento, indicando essa área como uma fragilidade de seus processos de formação. Em alguns momentos dos encontros, os estudantes apontaram a ausência de conteúdos relacionados ao Desenvolvimento nas disciplinas da graduação. Ainda assim, tais conceitos foram relevantes para a investigação da mimese em *B. trifoliata* e os estudantes foram capazes de fazer algumas contribuições:

- Por causa dos vasos sanguíneos, por exemplo, é um **sinal químico** que vai fazer com que o vaso cresça naquela direção, né? Aí talvez seja a mesma coisa. Não é o **DNA**, mas um **sinal químico** que vai moldar a formação do órgão. (E15U048).
- Sim, do **gene Hox**, que ele vai determinar o plano anterior e posterior do corpo. Mas acaba aí. (E15U049).
- É que nesse caso eu acho que a gente realmente dá muito mais importância para o **DNA** do que ele realmente tem. Porque se você for ver bem, os processos em que o **DNA** vai atuar, são os mesmos para produzir uma forma de folha ou outra, no caso, o que está acontecendo é que a organização do que vem depois é diferente. Assim como os vasos sanguíneos, o **DNA** que faz o vaso sanguíneo crescer, não vai mudar, o que vai mudar é a organização do vaso sanguíneo para onde e a direção em que vai crescer. O papel do **DNA** termina antes disso. (E15U051).

A partir das discussões acerca do Desenvolvimento, percebemos como as discussões dos conceitos dessa área podem contribuir para uma superação do genocentrismo. Diversas pesquisas do nosso grupo têm apontado concepções hiperbólicas dos estudantes de Ciências Biológicas no que diz respeito ao protagonismo do DNA na construção fenotípica, uma vez que os estudantes frequentemente apontam apenas as contribuições dos ácidos nucleicos como “controladores” das características dos organismos. Na contramão desse problema presente no Ensino de Biologia, a partir das hipóteses formuladas pelos estudantes no último encontro, percebemos como discutir o Desenvolvimento pode contribuir para reorganizar a contribuição dos ácidos nucleicos na construção fenotípica em uma abordagem mais pluralista de causas e

interações. Nessa perspectiva, identificamos que tal discussão promoveu o deslocamento das concepções dos estudantes dos ácidos nucleicos como “manual de instruções” para “caixa de ferramentas”.

Combinação categorial ont/org

Nessa combinação categorial, os estudantes mencionaram processos que ocorrem ao longo do tempo de vida do organismo e ao nível do organismo. Houve ocorrências de unidades de registro pontuais dessa categoria nos encontros analisados da etapa inicial e do desenvolvimento, tendo sido a maior parte das ocorrências no último encontro. No encontro 02, o estudante E1 explica a informação genética no âmbito da auto-replicação do organismo:

- A gente pode tanto encarar esse fenômeno como **organismo** falando com ele mesmo, e eles dando as informações de como se **auto replicar**. (E02U005).

A exploração dessa fala em uma sala de aula, poderia contribuir com a aprendizagem do conceito de autopoiese (MATURANA; VARELA, 2001), um dos princípios dos fenômenos biológicos. Essa possibilidade reforça o potencial integrador do conceito de informação na Biologia, uma vez que o estabelecimento de correspondências em diversos níveis estruturais permite o acoplamento estrutural do organismo, que, por sua vez, apresenta íntima relação com a autopoiese. Tais intersecções apontam como a discussão do conceito de informação possibilita uma discussão acerca da Epistemologia da Biologia em salas de aula de diversos níveis de ensino.

Embora tenha aparecido a ideia de auto-replicação do organismo, percebemos que os estudantes também exibiram concepções passivas do organismo. Apesar de não pretender realizar uma análise quantitativa, nos questionamos acerca das causas do baixo número de ocorrências de unidades de registro dessa categoria. Uma possível justificativa seria o fato de iniciar as discussões do grupo a partir da dimensão molecular da síntese proteica. Outra hipótese para justificar tal fato, está relacionada com o lugar marginal que o organismo ocupa atualmente como objeto de estudo nos cursos de formação de professores de Ciências Biológicas, que apresenta uma tendência à molecularização dos fenômenos. A seguinte unidade de registro indica como o organismo é concebido passivamente como o palco de interações entre genes e ambiente externo:

- o **organismo** é o resultado da **informação genética** em contato com o **meio**. (E06U043).

Levando esse problema da formação inicial em consideração, recrutamos a proposta de Meglhioratti, El-Hani e Caldeira (2012), de resgatar o organismo como objeto de estudo da Biologia. Para atingir esse objetivo, é preciso ensinar como o organismo é dotado de agência, sendo capaz de interferir no ambiente e mudar sua história de vida, apesar de determinações dos ambientes interno e externo.

No último encontro, os estudantes passaram a discutir mudanças que ocorrem no organismo ao longo de sua vida, conforme indicado pelas unidades de registro a seguir:

- Mas e nesse caso quando é o **mesmo indivíduo** da mesma espécie? Quando ele **muda o comportamento** de resposta. (E13U04).
- A **percepção** é a mesma. A planária não enxerga, ela só percebe claro e escuro. (E15U027).
- O que eu estou pensando é que eu lembro que uma vez a gente viu que se você coloca um tratamento específico no **ovo da galinha** enquanto ela ainda está se desenvolvendo, ao invés de criar um **bico**, ela produz um **dente**. (E15U038).

Nessa discussão, os estudantes mobilizaram fenômenos estudados pelo Comportamento Animal, pela Zoologia e pelo Desenvolvimento, reforçando o potencial do conceito de informação para integrar conhecimentos ensinados de forma fragmentada ao longo do curso.

Combinação categorial ont/ext

Na combinação das categorias do tempo ontogenético com a categoria do ambiente externo, percebemos a repetição dos mesmos temas da combinação *fis/ext*, mas agora a partir do nível de organismo: *i*) interações com elementos do ambiente; *ii*) do processamento da linguagem na comunicação; e *iii*) da comparação da diversidade biológica.

Em relação às interações, os estudantes exibiram falas em que consideravam o organismo como um elemento de um ecossistema:

- eu fico pensando que a informação que fica armazenada na **abelha**, não seria a flor em si, mas essa **interação** com a **flor**, assim como outras coisas que permitem que ela se situe que aquilo é a flor. (E02U022).
- E quando essa mudança acontece **no mesmo indivíduo**? Por exemplo, quando tem locais de muito barulho de construção, as aves ou cantam mais cedo, ou mudam de lugar. Podem vocalizar mais alto... E aí? Isso não foi a seleção natural. **É no mesmo indivíduo**. E aí ele **começou a mudar o comportamento** dele em resposta a um elemento a que os ancestrais dele não estavam submetidos. (E13U011).

O tema da linguagem também apareceu, uma vez que a compreensão de um significado requer uma dimensão compartilhada de um mesmo código, conforme discutido anteriormente. As seguintes unidades de registro documentam a manifestação desse tema na discussão:

- Na **comunicação** é **socialmente**, **aprendemos** que a sonoridade “casa” quer dizer casa. (E10U006).
- Mas aí é **social** também porque a primeira vez que eu ouvi isso foi na **escola**. Aprendi que esse códon corresponde a esse aminoácido... foi na **escola**. (E10U008).

Essas unidades de registro indicam o aspecto interativo da comunicação e da aprendizagem, apontando a necessidade de uma interação social. Por esse motivo, acomodamos essas unidades de registro em um nível de organização populacional.

Por último, os estudantes também fizeram comparações dos organismos com outros, indicando uma abordagem populacional, conforme apontado nas seguintes unidades de registro:

- Como ela vai afetar no **fitness** desse animal? (E02U037).
- Mas para uma mesma temperatura, **existem muitas plantas** que vão ter a **morfologia diferente**. (E15U019).
- Mas é que esse **ocelo não é o mesmo** ocelo da planária. (E15U026).

A partir das unidades de registro apresentadas, indicamos que foram mencionados fenômenos estudados no âmbito da Ecologia, da Evolução, do Comportamento Animal, da Morfologia Animal e Vegetal e da Aprendizagem.

Combinação categorial evo/int

Nesta combinação categorial, encontramos a cruzamento da categoria do tempo evolutivo com a categoria do ambiente interno do organismo. Inicialmente, os estudantes mencionaram essas categorias ao discutir a transmissão de informação de uma geração à outra por meio dos ácidos nucleicos. A linguagem transmissiva pode ser verificada nas seguintes unidades de registro:

- Então, quer dizer, acho que é o **ácido nucleico** que é o que importa para o organismo. É ele que vai ser **passado**. (E06U037).
- outro lado da informação genética, é o lado **vertical**. Vou trocar a palavra **vertical**, para **transmissão**. (E06U038).

Nas discussões acerca da informação genética no âmbito da Epistemologia da Biologia, conforme apresentado no [capítulo inicial](#), Bergstrom e Rosvall (2011) defendem a propriedade de transmissão da informação. Nesta tese, rejeitamos a concepção da informação transmissiva, uma vez que ela remete a “algo que está sendo transmitido” e reforça a metáfora do tubo discutida no [capítulo 2](#). A fim de evitar esse problema, optamos por discutir informação em termos de correspondências que se materializam estruturalmente.

Apesar de os estudantes utilizarem palavras que apontam para uma concepção transmissiva, concomitantemente, também mencionaram a dimensão transgeracional da informação genética sem recorrer a essas palavras, como indicado nas unidades de registro:

- a **máquina de replicação** aprendendo a replicar as **informações lá da união dos dois gametas**. (E02U006).
- Porque o que vai conectar a informação genética a nível de organismo e a **informação genética a nível vertical**, é justamente o **DNA**. (E06U035).

Nos últimos encontros, os estudantes demonstraram compreender a dimensão transgeracional da informação genética por meio do conceito de correspondência, indicando que o grupo conseguiu disponibilizar outras escolhas discursivas para que os estudantes expressassem seus conhecimentos sem precisar recorrer a metáforas. A unidade de registro a seguir ilustra a incorporação da correspondência no discurso:

- a coisa acontecendo em termos **físicos, químicos**, se tiver alguma coisa que tem capacidade de se **autoduplicar**, ou **continuar causando correspondência** nela mesma, ela vai continuar fazendo isso. Então ela vai se **proliferar**. (E10U012).
- Eu acho que o exemplo que mais salta, talvez por ser a coisa que a gente viu por último, seja a **correspondência** entre **códons** e **aminoácidos**. Faz parte do artigo que a gente leu, né? Havia os **códons** e aí com o tempo eles **começaram** a ter correspondências com os **aminoácidos** e isso se tornou uma **informação**. (E13U001).

Na unidade E13U001 também é possível observar que os estudantes mencionaram a correspondência presente no código genético como um produto evolutivo, demonstrando apropriação da leitura e discussões realizadas anteriormente (BARBIERI, 2019).

Combinação categorial evo/org

A combinação das categorias do tempo evolutivo e do nível de organismo, foi a que menos apresentou unidades de registro, com apenas três, que estão apresentadas a seguir:

- quem primeiro deu essa informação foi a união das informações genéticas dos **progenitores**. (E02U003).
- quando a gente vê o **organismo** sendo gerado a partir de um **outro organismo** com os mesmos aspectos, parece que algo foi, tipo, contado. (E02U016).
- Nem os **ancestrais da última geração** nem os **ancestrais** de causas **evolutivas**. (E13U012).

Nessas unidades de registro, os estudantes discutem o organismo como um produto histórico, buscando compreender suas origens a partir de outros organismos. Na unidade E02U003, o estudante aponta os progenitores como fornecedores da informação, ou, em termos de correspondência, como um dos elementos de referência para essa construção. Essa ideia de

correspondência também está presente em certa medida na unidade E02U016, uma vez que se mencionam as semelhanças entre organismos aparentados. É interessante verificar que a concepção de correspondência já estava presente de forma seminal nos primeiros encontros do grupo e foi amadurecida ao longo do desenvolvimento e das discussões.

Por outro lado, nos preocupa a baixa quantidade de unidades de registro nessa categoria, uma vez que o objeto de estudo da Biologia, o organismo, foi pouco discutido do ponto de vista evolutivo. Nesse sentido, as discussões pautadas no período de tempo transgeracional esteve voltada para o ambiente interno ou externo do organismo, mas pouco voltada para o organismo em si.

Combinação categorial evo/ext

As discussões relacionadas às categorias do tempo evolutivo e do nível de organização do ambiente externo manifestaram-se como ocorrências pontuais na etapa inicial e ao longo do desenvolvimento do grupo, estando mais estruturantes na conversa nos encontros de encerramento.

A unidade E10U011 manifesta uma concepção adaptacionista de evolução, uma vez que concebe a reprodução diferencial como única forma de mudança de frequência de características nas populações:

- Porque na **evolução** vai sendo preservado aquilo que está sofrendo menos dano de acordo com o tempo, é como se fosse um processo mais eficaz. Do mesmo jeito que a gente faz com a **sociedade**, que casa é “casa” porque um dia alguém falou isso e percebeu que fez o mesmo sentido **para mim e para aquela pessoa**, então vamos manter isso. Então tem gramática, tem várias coisas que a gente estuda para tentar **manter** nessa mesma ordem, sabe? Para toda vez que alguém dizer “casa” todo mundo entender casa. (E10U011).

Gould e Lewontin (1969) discutem a importância de elaborar hipóteses para além da seleção natural para explicar as características dos organismos, ideia que, mais tarde, foi empiricamente reforçada pela teoria neutra da evolução molecular (KIMURA, 1968) e discutido por Sepúlveda, Meyer e El-Hani (2011).

Apesar da concepção adaptacionista, vale ressaltar que, nessa unidade de registro, o estudante E2 concebe a linguagem como uma construção social e histórica. Acreditamos que seja possível considerar a linguagem como um fenótipo e, conseqüentemente, abordá-la a partir das teorias evolutivas.

Outro momento de destaque presente nesta combinação categorial foi manifestado na unidade de registro E13U010 do estudante E4, ao enunciar o momento em que toma consciência de que os processos biológicos não possuem intencionalidade:

- Agora estou chocada. Para mim era óbvio quando que um animal **quer acasalar** ele emite um som, para mim era óbvio que ele emite esse som porque ele **sabe** que ele vai conseguir aquilo, mas pensando agora nessa coisa de **perpetuação** da espécie, é algo que **está na nossa biologia**, né? (E13U010).

Nesse registro é possível identificar a metacognição do estudante que identifica diferentes formas de pensar acerca dos processos biológicos. A teleologia no pensamento evolutivo também tem sido pesquisada em nosso grupo, principalmente por Ceschim (2017). Um fato a ser destacado, consiste no viés amostral dos participantes do grupo. Poucas foram as manifestações teleológicas dos participantes, uma vez que, a maioria deles participou de encontros do grupo no ano de 2019, em que tiveram a oportunidade de desconstruir o pensamento teleológico na dimensão evolutiva. Nesse sentido, consideramos que a teleologia se tratava de um obstáculo superado pela maioria do grupo, que se policiava para evitar discursos impregnados de intencionalidade. Para além dessa tendência, vale notar que a discussão acerca da informação permitiu que o estudante superasse o pensamento teleológico, mesmo não sendo o objetivo dos encontros.

As unidades de registro alocadas nesta combinação categorial estiveram presentes com maior ênfase nos encontros 13 e 15, em que os estudantes discutiram aspectos do Comportamento Animal em uma abordagem evolutiva e o surgimento de características complexas a partir de pré-adaptações, conforme indicado nas unidades de registro:

- Talvez as aves que tinham a capacidade de se adaptar aos diferentes ruídos se **mantiveram**, enquanto as outras que **não tinham essa questão** de poder mudar o comportamento, **não sobreviveram**. (E13U016).
- Porque esses **padrões de comportamento** e as **características** aparecem e são selecionados ou não por **seleção natural** ou por **deriva**. (E13U013).
- Porque é aquela questão de que **entre as gerações** eu não transmito apenas **genes**, também **transmito** outras **informações**, outras relações de **correspondência**. (E13U015).
- É a mesma dificuldade de pensar na construção de um olho. Cada etapa precisa ser **vantajosa** por si. Então talvez inicialmente uma planta com uma **plasticidade fenotípica grande é vantajosa**. E aí dentro dessa plasticidade, **torna-se vantajoso** ela tender a essa uniformidade, essa homogeneidade. (E15U042).

Nesses encontros finais, vale destacar que, apesar de os estudantes elaborarem hipóteses selecionistas, na unidade E13U013, é possível identificar uma abordagem mais pluralista por meio da consideração da deriva como uma possibilidade de mudança de frequência fenotípica nas populações. Além disso, a unidade E13U015 demonstra uma concepção de herança inclusiva, em que o estudante concebe outras unidades de herança além da genética, conforme discutido por Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020).

A partir da análise de conteúdo dos encontros selecionados, é possível observar uma hipertrofia da dimensão fisiológica da discussão, em que há mais unidades de registro. Por outro lado, as categorias do tempo ontogenético e evolutivo pareceram ter ocupado uma posição periférica nos debates. Apesar dessas observações, essa análise não teve a pretensão de fazer observações quantitativas. Nesse sentido, do ponto de vista da ocorrência ou não de unidades de registro em cada combinação de categorias, a partir dos dados, é possível afirmar que os estudantes buscaram recursos em todas as dimensões temporais e estruturais de manifestação dos fenômenos biológicos, evidenciando o caráter integrador da informação no conhecimento biológico.

Na seção seguinte discutimos as consequências de uma organização excessivamente disciplinar para o conhecimento biológico na formação de professores e oferecemos possibilidades de desdobramentos didáticos para uma reorganização curricular a partir do conceito de informação como eixo integrador.

INFORMAÇÃO COMO UM EIXO INTEGRADOR PARA O ENSINO DE BIOLOGIA

Nosso grupo de pesquisa (CALDEIRA, 2020; CESHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020), bem como outras pesquisas da área (CARVALHO; EL-HANI; NUNES-NETO, 2020; KRASILCHIK, 2019), tem apontado o problema da fragmentação no Ensino de Biologia. Esse problema consiste na organização excessivamente disciplinar do curso de Ciências Biológicas. Além dessa organização, nossa percepção, baseada nas falas dos estudantes e nos dados coletados, indicam uma ausência de coerência⁹ no curso. Nesse sentido, as disciplinas parecem isoladas e sem conexão entre si e os estudantes não têm oportunidades curriculares de integrar os conhecimentos.

O problema da fragmentação do conhecimento tem impactos na prática docente de Professores de Biologia. Temos observado em nossa prática docente nas disciplinas do Ensino Superior que, quando os estudantes do curso de Licenciatura em Biologia são solicitados a planejar aulas e organizar o conteúdo de Biologia a ser ensinado no Ensino Médio, frequentemente eles reproduzem a mesma estrutura rígida da grade curricular do curso e de livros didáticos, como por exemplo: Genética, Ecologia, Diversidade e Evolução. Mesmo quando os estudantes são convidados a reorganizar esses conhecimentos a partir de um problema socioambiental, os estudantes exibem dificuldade em cumprir esta tarefa.

Interpretamos esses resultados como uma deficiência da formação de professores de Biologia que não permite o pleno desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo.

⁹ Coerência no sentido apresentado por Canrinus e cols. (2017).

Em relação a esse tipo de conhecimento docente apresentado por Shulman (1986), é desejável que o professor exiba autonomia sobre o conhecimento biológico e seja capaz de reorganizá-lo a partir das demandas da sala de aula, disponibilizando o conhecimento aprendido ao longo da formação, com uma nova roupagem. Entretanto, a fragmentação do curso enrijece essa habilidade e compromete a formação docente.

Embora criticamos a organização fragmentada no curso, reconhecemos sua importância. Uma vez que a aprendizagem requer um movimento de análise e síntese (SENNA; CESCHIM; GANIKO-DUTRA, 2020), a organização do conhecimento biológico em disciplinas contribui com a didatização e com o aprofundamento conceitual nas diversas áreas do curso. O problema é que, muitas vezes, as grades curriculares limitam-se à análise e não avançam na promoção de espaços de síntese e integração do conhecimento biológico.

A partir desses problemas da fragmentação e da ausência de coerência nos cursos de formação de Professores de Biologia, indicamos o potencial da informação como eixo integrador do conhecimento biológico. Nessa perspectiva, o conceito de informação pode ser um fio condutor para o Ensino de Biologia, em que os estudantes buscariam compreender, ao longo do curso, como os organismos vivos constroem correspondências; quais são suas implicações e especificidades em cada recorte de tempo e nível de organização estrutural; bem como qual é a importância da informação como um princípio fundamental da Biologia, dando significado ao conhecimento biológico ao explicar a estrutura interna dessa Ciência.

Nesse sentido, a implementação da informação como eixo organizador do Ensino de Biologia na formação de professores, poderia acontecer a partir de ações integradas no ensino, na pesquisa e na extensão. No âmbito do ensino, a informação como eixo integrador pode aparecer em dois momentos: *i*) em cada disciplina biológica específica, como na Ecologia, na Genética e na Etologia, por exemplo; e *ii*) na disciplina de Filosofia/Epistemologia da Biologia.

Para que a proposta *i* pudesse ser implementada, seria necessário que os professores do curso compartilhassem a mesma concepção de informação e promovessem essas discussões nas disciplinas, oportunizando um espaço para que os estudantes compreendessem a informação como um conceito transversal na Biologia. Entretanto, apesar de tratar-se de um objetivo desejável, existem muitas barreiras para atingi-lo, exigindo um trabalho coletivo de todos os docentes envolvidos no curso. Levando esse desafio em consideração, a proposta *ii* parece mais viável, embora fosse desejável os dois movimentos simultaneamente e de forma complementar. Apesar do potencial de a disciplina Filosofia/Epistemologia da Biologia na formação de professor em oferecer espaços de discussão e reflexão para que os estudantes reorganizem suas concepções e apreendam a estrutura interna dos fenômenos biológicos para a promoção de um

pensamento biológico autônomo, tem sido observada a remoção dessa disciplina da grade curricular de formação inicial. Além disso, não basta que a disciplina exista, é preciso que ela seja ministrada por um docente com formação específica na área de Epistemologia da Biologia, que seja capaz de conduzir as discussões com os estudantes, conhecendo os principais temas de debate na área, bem como os principais referenciais teóricos que os discutam. Ademais, é desejável que a disciplina não adote métodos de ensino pautados somente na fala do professor, disponibilizando aos estudantes espaços para compartilhamento e confronto de ideias, promovendo assim, a metacognição.

Outro espaço possível para fomentar a integração de conhecimento no curso, consiste na pesquisa na área de Epistemologia da Biologia. Conforme documentado pelas teses fundadoras do grupo (ANDRADE, 2011; BRANDO, 2010; MEGLHIORATTI, 2009), o engajamento dos professores em formação em pesquisas de nível de iniciação científica, seminários e trabalhos de conclusão de curso na área de Epistemologia da Biologia, contribui para a apropriação do conhecimento biológico de forma integrada e sistêmica, a partir dos conceitos estruturantes da Biologia, além de contribuir para a formação docente, ao aprofundar o conhecimento científico, e para a formação do pesquisador, ao apropriar-se de técnicas de pesquisa qualitativa.

Por último, tendo em vista a estratégia 12.7 do Plano Nacional de Educação 2014-2024 que prevê que 10% da carga horária dos cursos de graduação seja dedicado para a extensão universitária, vale refletirmos como a indissociabilidade ensino-pesquisa-extensão poderia ser implementada por meio de projetos de extensão emancipatórios (BEZERRA; SOUSA; COLARES, 2022) no âmbito da Epistemologia da Biologia. De que forma a Epistemologia da Biologia pode contribuir para a transformação das comunidades nas quais a universidade está inserida? Este questionamento inicialmente apresenta-se desafiador, mas acreditamos ser importante começarmos a promover debates nesse âmbito. Identificamos algumas possibilidades seminais de atividades extensionistas que podem ser aprimoradas localmente.

1) Cursos de formação continuada de professores. Se identificamos deficiências na prática docente com raízes na estrutura fragmentada da formação inicial, a Epistemologia da Biologia pode contribuir com a transformação da comunidade por meio do oferecimento de cursos de formação continuada para professores que oportunizassem discussões e aprofundamento teórico para reorganizarem planos de aula levando em consideração a Epistemologia da Biologia.

2) “GPEB e Cidadania”. Outra possibilidade de atividades de extensão no âmbito da Epistemologia da Biologia são ações focadas na vida coletiva da cidade, fomentando discussões

em espaços públicos que promovessem o desenvolvimento de uma apreciação estética da Biologia enquanto cultura científica. A produção científica é também uma produção cultural (FOUREZ, 1995). Nesse sentido é válido democratizar tal enculturação aos cidadãos, permitindo uma reformulação da forma como interpretam a realidade. Ter acesso ao conhecimento científico produzido pela humanidade é um direito, e pode promover tanto a sofisticação do senso estético com a natureza, no sentido de permitir um reconhecimento; quanto disponibilizar conhecimentos para a tomada de decisão. Nessa perspectiva, podem ser desenvolvidas palestras, cursos livres, consultoria para tomadas de decisão relacionadas a problemas socioambientais das cidades e atividades culturais, nos espaços da cidade, bem como da universidade.

3) “GPEB na Escola”: ações voltadas para a comunidade escolar que também contribuíssem para a apreciação da Biologia como cultura científica. Algumas atividades possíveis de serem desenvolvidas nesse sentido são: grupo de estudos em horário inverso acerca da História e Filosofia da Biologia; realização de experimentos; discussão de ideais científicas, assim como nos encontros do grupo com estudantes da graduação, oferecendo um espaço de aprendizagem diferenciado para estudantes aprendem Biologia; clube de leitura de obras de divulgação científica que permitam discussões epistemológicas, como “A Revolução das Plantas” de Stefano Mancuso, “O Gene Egoísta” de Richard Dawkins, “A trama da vida: como os fungos constroem o mundo” de Merlin Sheldrake, “Darwin no Telhado das Américas” de Nélío Bizzo e “Outras mentes: o polvo e a origem da consciência” de Godfrey-Smith; e palestras do tipo “Mitos e verdades sobre a Biologia”.

4) Divulgação científica. Por último, outra possibilidade seria o oferecimento de atividades de divulgação científica: produção de artigos de divulgação científica para professores da Educação Básica; elaboração e manutenção de um perfil no Instagram sobre Epistemologia da Biologia; elaboração de material didático para o Ensino de Biologia na Educação Básica tendo a informação como eixo integrador, de material paradidático e de material didático para o Ensino de Epistemologia de Biologia na formação inicial.

A implementação desses espaços de ensino, pesquisa e extensão na grade curricular do graduando pode diversificar a natureza da interação com o conteúdo científico a ser aprendido e promover momentos de reflexão acerca dos fenômenos biológicos que os engaje em discussões que oportunizem a integração de conhecimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou evidências de como a informação pode ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia por meio dos dados coletados com estudantes da graduação em Ciências Biológicas. Além disso, também promoveu a integração das propostas teóricas da informação como um princípio fundamental da Biologia com os dados empíricos coletados no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia.

No âmbito do documento geral da tese, acreditamos que esse trabalho contribuiu com debates que avançam tanto na fronteira da Epistemologia da Biologia, quanto da Didática da Biologia, ao mesmo tempo que se localiza na intersecção entre essas duas áreas. Na fronteira do conhecimento da Epistemologia da Biologia, contribuímos com o debate acerca do conceito de informação, oferecendo critérios para seu uso e indicando sua presença ubíqua nos fenômenos da vida. Na fronteira da Didática da Biologia, discutimos como a integração de conhecimentos por meio do conceito de informação pode contribuir para a prática docente, além de oferecermos critérios da linguagem para evitar o uso metafórico do conceito.

Esperamos que essa pesquisa contribua com pesquisas nessas áreas. Essas contribuições podem se dar a partir dos quadros elaborados como possibilidades de recortes de análise e de abordagem teórica. Além disso, esperamos ter fomentado a abordagem de fenômenos sociais a partir da Epistemologia da Biologia, tendo em vista que são diferentes níveis de manifestação da vida, mas que exibem os mesmos princípios fundamentais de fenômenos não humanos. Entretanto, é preciso cautela e uma abordagem sistêmica e integrada, que compreenda a herança em uma perspectiva inclusiva e dentro do quadro de causalidade recíproca para evitar determinismos.

Além da contribuição com a pesquisa, esperamos contribuir com o Ensino de Biologia no Ensino Superior e na Educação Básica. No Ensino Superior por meio da incorporação das atividades curriculares sugeridas e na Educação Básica por meio do oferecimento de critérios para a prática docente e avaliação da aprendizagem usando o quadro de assertivas e as discussões realizadas no grupo como referência de diálogos possíveis na sala de aula.

Como limitações, apontamos o fato de que oferecer categorias para a compreensão dos fenômenos biológicos de forma integrada, acaba sendo, em última instância, uma nova forma de fragmentar o conhecimento. Nesse sentido, reiteramos que os fenômenos consistem na realidade imediata, que é indivisível, e só pode ser parcialmente representada e abordada. Qualquer interpretação e representação já é, em si, uma redução da realidade. Entretanto, para um nível operacional e que permita a prática investigativa e interpretativa, as reduções e categorizações são o que permite alguma inteligibilidade.

Finalmente, defendemos a tese de que a informação é um princípio fundamental da Biologia, apresentando como essência, a correspondência entre dois elementos. Além disso, defendemos que as correspondências atravessam os fenômenos biológicos em diversas escalas de tempo e níveis de organização e, por isso, o conceito de informação pode ser um eixo integrador para o Ensino de Biologia.

CAPÍTULO 4

Meta-análise do percurso formativo do pesquisador

INTRODUÇÃO

Os enfrentamentos de obstáculos teóricos estruturantes da formação do pesquisador conduziram à produção de diagrama interpretativos da informação como princípio fundamental da Biologia. A fim de compreender o contexto de construção dos diagramas dessa tese, este capítulo descreve e organiza a evolução do pesquisador e sua formação como Doutor em Educação para a Ciência, na linha de pesquisa de Epistemologia da Biologia e Didática.

Esse capítulo situa-se ao nível de uma meta-percepção do meu percurso formativo, ou seja, trata-se de uma sistematização da percepção que apresento da minha trajetória na pós-graduação. Ao longo do percurso, percebo aprofundamentos teóricos, aproximações e distanciamentos de determinadas perspectivas teóricas, mas a manutenção e o aprofundamento de um atravessamento autorreferencial.

Nesse sentido, inicialmente, formei-me professor e passei a investigar a formação de professores. Formei-me biólogo e passei a pesquisar a epistemologia do conhecimento biológico. Ao final da graduação, comecei a participar do GPEB e pude beneficiar-me da metacognição. Posteriormente, tornei-me pesquisador no grupo de pesquisa e investiguei a metacognição: busquei compreender de que forma os estudantes tomavam consciência da forma como eles mesmos pensavam. Na pesquisa, recortei como objeto de investigação a informação e encontrei como essência desse conceito a ideia de correspondência. A partir desse entendimento, passei a conceber meu processo vivente e de pesquisador como um processo de construção de correspondências; e o ensino que pratico na sala de aula como a construção de experiências para que os estudantes construam correspondências. Agora, neste momento, conduzo uma análise do meu processo de formativo, novamente performando uma investigação autorreferencial. Assim, concluo que meu percurso formativo se organiza em espiral.

METODOLOGIA

Entendo¹⁰ que esta pesquisa está sob o paradigma da Pesquisa Pós-Moderna uma vez que se preocupa com a forma pela qual a experiência é estruturada por meio da linguagem, ou seja, como a realidade é estruturada a partir de narrativas. Os critérios de qualidade deste paradigma consistem na voz autoral, na verissimilitude e no critério performático (TAYLOR, 2014).

Nesse paradigma, os dados que produzo para a meta-análise do percurso formativo são as narrativas produzidas da minha experiência. Para a definição de experiência, utilizo a

¹⁰ Por conta do caráter narrativo, este capítulo será redigido, majoritariamente, em primeira pessoa do singular, salvo casos em que se trata de produções em conjunto com a orientadora.

definição de Larrosa Bondía (2002) de que experiência é aquilo que atravessa. O autor explica o seguinte acerca desse conceito:

A experiência, a possibilidade de que algo nos aconteça ou nos toque, requer um gesto de interrupção, um gesto que é quase impossível nos tempos que correm: requer parar para pensar, parar para olhar, parar para escutar, pensar mais devagar, olhar mais devagar, e escutar mais devagar; parar para sentir, sentir mais devagar, demorar-se nos detalhes, suspender a opinião, suspender o juízo, suspender a vontade, suspender o automatismo da ação, cultivar a atenção e a delicadeza, abrir os olhos e os ouvidos, falar sobre o que nos acontece, aprender a lentidão, escutar aos outros, cultivar a arte do encontro, calar muito, ter paciência e dar-se tempo e espaço (BONDÍA, 2002, p. 24).

Nesse sentido, entendemos que cursar um Doutorado consiste em uma experiência que requer abertura, demorar-se na pesquisa e uma contemplação do problema de pesquisa que nem sempre são compatíveis com o tempo cronológico. A partir dessa concepção, descrevi os principais atravessamentos percorridos a partir daquilo que destaco da minha experiência formativa.

O referencial metodológico para a organização dos dados da meta-análise foi a Semiótica Peirceana, conforme realizado por Brando (2010). Não por afinidade, mas pela impossibilidade de escape do pensamento triádico como a melhor forma de acomodar as categorias da experiência. Conforme descrevi posteriormente, dediquei certa resistência na aceitação da Semiótica como referencial teórico. Entretanto, hoje acredito que as categorias triádicas da experiência sejam as que melhor acomodam a forma como eu estruturei meu pensamento.

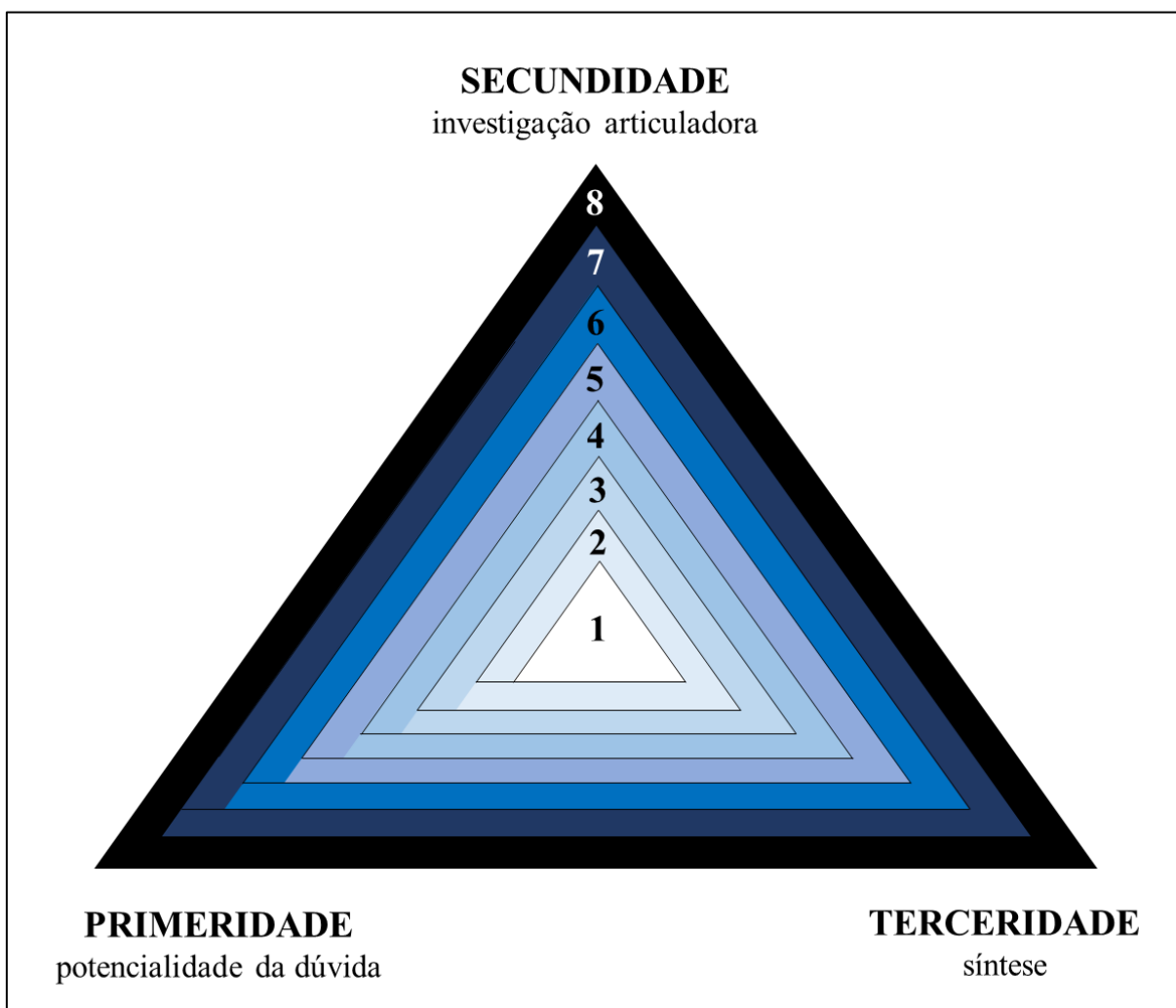
Charles Sanders Peirce (1839-1914) construiu a teoria dos signos a partir de uma redução fenomenológica da experiência (SANTAELLA, 1995), ou seja, Peirce estava interessado em identificar quais eram as categorias básicas presentes em toda e qualquer experiência. Por meio deste exercício, foram identificadas três categorias fenomenológicas presentes em qualquer experiência: a Primeiridade, a Secundidade e a Terceiridade. Nas palavras de Santaella:

O primeiro está aliado às ideais de acaso, indeterminação, frescor, originalidade, espontaneidade, potencialidade, qualidade, presentidade, imediatez, mônada... O segundo às ideias de força bruta, ação-reação, conflito, aqui e agora, esforço e resistência, díada... O terceiro está ligado às ideais de generalidade, continuidade, crescimento, representação, mediação, tríada... (SANTAELLA, 1995, p. 18).

Levando essas categorias em consideração, para a análise do meu percurso formativo, percebo a Primeiridade como o surgimento dos problemas que a pesquisa impõe na forma da potencialidade da dúvida, como eles aparecem e como foram percebidos. Interpreto a Secundidade como a forma como mergulhei nos problemas e busquei articulá-los por meio de

uma investigação que se confronta com a realidade. Como Terceiridade, concebo a maneira como produzi sínteses como resolução dos problemas. Nesse sentido, represento o percurso formativo no diagrama da figura 10.

Figura 10. Diagrama do percurso formativo estruturado a partir das categorias fundamentais da experiência: Primeiridade, Secundidade e Terceiridade. Os números de 1 a 8 representam diferentes momentos do percurso formativo: 1. Definição do problema; 2. Planejamento da pesquisa; 3. Obstáculos metodológicos; 4. Obstáculos teóricos; 5. Investigação teórica; 6. Investigação empírica; 7. Integração da investigação; e 8. Continuidade da pesquisa. A espiral de triângulos representa a continuidade da experiência *ad infinitum*.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Além da estruturação triádica da experiência, essas categorias apresentam-se na forma de um crescimento contínuo, de modo que a resolução de um problema abre uma nova pergunta; uma síntese potencializa-se em dúvida; e a Terceiridade converte-se em uma nova Primeridade. Na experiência vivida do percurso formativo, o encerramento de um momento da investigação, continuava-se na abertura de uma nova dúvida a partir da síntese anterior. Assim, identifico

oito momentos de atravessamento possíveis de destaque para o presente dilatado¹¹ do percurso formativo: 1. A definição do problema; 2. Planejamento da pesquisa; 3. Obstáculos metodológicos; 4. Obstáculos teóricos; 5. Investigação teórica; 6. Investigação empírica; 7. Integração da investigação; e 8. Continuidade da pesquisa. Esses momentos não se organizam necessariamente em sequência, mas sim com cruzamentos, sobreposições, retornos e avanços. Tendo estruturado o diagrama analítico de referência, na seção seguinte conduzo a meta-análise do percurso formativo destacando as categorias da experiência em cada um dos atravessamentos destacados.

META-ANÁLISE

Para organizar a narrativa da meta-análise, apresento como as categorias da experiência se manifestaram nos diferentes momentos da pesquisa no quadro 6 e, na sequência, descrevo os desdobramentos.

¹¹ A proposta de analisar o percurso formativo desde o final da graduação, bem como conjecturar acerca de idealizações de futuro e continuidades da pesquisa vão ao encontro da urgência denunciada por Byung Chul-Han (2017) de dilatação do presente, na tendência contrária que se vive da redução do presente apenas para o imediato.

Quadro 7. Quadro categorial da experiência formativa. Nas linhas são descritas as etapas da pesquisa e nas colunas são identificadas as categorias da experiência.

Etapa da pesquisa	Categorias da experiência		
	Potencialidade da dúvida	Investigação articuladora	Síntese
1 Definição do problema	Participação nos encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia em 2018	Mestrado em Educação para a Ciência – investigação dos artigos publicados no periódico <i>Biology & Philosophy</i>	Definição do problema de pesquisa do Doutorado: Epistemologia da informação e as concepções de professores de Biologia em formação
	Interesse por diversas áreas do Ensino de Ciências	Consideração de diversos objetos de pesquisa e diversos referenciais teóricos; Participação no PED Brasil ¹²	Separação entre referencial de pesquisa e referencial pedagógico
2 Planejamento da pesquisa	Possibilidades das fontes de dados; Encontros iniciais do GPEB	Reuniões de orientação; Ajustes e seleção das possibilidades	Delineamento do percurso metodológico
3 Obstáculos metodológicos	Dados brutos	Busca de referenciais metodológicos em teses anteriores do GPEB; Seleção de encontros representativos	Diagramas estruturados em cartazes
		Uso de recursos analógicos para a construção de diagramas	
	Necessidade de expor padrões	Qualificação; Uso do Notion e de programação	Quadro categorial de dupla entrada (Quadro 6)
4 Obstáculos teóricos	Uso metafórico ou denotativo da linguagem	Encontros do GPEB; Semiótica Peirceana	Conceito de correspondência Maturana e Varela (2001)
	Teoria do Conhecimento x Epistemologia	Disciplinas de Fenomenologia do Prof. Dr. Bento Stuart e da Prof ^a . Dr ^a . Silvia Quijadas “Teorias do	Teoria do conhecimento e da ciência a partir do conceito de informação; Participação no IHPST-LA

¹² Programa de Especialização Docente – PED Brasil. Programa de formação continuada de professores de Ciências e Matemática baseado no currículo STEP de Stanford e implementado no Brasil por meio de parcerias entre a Universidade de Stanford, o Instituto Canoa e IES. <https://pedbr.org/>.

		Conhecimento e Filosofia da Ciência” do Prof. Dr. Marcelo Carbone; Discussões teóricas em reuniões de orientação	
5 Investigação teórica	O que é informação?	Leituras, reflexões, encontros do GPEB, participação em congressos	Quadros teóricos do artigo 1 (Figuras 1 a 4); Conceito de correspondência
6 Investigação empírica	Quais são as concepções dos estudantes de Biologia acerca do conceito de informação?	Encontros do GPEB; Relação pensamento-linguagem	Criação de Quadro 3
7 Integração da investigação	A informação pode ser um conceito integrador no Ensino de Biologia?	Busca de categorias de análise e exemplos; organização de quadro teórico	Quadro categorial de dupla entrada (Quadro 6); Informação como eixo integrador do conhecimento biológico
8 Continuidade da pesquisa	Quais são as possibilidades de exploração do conceito de informação como princípio fundamental da Biologia?	Interpretação da aprendizagem e da prática científica como processos de criação de correspondência	Teoria do Conhecimento a partir do conceito de informação; Elaboração de programa de pesquisa; Interpretação Semiótica
	Como a ideia de cognição corporificada pode contribuir para área de Ensino de Ciências e formação e professores?	Aprofundamento nas leituras e no programa de pesquisa iniciado por Francisco Varela	Formulação de pesquisas
	Como dar continuidade com a pesquisa?	Candidatar-me a concursos e processos seletivos de pós-doutorado	Implementar um grupo de pesquisa em Epistemologia da Biologia e Didática

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

1 Definição do problema

Os entraves relacionados à definição do problema de pesquisa da minha tese se dividem em dois principais atravessamentos. O primeiro problema enfrentado se deu no contexto dos encontros do GPEB, quando eu estava no último ano da graduação. Conforme descrito na trajetória do pesquisador no início da tese, a potencialidade da dúvida em relação ao problema de pesquisa surgiu nos encontros do GPEB, que eu ainda frequentava na condição de participantes de pesquisa, em 2018. Na época, discutíamos a questão da teleologia e buscávamos explicar o “porquê” das estruturas biológicas, no contexto das pesquisas conduzidas pela Dr^a. Beatriz Ceschim. Em algum momento, lembro que a discussão resvalou no conceito de “informação”. Saí do encontro refletindo se a informação genética era a mesma informação do cérebro, com a sensação de que informação fosse uma dimensão semelhante à matéria e energia, semelhante à concepção da informação reificada (WILLIAMS, 1992).

Nesse período da graduação, eu estava inclinado a ingressar em um programa de pós-graduação em Botânica ou Ensino de Botânica, mas o confronto com as questões de pesquisa na área de Epistemologia da Biologia me causou um atravessamento do qual não pude escapar. Nesse sentido, enveredei minhas ambições acadêmicas para o Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência. Ao ingressar no mestrado, ainda ofereci certa resistência na definição de informação como meu objeto de pesquisa. Para contribuir com a demarcação de contornos ao redor dessa questão, as orientações da Prof^a. Dr^a. Ana Caldeira sempre me incentivaram a perseguir os problemas que mais me perturbavam cognitivamente. A partir dessa orientação, após considerar outros objetos, retornei àquele com o qual já havia um atravessamento e recortei a discussão acerca do conceito de informação no periódico *Biology & Philosophy* como o objeto sobre o qual me debruçaria no mestrado. Esse confronto me conduziu ao desejo de continuar essa investigação epistemológica no doutorado, no âmbito da formação inicial de professores.

A partir dessas reflexões, concluo que a escolha de um objeto de pesquisa deve ser marcada, em certa medida, por uma dose de emoção: é preciso que o problema incomode genuinamente o pesquisador ao ponto de que exista uma necessidade de respondê-lo. Para concluir a elaboração acerca da motivação para a escolha de um problema de pesquisa, deixo a frase de Clarice Lispector em “A Paixão Segundo G.H.”: “Renda-se, como eu me rendi. Mergulhe no que você não conhece como eu mergulhei. Não se preocupe em entender, viver ultrapassa qualquer entendimento.”. A partir dessa frase, acredito que, no momento da escolha da tese, a imersão com a realidade é bastante determinante.

Uma segunda questão trouxe à tona outra possibilidade da dúvida nos momentos de delimitação do problema de pesquisa: meu interesse e entusiasmo por diversas áreas do conhecimento. Esse entusiasmo teve seu ponto mais agudo com o meu ingresso na Rede PED Brasil e na equipe PED Unesp. Nas semanas de formação e nos encontros dos grupos de trabalho, fascinei-me com novos referenciais, conheci outros pesquisadores e conheci novas áreas de pesquisa, antes não consideradas. O PED definitivamente é um atravessamento indelével do meu percurso.

Nesse momento, confrontei meu objeto de pesquisa que já estava estabelecido e, por vezes, considerei se deveria fazer alguma mudança para incluir alguma questão que tivesse nascido no contexto do PED dentro do meu doutorado. Após muitas reflexões e amadurecimento das ideias, levando em consideração que o doutorado consolida o pesquisador dentro de uma área de pesquisa, mais uma vez, escolhi consolidar-me como pesquisador na área de Epistemologia da Biologia e Didática. Para fundamentar minha decisão, um esclarecimento foi fundamental: o lugar que os referenciais do PED têm na minha vida, é de referenciais pedagógicos; enquanto os meus referenciais de pesquisa são da Epistemologia da Biologia. Acredito que a pesquisa na área de Ensino de Ciências tenha esse agravante: estudamos a prática docente do ponto de vista do professor e do pesquisador. Entretanto, a separação de referenciais pedagógicos e de pesquisa é indispensável para o esclarecimento da prática investigativa.

A demarcação do limite entre o professor e o pesquisador durante a formação não tem contornos tão nítidos e exigem certa elaboração e reflexão acerca da própria prática docente e investigativa. Nesse sentido, as orientações da Prof^a. Dr^a. Ana Caldeira, bem como conversas com outros pós-graduandos e professores, foi indispensável para o refinamento do meu filtro de categorização dos referenciais formativos. Concluo que esse processo contribui para o desenvolvimento da minha habilidade de tomar decisões enquanto investigador. Trata-se de um processo agridoce, uma vez que exige abrir mão de referenciais e problemas de pesquisa que também nos atravessam, porém, é uma etapa necessária para trazer foco e clareza para a investigação.

2 Planejamento da pesquisa

Para o planejamento da pesquisa, inicialmente realizamos alguns encontros exploratórios no grupo de pesquisa, que antecedem aos encontros indicados como encontros iniciais ao longo da tese, com a finalidade de investigar o potencial do conceito de informação para discussão no grupo.

O delineamento da pesquisa não teve um marco temporal, mas foi sendo planejada e ajustada ao longo do processo e das possibilidades que se apresentavam. Nas reuniões de orientação a pesquisa foi redesenhada algumas vezes. A partir dos confrontos com os dados, optamos por conduzir uma discussão epistemológica e investigar a relação pensamento-linguagem que estrutura o uso dos conceitos informacionais por meio da investigação empírica da formação inicial de professores.

3 Obstáculos metodológicos

O grande volume de dados produzidos nas coletas nos encontros do GPEB revelou diversas possibilidades de tratamento e análise. A partir desse problema, o confronto com a necessidade de organização dos dados oportunizou um importante momento formativo, ao impor ao pesquisador uma tomada de decisão acerca de qual seria a melhor forma de utilizar o tempo, um recurso limitado, para buscar padrões e tirar conclusões a partir dos dados produzidos. Na perspectiva da pesquisa qualitativa, para enfrentamento e tomada de decisões, inicialmente foram selecionados alguns encontros representativos das discussões do grupo. Nesses encontros selecionados, ainda foram escolhidos trechos mais relevantes para realizar a transcrição.

Após a produção das transcrições, ainda havia a necessidade de organização dos dados. Para isso, o pesquisador recorreu às teses já defendidas no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia, para buscar reproduzir as etapas metodológicas e desenhos de análise. Além disso, outra etapa importante para a organização, foi o uso de recursos analógicos como papel pardo, folhas de papel, notas adesivas, canetinhas, giz de cera, entre outros. Acredito que as possibilidades que o uso desses materiais oferece são mais potentes do que aquelas oferecidas por telas e pela dimensão estritamente digital. Austin Kleon em “Roube como um artista: 10 dicas sobre criatividade” (2013) estimula o uso de recursos analógicos nas etapas iniciais da elaboração de projetos e, somente posteriormente, o uso de recursos digitais para a edição. Além disso, creio, em caráter de hipótese, que o uso desses recursos e a execução de ações em uma dimensão material contribua com o funcionamento do cérebro em alguma medida, no paradigma da Cognição Corporificada, conforme programa de pesquisa fundado pela publicação do livro “*The Embodied Mind*” de Varela, Thompson e Rosch (2016). Estar diante de um grande pedaço de papel em branco com diversos materiais à disposição para organizar as ideias, contribuiu para sínteses criativas e produção de diagramas em cartazes, que, posteriormente, foram editados digitalmente para estarem presentes na tese. A partir da

elaboração desses materiais analógicos, foi possível construir a estrutura dos diagramas teóricos do artigo 1 e o quadro categorial do artigo 2 (Quadro 3).

Figure 11. Fotografia dos cartazes utilizados como rascunhos dos diagramas da pesquisa.



Fonte: Acervo do autor (2023).

Outro problema enfrentado, está relacionado com o fato de que a pesquisa científica também impõe a necessidade de expor padrões a partir de evidências para que alguma inferência seja possível. Essa necessidade agravou-se no momento da qualificação que permitiu uma reorientação do trabalho para sua conclusão. A partir desse momento, enfrentei os dados a partir da uma análise de conteúdo e me percebi diante de implicações de ordem pragmática: qual ferramenta utilizar para realizar a análise de conteúdo? A intenção era integrar as propostas

teóricas do [primeiro capítulo](#) com os dados empíricos do [segundo capítulo](#), por meio de quadro de dupla entrada ([Quadro 6](#)).

A síntese criativa para a resolução desse problema se deu a partir da minha familiarização prévia com o Notion. Esse software, que apresenta grande liberdade para a gestão de dados dos usuários, me permitiu organizar um quadro de dupla entrada que foi sendo preenchido automaticamente à medida que o quadro de unidades de registro era alimentado, otimizando meu tempo e evitando que o segundo quadro precisasse ser preenchido manualmente, o que exigiria muito tempo e aumentaria a possibilidade de erros. Para isso, precisei utilizar conhecimentos básicos de programação e inserir comandos específicos no *software*. Nesse momento, os conhecimentos de programação básica que tive na disciplina de Informática no Ensino Fundamental, na disciplina de Pensamento Computacional do Prof. Dr. Wilson Yonezawa durante o mestrado em Educação para a Ciência e nas formações do PED, foram essenciais. Essa experiência indica como o conhecimento de programação e o pensamento computacional pode contribuir para a operacionalização de pesquisas qualitativas.

4 Obstáculos teóricos

Dois foram os principais obstáculos teóricos atravessados nessa investigação. O primeiro consiste na adoção de posicionamento acerca da natureza relação pensamento-linguagem no uso dos conceitos informacionais. No momento do primeiro contato com o problema de pesquisa em 2018, conforme mencionado anteriormente, a impressão inicial era de que informação fosse uma terceira dimensão da realidade e existisse em seu próprio domínio: um princípio organizador do universo (WILLIAMS, 1992). Desde então, venho confrontando esse objeto de pesquisa a partir de diferentes perspectivas teóricas. No âmbito do mestrado em Educação para a Ciência, produzimos o artigo “Relação pensamento-linguagem e as distorções conceituais no Ensino de Biologia” publicado na revista *Ciência & Educação* (2020). Nesse momento, orientei-me teoricamente a perceber a informação a partir de uma metáfora, concordando com Levy (2011). Nessa perspectiva, a informação genética não passava de uma metáfora para representar as reações moleculares que acontecem no ambiente molecular da célula e que envolvem os ácidos nucleicos.

Na disciplina de Teoria do Conhecimento do Prof. Dr. Marcelo Carbone, produzi um trabalho em que estruturei minha percepção acerca do conceito de informação genética a partir da Semiótica Peirceana. Entretanto, como o passar do tempo, abandonei a ideia, pois não identificava uma relação triádica na informação, mas, sim, uma relação entre dois elementos. Essa percepção se aprofundou ao longo das discussões no GPEB, principalmente ao identificar

como essência fenomenológica do conceito de informação a ideia de correspondência entre dois elementos. Nessa nova forma de conceber a informação, percebi o potencial desse conceito em consolidar uma relação pensamento-linguagem de ordem denotativa, e não mais metafórica. Encontrei respaldo para essa ideia nos conceitos de acoplamento estrutural de Maturana e Varela (2001) e de marcador somático e paisagem fisiológica de Damásio (2012). Nesse sentido, a síntese produzida no enfrentamento desse obstáculo teórico me conduziu a perceber a vida como um processo de construção de correspondências performado pelo organismo que permite sua autopoeiese e que tem diferentes reverberações a depender da forma que abordamos esse fenômeno: em diferentes níveis estruturais e em diferentes recortes de tempo.

O segundo obstáculo teórico enfrentado esteve relacionado à identificação de aproximações e afastamentos entre teorias do conhecimento e a epistemologia. Nesse sentido, a disciplina de Teorias do Conhecimento e Filosofia da Ciência, novamente, foram de grande contribuição para alguns esclarecimentos teóricos: enquanto as teorias do conhecimento se preocupam com a forma como o sujeito conhece; a epistemologia, a partir de suas raízes positivistas, preocupa-se com os fenômenos e com a atividade científica. Podemos mencionar ainda, as teorias contemporâneas da ciência, que buscam compreendê-la a partir de uma perspectiva epistemológica, mas por meio dos métodos científicos, como o projeto “*Scrutinizing Science*” conduzido por Donovan, Laudan e Laudan (1988). A área avança para pesquisas integradas em História, Filosofia e Sociologia da Ciência. Um dos espaços que sedia as discussões da área são as conferências do *International History, Philosophy and Science Teaching Group*, cuja última versão aconteceu em Porto Alegre em agosto de 2023, no qual o autor esteve presente.

No momento da participação nesse evento, apresentei um trabalho que temos rascunhado e que expressa minha teoria pessoal do conhecimento e da ciência. Abaixo, reproduzo o resumo submetido como síntese dessa etapa da pesquisa com algumas modificações:

Uma Teoria do Conhecimento como processos de acoplamento estrutural a partir do conceito de informação: Contribuições para a Formação de Professores de Ciências
--

Informação é um conceito estruturante para a Biologia, podendo ser definida como o aspecto compartilhado entre dois objetos que justifica uma relação de correspondência entre eles. Tal correspondência manifesta-se em diferentes níveis de organização da vida (de moléculas do ambiente celular a ecossistemas) e em diferentes recortes de tempo (fisiológico, ontogenético e evolutivo). Essa correspondência permite que os organismos construam um

acoplamento estrutural nos ambientes em que se encontram, estabelecendo um equilíbrio dinâmico de trocas de matéria e energia dentro de um sistema autopoietico. O objetivo desse trabalho é propor uma Teoria do Conhecimento como processos de acoplamento estrutural e tecer considerações acerca da compreensão da aprendizagem nessa perspectiva para a formação de professores. Essa construção se apoia nos conceitos de acoplamento estrutural de Maturana e Varela, bem como no conceito de marcador somático de Antônio Damásio. O processo de acoplamento acontece por meio da construção e manutenção de correspondências entre o ambiente interno e externo, operados pelo organismo por meio de sua capacidade autopoietica. Nesse sentido, a aprendizagem pode ser considerada um processo de acoplamento no qual o organismo tem sua paisagem fisiológica acoplada a estímulos do ambiente, fenômeno possibilitado pela plasticidade de sua fisiologia. Podemos considerar que o resultado desse acoplamento são marcadores somáticos estímulo-específicos que permitem que diferentes condições do ambiente sejam interpretadas de acordo com as correspondências efetuadas anteriormente. A esse processo de estabelecimento de correspondência entre estímulos do ambiente e paisagens fisiológicas específicas, damos o nome de aprendizagem. Essas arquiteturas fisiológicas específicas emergem ao nível da mente como representações, possibilitadas por meio da linguagem. Enquanto a aprendizagem trata-se de um fenômeno que acontece ao nível do organismo e dentro de seu tempo de vida, a ciência consiste em um processo de acoplamento ao nível populacional e que acontece no tempo transgeracional. Nessa perspectiva, as teorias científicas podem ser compreendidas como a construção de correspondências entre fenômenos e construtos teóricos que buscam explicá-los. O estabelecimento dessa correspondência acontece por meio da investigação científica que envolve diversos processos, como observação, descrição, elaboração de hipóteses, experimentação e comunicação e validação de resultados. Dizemos que esse processo acontece ao nível populacional por conta do caráter coletivo e intersubjetivo da ciência. A validação de uma correspondência entre um fenômeno e uma teoria científica que busca explicá-lo depende da interação entre os pesquisadores. Como a produção científica pode ser materializada e armazenada externamente aos indivíduos em materiais impressos e digitais, por exemplo, podemos dizer que a ciência é um processo de acoplamento que ultrapassa o tempo de vida de um organismo. Poderíamos, ainda, dizer que, como existe variação na forma como se aprende e se produz ciência, os padrões de aprendizagem e produção científica são fenótipos passíveis de mudança de frequência nas populações por seleção natural ou deriva. Portanto,

propomos uma integração das Ciências Cognitivas, da Filosofia da Ciência e da Biologia para pensar a aprendizagem e a ciência como processos de acoplamento. As implicações dessa compreensão para a formação de professores resgatam a importância da experiência para a aprendizagem. Pesquisas tem indicado que professores têm dificuldade em ensinar seus alunos utilizando estratégias diferentes daquelas com as quais aprenderam enquanto eram estudantes. Acreditamos que essa tendência esteja relacionada com aspectos de marcador somático da aprendizagem tradicional. Diagnosticamos que estudantes de uma disciplina de estágio supervisionado de um curso de Ciências Biológicas, por mais que fossem ensinados acerca das estratégias de ensino centradas no estudante e em uma perspectiva da Educação CTSA, elaboraram planos de regência seguindo estratégias de ensino tradicionais e conteudistas, com pouca contextualização socioambiental. No ano seguinte, a disciplina trabalhou com ensino por modelagem e foi possível observar evidências de que os estudantes foram capazes de elaborar planos de regência em que os estudantes do ensino básico tiveram mais oportunidades de reelaboração de suas concepções e orientados por objetivos de ensino com preocupações socioambientais. Esses resultados preliminares nos indicam que, para professores em formação que foram estudantes de ensino básico em um contexto de ensino tradicional, não é suficiente ensinar sobre estratégias de ensino centradas no estudante e planejamento de aulas em uma perspectiva de Educação CTSA: é preciso oportunizar para esses professores em formação experiências de aprendizagem que simulem a sala de aula do ensino básico nas condições em que se deseja que eles ensinem futuramente. Esperamos que essas provocações iniciais estimulem um debate epistemológico interdisciplinar e que, posteriormente, possibilite a elaboração de estratégias de ensino e reformulação de práticas de ensino em cursos de formação de professores.

5 Investigação teórica

O problema que possibilitou a condução da investigação teórica foi responder à pergunta: “o que é informação?”. Considero que desde 2018 venho fermentando essa questão, que confrontei a partir de leituras, reflexões individuais e compartilhadas, em participações em congressos, disciplinas da pós-graduação e nos encontros do GPEB. Considero que a síntese consiste na definição da informação como a correspondência entre dois elementos; bem como nos diagramas apresentados no [capítulo 1](#). Tal Terceiridade já tem dado espaço a uma nova possibilidade de dúvida. No momento de conclusão dessa tese, retorno à Semiótica Peirceana como um referencial possível de abordagem da informação. Não percebo mais a correspondência como uma relação de díada, mas, sim, como uma relação triádica na qual é

possível identificar: o objeto 1, o objeto 2 e o aspecto compatível entre eles que sustenta a relação de correspondência. Encaro essa percepção espontânea como uma potencialidade que pretendo amadurecer nas próximas etapas da minha vida de pesquisador. Nessa perspectiva, discordo de mim mesmo e lembro das palavras de Bachelard (2008 [1971], p. 16): “O conhecimento científico é sempre a reforma de uma ilusão”.

6 Investigação empírica

A síntese de uma proposta para o conceito de informação nos levou a vislumbrar: quais seriam as concepções dos estudantes de Biologia acerca do conceito de informação? Para confrontar a realidade, ao longo dos encontros do GPEB buscamos ter fontes de dados de diferentes naturezas: diagramas, respostas de questionários, discussões em grupo e definições individuais. Destaco a organização dos encontros do grupo como uma etapa importante da minha formação como pesquisador. Nos primeiros encontros, ainda organizados em parceria com a Dr^a. Beatriz Ceschim, com seu suporte e sua paciência pedagógica, pude ir refinando meu olhar para a discussão a partir de um olhar de pesquisador. Nesse sentido, aprendi a pensar no planejamento com algumas perguntas em mente: “Qual é o objetivo desse encontro?”; “Como eu posso oportunizar momentos para que os estudantes tornem seus pensamentos visíveis?”; “Será que uma determinada pergunta poderia me ajudar com as provocações?”. Nesse momento, os movimentos discursivos descritos por Windschitl, Thompson e Braaten (2018) também foram de grande contribuição para desenvolver a habilidade de conduzir discussões acerca de temas científicos com os participantes.

Para organizar as concepções dos estudantes, novamente recorri às lentes teóricas da relação pensamento-linguagem que resultaram em um quadro categorial com distorções conceituais identificadas a partir dessa relação ([Quadro 3](#)). No segundo capítulo, debrucei-me sobre a metáfora, mas ainda existem potencialidades de exploração de outras categorias desse quadro. Apesar de eu não mais perceber a informação como uma metáfora, identifico seus usos metafóricos quando é entendida como “tubo comunicativo”, conforme descrito anteriormente a partir de Maturana e Varela (2001).

7 Integração da investigação

A partir das sínteses produzidas no artigo teórico e no artigo empírico, surgiu a necessidade, evidenciada, principalmente no momento da qualificação, de organizar uma integração entre o diagrama teórico e os dados coletados com os participantes no grupo de pesquisa. A potencialidade estava em explorar a informação como eixo integrador para o Ensino

de Biologia. Essa percepção se deu a partir da familiarização do pesquisador com os dados, mas exigia que tal inferência fosse sistematizada.

Nesse sentido, o confronto necessário foi o de organizar os dados de modo a produzir evidências do potencial integrador do conceito de informação. Assim, a partir de uma análise de conteúdo, o pesquisador elaborou o [Quadro 6](#) que expôs que os estudantes recrutaram exemplos e conhecimentos de diversos níveis de organização e diversos recortes de tempo para expressar ideais acerca do conceito de informação, indicando-o como um potencial eixo integrador para o conhecimento biológico. As sínteses estão descritas no [capítulo 3](#).

8 Continuidade da pesquisa

O caminho percorrido até o momento modificou profundamente minha forma de enxergar a realidade. O atravessamento causado pela investigação do conceito de informação potencializa-se no vislumbre de possibilidades de novas pesquisas. Assim, percebo três potenciais a serem explorados.

O primeiro deles consiste em uma continuidade da pesquisa, com a pergunta: “Quais são as possibilidades de exploração do conceito de informação como princípio fundamental da Biologia?”. A partir dessa pergunta, pretendo continuar a investigação de como compreender a aprendizagem, o conhecimento e a prática científica como processos de criação de correspondência a partir de uma perspectiva biológica. Espero poder sintetizar essas ideias em uma teoria do conhecimento a partir do conceito de informação, elaborando um programa de pesquisa na área. Além disso, também pretendo explorar a informação a partir da criação de diagramas semióticos. Para isso, pretendo aprofundar-me nas leituras da obra de Peirce.

Outra potencialidade que me provoca a investigá-la trata-se das contribuições que o programa de pesquisa da Cognição Corporificada pode dar para a área de formação de professores que tenham como foco a experiência. Assim, pretendo lançar-me sobre as leituras dessa área e estruturar pesquisas de âmbito teórico e empírico.

Por último, o terceiro e maior desafio que me atravessa no momento: como dar continuidade com a pesquisa em termos institucionais? A fim de buscar uma solução para esse problema, me arremesso em concursos da área para a vaga de professor do Ensino Superior, bem como considero a possibilidade de dar início a um estágio de pós-doutorado. Idealizo sintetizar essa etapa implementando um grupo de pesquisa, ou podendo dar continuidade à pesquisa em algum grupo da área.

CONSIDERAÇÕES RIZOMÁTICAS

Faço alusão ao trabalho “O cansaço das árvores” de Carvalho e Muhle (2017), apresentado pelo Prof. Dr. Osmar Cavassan na disciplina de Educação Ambiental e os Ecossistemas Terrestres. Resgato esse trabalho, porque acredito que a pesquisa é um rizoma: ela veio de algum lugar, que não necessariamente era o início e vai para outro ponto, que não necessariamente é o final, mas, sim, apenas outro ponto de afloramento na superfície. Assim como um rizoma, a vida é sempre meio – descrevo a minha experiência formativa que é o meio entre o lugar de onde vim e para onde vou. A partir dessa concepção, no aspecto narrativo, percebo a incompletude da Terceiridade: quando se aproxima de ser Terceiridade, torna-se presente novamente. Assim, o presente é o elo entre o passado e o futuro; é onde o organismo manifesta agência; é o espaço do acontecimento e da experiência.

A partir da ideia do presente e da experiência, resgato a urgência trazida por Han (2017) da necessidade de dilatação do tempo presente, e também da importância de fechar os olhos (2021), de deixar-se demorar em uma ideia, do resgate do tédio, do pensamento vagaroso, do tempo filosófico, que não é o mesmo tempo cronológico. Na atualidade somos bombardeados de estímulos e preenchemos todos os espaços de nossas vidas. Esse preenchimento não permite raciocínio abduativo; não permite a pesquisa. Reforço a necessidade do resgate da dimensão contemplativa para a formação do pesquisador. Assim como disse Larrosa:

A velocidade com que nos são dados os acontecimentos e a obsessão pela novidade, pelo novo, que caracteriza o mundo moderno, impedem a conexão significativa entre acontecimentos. Impedem também a memória, já que cada acontecimento é imediatamente substituído por outro que igualmente nos excita por um momento, mas sem deixar qualquer vestígio. Por isso, a velocidade e o que ela provoca, a falta de silêncio e de memória, são também inimigas mortais da experiência. (BONDÍA, 2002, p. 23).

Deixo nesses registros, o saber da experiência que pude elaborar até o presente momento. O sentido que dei àquilo que me aconteceu. Na tessitura da minha formação, destaco a seguinte descrição: a formação do pesquisador requer uma relação de paixão como o objeto de pesquisa. O pesquisador é um tomador de decisões. Como essências do meu saber experiencial destaco o papel das conversas como forma de construção de significado, como um espaço de elaboração e apropriação do conhecimento; a informação como processo de correspondência; o conceito de marcador somático; a relação pensamento-linguagem e as distorções conceituais no ensino de Biologia; o conceito de acoplamento estrutural; a importância do pensamento abduativo; a importância do tempo filosófico e contemplativo; e a cognição corporificada como a materialização da cognição na experiência.

Concluo essa tese com a mesma constatação do início: é engraçado como o cérebro constrói correspondências. Reafirmo essa frase tendo em vista a bricolagem que pude construir ao longo da tese, buscando recursos práticos e teóricos de áreas com as quais entrei em contato de forma fragmentada e não intencional. Ao longo do processo, consegui recrutar conhecimentos de diversas disciplinas do mestrado e do doutorado: do pensamento computacional às narrativas como fontes de dados para a pesquisa; busquei exemplos biológicos a partir de eventos, livros e disciplinas com os quais me engajei sem pretensão de que contribuíssem com a tese; e, ainda, enxergo relações entre o meu percurso formativo e produções literárias com as me envolvi em diferentes momentos da vida. Essa meta-análise permitiu a elaboração da narrativa do meu percurso formativo e a atribuição de sentido estético à minha formação como doutor-professor-pesquisador na área de Ensino de Ciências. Para encerrar, resgato o trecho de Gérard Fourez:

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. (FOUREZ, 1995, p. 141)

REFERÊNCIAS

- 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.
- BACHELARD, Gaston. **A Epistemologia**. Traduzido por Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa: Edições 70, 2018. (Originalmente publicado em 1971)
- BARBIERI, Marcello. Evolution of the genetic code: the ambiguity-reduction theory. **BioSystems**, v. 185, 104024, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2019.104024>.
- 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". **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 195-200, 2011.
- BEZERRA, Adrielle Nara Serra; SOUSA, Francisca Márcia Lima de; COLARES, Anselmo Alencar. A curricularização da extensão na formação docente: aproximações e contradições para uma práxis emancipadora. **Olhar de Professor**, v. 25, e-20879.072, p. 1-2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5212/OlharProfr.v.25.20879.072>. Disponível em <https://revistas.uepg.br/index.php/olhardeprofessor/article/view/20879>. Acesso em: 22 set. 2023.
- 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.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- BONDÍA, Jorge Larrosa. Notas sobre a experiências e o saber de experiência. **Revista Brasileira de Educação**, n. 19, p. 20-28, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-24782002000100003>. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/Ycc5QDzZKcYVspCNspZVDxC>. Acesso em: 18 set. 2023.
- BUCKLAND, Michael K. Information as thing. **JASIST**, v. 42, n. 5, p. 351-360, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199106\)42:5%3C351::AID-ASI5%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199106)42:5%3C351::AID-ASI5%3E3.0.CO;2-3).
- CALDEIRA, Ana Maria de Andrade (Org.). **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).

CANRINUS, Esther T.; BERGEM, Ole Kristian; KLETTE, Kirsti; HAMMERNESS, Karen. Coherent teacher education programmes: taking a student perspective. **Journal of Curriculum Studies**, v. 49, n. 3, p. 313-333, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/00220272.2015.1124145>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00220272.2015.1124145>. Acesso em: 22 set. 2023.

CAPURRO, Rafael; HJORLAND, Birger. Tradução: CARDOSO, Ana Maria Pereira; FERREIRA, Maria da Glória Achtschin; AZEVEDO, Marco Antônio de. O conceito de informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 148-207, 2007.

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura; MUHLE, Rita Paradedda. Educação Ambiental: o problema das classificações e o cansaço das árvores, In: OLIVEIRA, Marcia Maria Dosciatti; MENDES, Michel; HANSEL, Claudia Maria; DAMIANI, Suzana. (Orgs.). **Cidadania, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Caxias do Sul: Educ, 2017. 540 p.

CARVALHO, Ítalo Nascimento de; EL-HANI, Charbel N.; NUNES-NETO, Nei. How Should We Select Conceptual Content for Biology High School Curricula? **Science & Education**, v. 29, p. 513-547. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00115-9>. Acesso em 20 de fev. 2022.

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. **Articulação entre genética de transmissão e genética molecular na dominância completa**: Um estudo com professores em formação. 2022. 201f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2022.

CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem e as distorções conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320200068>.

DAMÁSIO, António R. **O erro de Descartes**: emoção, razão e o cérebro humano. 3ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

DONOVAN, Arthur; LAUDAN, Larry; LAUDAN, Rachel. **Scrutinizing Science: Empirical Studies of Scientific Change**. Dordrecht: Springer, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-2855-8>.

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.

GANIKO-DUTRA, Matheus. **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. Bauru. 135 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2021.

GANIKO-DUTRA; Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem na compreensão do conceito de “informação” na formação inicial em Ciências Biológicas. In: **XVI ENCUESTRO IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN (EIDE)**, 2022, Santiago.

GOULD, Stephen Jay; LEWONTIN, Richard. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. **Proceedings of The Royal Society B: biological sciences**, v. 205, n. 1161, p. 581-598, 1979.

HAN, Byung-Chul. **Sociedade do Cansaço**. 2ª ed ampliada. Petrópolis: Vozes, 2017.

HAN, Byung-Chul. **Favor fechar os olhos**: Em busca de um outro tempo. Petrópolis: Vozes, 2021.

KIMURA, Motoo. Evolutionary rate at molecular level. **Nature**, v. 217, n. 5129, p. 624-626, 1968.

KLEON, Austin. **Roube como um artista**: 10 dicas sobre criatividade. Tradução de Leonardo Villa-Forte. Rio de Janeiro: Rocco, 2013.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de Ensino de Biologia**. 4ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2019.

LEVY, Arnon. Information in Biology: A Fictionalist Account. **NÔUS**, v. 45, n. 4, p. 640-657, 2011.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana. São Paulo: Palas Athena, 2021.

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.

PATTON, Michael Quinn. **Qualitative Research & Evaluation Methods**. 3ª ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2002.

PEIRCE, Charles Sanders. **Semiótica**. Tradução de José Teixeira Coelho Neto. 4ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2017.

SALTHER, Stanley N. **Evolving hierarchical systems**: their structure and representation. New York: Columbia University Press, 1985.

SANTAELLA, Lucia. **A Teoria Geral dos Signos**: semiose e autogeração. São Paulo: Editora Ática S.A., 1995.

SCHEINER, Samuel M. Toward a Conceptual Framework for Biology. **The Quaterly Review of Biology**, v. 5, n. 3, p. 293-318, 2010.

SENNA, Karina Nomidome de; CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus. A organização do conteúdo biológico no processo de mediação didática. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Didática e Epistemologia da Biologia**. São Paulo: Espelho D'Alma, 2020. p. 251-279. (Educação para a Ciência, 20).

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.

SHULMAN, Lee S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

TAYLOR, Peter Charles. Contemporary Qualitative Research. In: LEDERMAN, Norman G.; ABELL, Sandra K. **Handbook of Research on Science Education: Volume II**. Nova York: Routledge, 2014. p. 38-54.

VARELA, Francisco J; THOPSOM, Evan; ROSCH, Eleanor. **The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience**. Revised edition. MIT Press, Amherst, 2016.

WINDSCHITL, Mark; THOMPSON, Jessica; BRAATEN, Melissa. Talk as a Tool for Learning. In: WINDSCHITL, Mark; THOMPSON, Jessica; BRAATEN, Melissa. **Ambitious Science Teaching**. Cambridge: Harvard Education Press, 2018. p. 39-64.

WILLIAMS, George C. **Natural Selection: Domains, levels and Challenges**. New York: Oxford University Press, 1992.

ANEXO A**PROTOCOLO DE APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**

UNESP - FACULDADE DE
CIÊNCIAS CAMPUS BAURU -
JÚLIO DE MESQUITA FILHO

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: ¿CICLO DE VIDA¿ COMO UM EIXO ORGANIZADOR DO CONHECIMENTO BIOLÓGICO NA FORMAÇÃO INICIAL EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS: UMA ANÁLISE SEMIÓTICA DA CONSTRUÇÃO DE ARGUMENTOS

Pesquisador: MATHEUS GANIKO DUTRA **Área Temática:**

Versão: 1

CAAE: 58230422.0.0000.5398

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO **Patrocinador Principal:** Capes Coordenação Aperf Pessoal Nivel Superior

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.500.604

Apresentação do Projeto:

A apresentação corresponde as exigências éticas e científicas no campo da pesquisa qualitativa em ciências biológicas e em conformidade com as Resoluções em vigor.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivam uma análise semiótica com/dos estudantes da graduação inicial em Ciências Biológicas.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Avalio que estão devidamente explicitados e em conformidade com as Resoluções em vigor.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

**UNESP - FACULDADE DE
CIÊNCIAS CAMPUS BAURU -
JÚLIO DE MESQUITA FILHO**



Continuação do Parecer: 5.500.604

Pesquisa relevante em formação acadêmica inicial e implicações no currículo.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE está devidamente apresentado em conformidade com as Resoluções em vigor.

Recomendações:

Sugere-se no TCLE identificar as Resoluções em vigor, bem como, o contato do Comitê de Ética-FC.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Parecer favorável.

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, nº 14-01
Bairro: CENTRO **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-9400 **Fax:** (14)3103-9400 **E-mail:** cepesquisa.fc@unesp.br

Página 01 de 02

Considerações Finais a critério do CEP:

Projeto considerado “aprovado” por estar em conformidade com os parâmetros legais, metodológicos e éticos analisados pelo colegiado deste CEP - Comitê de Ética em Pesquisa.

Lembramos que é dever do pesquisador responsável, ao término da pesquisa e conforme o cronograma informado à Plataforma Brasil, apresentar o relatório final da mesma.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1932393.pdf	18/04/2022 22:25:54		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TermoDeConsentimentoLivreEsclarecido.pdf	18/04/2022 22:25:31	MATHEUS GANIKO DUTRA	Aceito

Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProtocoloDePesquisa.pdf	18/04/2022 22:24:59	MATHEUS GANIKO DUTRA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	TermodeResponsabilidadeeCompromiss odosPesquisadores.pdf	18/04/2022 22:24:49	MATHEUS GANIKO DUTRA	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRostoAssinada.pdf	18/04/2022 22:24:33	MATHEUS GANIKO DUTRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BAURU, 30 de Junho de 2022

Assinado por:
Mário Lázaro
Camargo (Coordenador(a))

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, nº 14-01**Bairro:** CENTRO**CEP:** 17.033-360**UF:** SP**Município:** BAURU**Telefone:** (14)3103-9400**Fax:** (14)3103-9400**E-mail:** cepesquisa.fc@unesp.br

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

MATHEUS GANIKO DUTRA

VIDA E CORRESPONDÊNCIA
UMA INVESTIGAÇÃO DO CONCEITO DE INFORMAÇÃO COMO EIXO
INTEGRADOR DO ENSINO DE BIOLOGIA

CADERNO DE MATERIAL SUPLEMENTAR

Bauru
2023

APRESENTAÇÃO

Este caderno de material suplementar apresenta os dados brutos da pesquisa: transcrições de áudios dos encontros, representações individuais elaboradas pelos participantes e respostas de questionários inicial e final. Ele encontra-se dividido em três seções: etapa inicial, desenvolvimento e encerramento. O quadro a seguir sistematiza quais dados foram produzidos ao longo da investigação, distribuídos ao longo dos encontros. Para mais detalhes de cada encontro, ver Quadro 8.

Quadro 8. Apresentação de cada tipo de dado produzido por cada estudante em cada encontro e etapa dos encontros no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia.

Enc.	Data	Dado	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Etapa inicial		Respostas do questionário inicial	X	X	X	X	X		X
	01	28/JUN/22	Gravação do encontro	X	X	X	X	X	
	02	05/JUL/22	Gravação do encontro	X	X		X		X
			Representações dos estudantes	X	X		X		X
	03	12/JUL/22	Gravação do encontro	X	X	X	X		X
Desenvolvimento	04	19/JUL/22	Gravação do encontro	X	X	X			
	05	02/AGO/22	Gravação do encontro	X		X	X		X
	06	09/AGO/22	Gravação do encontro	X	X				X
			Registro escrito individual	X	X				X
	07	16/AGO/22	Gravação do encontro	X	X	X	X		X
	08	03/OUT/22	Gravação do encontro	X	X	X	X	X	
			Registro escrito individual	X	X	X		X	
	09	10/OUT/22	Gravação do encontro	X	X	X	X	X	
			Registro escrito individual	X	X	X		X	
	10	17/OUT/22	Gravação do encontro	X	X	X	X	X	
			Registro escrito individual	X	X	X	X	X	
	11	31/OUT/22	Gravação do encontro	X	X	X			X
	12	07/NOV/22	Gravação do encontro	X	X	X		X	X
			Registro escrito individual	X	X	X		X	X
Encerramento	13	09/JAN/23	Gravação do encontro	X	X	X	X	X	
	14	16/JAN/23	Gravação do encontro	X	X		X	X	
	15	30/JAN/23	Gravação do encontro	X	X			X	X
			Resposta do questionário final	X	X	X	X	X	

Fonte: elaborado pelos autores.

ETAPA INICIAL

Respostas do questionário inicial

Encontro 02 – 05/JUL/2022: Transcrição da gravação

Encontro 02 – 05/JUL/2022: Representações dos estudantes

Encontro 03 – 12/JUL/2022: Transcrição da gravação

RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.	
E1	Os ácidos nucleicos são estruturas que desempenham um papel essencial nos organismos vivos, sendo onde as informações referentes à produção de proteínas estão contidas. Ao analisar mais quimicamente o processo de produção das proteínas através de ácidos nucleicos, temos que são uma coleção de formatos moleculares, que são copiados em ordens diferentes para formar uma série de estruturas maiores (as proteínas). A partir delas, o organismo poderá desempenhar suas atividades, nos processos fisiológicos que funcionam por conta dessas proteínas.
E2	A função dos ácidos nucleicos está relacionada ao armazenamento e transferência de informações dos organismos, são eles o código mestre ("a receita do bolo") de cada indivíduo. O funcionamento consiste em promover, por meio das suas informações, a síntese das proteínas que atuam na manutenção da vida.
E3	Armazenamento de informação genética, que pode gerar proteínas em inúmeras conformações distintas. Responsável pela síntese de desde características estruturais (como partes de células) como características fisiológicas (como na formação de hormônios e outras substâncias). Perpetuação da espécie, com o material genético duplicado e transferido para as próximas gerações. Respostas fisiológicas a partir de influência ambiental, como substâncias carcinogênicas que podem ativar ou desativar genes.
E4	A função dos ácidos nucleicos é guardar as informações genéticas e transferir estas hereditariamente contribuindo para a perpetuação da espécie e manutenção da vida através do controle das atividades celulares.
E5	Os ácidos nucleicos servem na construção da molécula de DNA, funcionando como instrutores do funcionamento do organismo em atividades para sua sobrevivência
E7	Os ácidos nucleicos têm diversas funções para a manutenção dos seres vivos. O DNA armazena as informações para a produção de proteínas, por exemplo, o RNA por sua vez serve para realizar os processos moleculares no interior da célula.
"Informação" pode ser entendida como uma unidade de comunicação. Quando informamos, estamos informando alguém sobre algo. No caso da informação genética...	
Quem estaria comunicando, isto é, quem seria o emissor?	
E1	O organismo, por meio dos ácidos nucleicos, em uma primeira instância. Contudo, se considerarmos mais profundamente a questão, podemos dizer que os primeiros

	emissores dessa informação seriam os progenitores, por meio da combinação de suas informações genéticas.
E2	O material genético (DNA e RNA).
E3	Qualquer lugar em que esteja a informação genética, seja no DNA e RNA celular, DNA mitocondrial, outras organelas, o cérebro ou estrutura similar, etc.
E4	Célula-mãe.
E5	O emissor seria o DNA
E7	Núcleo celular.
A quem estaria comunicando, isto é, quem seria o receptor da mensagem?	
E1	Os mecanismos de replicação genética, ou seja, o próprio organismo.
E2	O organismo como um todo.
E3	O receptor seria todo o meio que a informação genética influenciou de alguma forma: meio intra e extracelular, o ambiente interno e externo ao organismo.
E4	Células-filhas no momento da meiose.
E5	O receptor seriam as células
E7	Ao RNA.
O que estaria sendo comunicado, isto é, qual é esta informação, sobre o que?	
E1	As informações seriam a ordem que as formas dos ácidos nucleicos devem ser combinadas para formar as proteínas, que constituem a "peça básica" para o funcionamento do organismo.
E2	Quais e quantas proteínas devem ser produzidas em determinada situação.
E3	A informação envolve polipeptídeos, mudanças fisiológicas nos seres, a 'cultura' dos seres vivos (como um comportamento de um animal aprendido com os pais).
E4	Genes contendo informações genéticas do organismo, quais podem ou não ser expressas em seus fenótipos.
E5	A informação é proteínas, enzimas
E7	O material genético.

ENCONTRO 02 – 05/JUL/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

P – Pesquisador

O pesquisador havia solicitado que os participantes respondessem um formulário do google com perguntas sobre informação genética.

P: Vamos começar a discutir e ver se vocês se interessam por esse tema que também deve ser interessante para vocês. Então, queria começar pedindo para vocês compartilharem, sabendo que não existe resposta certa ou consenso, o que vocês responderam no formulário. Qual seria o emissor dessa informação, que informação é essa, quem seria o receptor, para nos engajarmos nas respostas dos outros, para concordar, discordar ou produzir novas sínteses. Podem pensar diferente agora, se vocês quiserem.

E4: Eu lembro que quando fui responder percebi que nunca parei para pensar nisso, sabe? Quando vi a pergunta... pensei “espera aí, nunca parei para pensar nisso”. Mas eu acho que eu coloquei alguma coisa de célula-mãe, célula-filha e a informação ser o próprio gene sendo passado.

E1: Eu lembro que eu tinha colocado duas respostas para essa pergunta. Na primeira, o emissor era o organismo por meio das células da informação genética, mas eu coloquei também que se a gente retroceder lá para trás, quem primeiro deu essa informação foi a união das informações genéticas dos progenitores. Porque a informação genética deles dois foi o que, junto, primeiro deu essa informação para como o organismo deve replicar essa informação genética. A informação genética seria a informação assim. O que eu coloquei, não lembro se foi nessa resposta ou em outra, foi que, na verdade, em última instância, tudo o que tem ali são um conjunto de formas, que podem ser combinadas de diferentes jeitos para formar estruturas diferentes que é o que faz com que o organismo funcione, que na verdade são as bases nitrogenadas e tudo mais que tem diferentes combinações, para formar diferentes proteínas, que são a base de funcionamento do organismo. Então, eu lembro que eu coloquei bem isso, o emissor seria o organismo em si, mas, em última instância, se a gente voltar lá para trás, seria a união das pessoas que geraram. E o receptor, eu coloquei que seria o maquinário de replicação celular do organismo. Então, a gente pode tanto encarar esse fenômeno como organismo falando com ele mesmo, e eles dando as informações de como se auto replicar e, também,

encarar como sendo a máquina de replicação aprendendo a replicar as informações lá da união dos dois gametas. Complexo, mas foi isso o catadão de todas as minhas respostas.

P: Então uma proposta é que o emissor seja a célula-mãe e o receptor a célula-filha. Era isso que você tinha falado, né?

E4: Eu queria acessar meu formulário direito para ver como que eu desenvolvi isso, porque eu não lembro muito bem. Mas eu lembro que, em algum momento, eu coloquei sobre a fita molde e a nova fita que é formada no processo.

P: E a proposta do E1, seria que o emissor seria o próprio organismo, a informação genética seriam as bases nitrogenadas e o receptor seria o maquinário da célula, ou o próprio organismo ou quem deu origem ao organismo que seria o emissor. Certo. E os demais, quais são as respostas?

E7: Eu pensei mais em nível molecular. Eu pensei no emissor como o núcleo celular. E aí dentro do núcleo estaria ali o material genético. Eu não sei se como a pergunta foi formulada porque eles citaram questão de célula, de organismo e eu pensei em um quesito molecular. Aí a informação eu acredito que seria o material genético em si. E a parte do receptor foi o que eu fiquei ainda tentando identificar porque eu não sei ainda quem seria. Acho que também pensaria em algo ali a nível molecular, de que seria alguma enzima, alguma proteína que seria produzida ali para gerar algum tipo de resposta à informação genética que está ali dentro do núcleo. Está meio confuso e mal formulado ainda, mas como estou desenvolvendo ainda, acho que seria mais ou menos isso que eu pensei.

P: Então no núcleo, a informação também seria o material genético.

E7: É.

P: Certo. E você, E2?

E2: Eu também comecei a pensar desse mesmo jeito, como se o material genético fosse a informação. Mas, na minha cabeça, o material é quem carrega a informação. No caso, ele seria o emissor, como uma conversa, né? A informação sai de quem está carregando para chegar em alguém que vai escutar aquilo, que vai aproveitar essa coisa, informação, para poder fazer alguma coisa ou não. Pensando dessa forma, eu parto do princípio que o material genético, o DNA, seria o emissor; a informação seria como se fosse durante a tradução de um códon para

virar uma proteína, sabe? Essa parte de formar uma proteína seria traduzir aquilo que o DNA está carregando em uma informação para um receptor que seria a própria célula ou um organismo em si, então alguém que fosse aproveitar a informação que o DNA está carregando ali, está fornecendo. Então é mais ou menos isso.

P: Uma proposta diferente. E4, você quer fazer mais algum comentário a partir do que você revisou?

E4: Eu acho que confundi toda. Eu ainda estou pensando.

P: Temos diferentes propostas. Tem uma pergunta que eu acho que fica pairando, que é a seguinte: informação genética é uma analogia ou é o fenômeno em si? Existe informação ao nível molecular? O que é essa informação? É uma metáfora para um fenômeno ou é um fenômeno? Talvez para a gente entender isso, seja interessante pensarmos o que é informação, não genética, apenas informação.

E2: É que eu acho que eu nunca parei para pensar o que é informação, sabe? Eu sei que as coisas possuem, existe informação, mas o que exatamente ela é, eu não sei. Quando a gente passa para o ponto de vista biológico, fica mais abstrato ainda.

E1: Acho que falar de informação de um modo geral seria características de alguma coisa assim, sei lá. Porque falar de informação, se eu for definir mais, eu vou definir informação como informação sobre alguma coisa. É muito difícil... características sobre alguma coisa. Sem pensar sobre uma parte biológica, senão eu vou bugar também. Mas se eu dou uma informação sobre uma notícia, eu dou características sobre algo que aconteceu, então um evento quem sabe, tudo mais, isso é informação: um conjunto de características sobre um evento ou alguma coisa. Eu diria que é isso.

E4: Quando eu estava ou estou aprendendo, essa palavra ela sempre me ajudou, quando “a célula conversa com outra célula, e tal, passa a informação”, essa palavra foi sempre uma metáfora para mim enquanto estudante. E ela fazia muito sentido porque eu conseguia perceber uma interação sistemática do organismo, mas eu acho que na minha cabeça eu nunca pensei na célula realmente passando uma informação. Acho que a palavra pra mim, seria interação. Elas interagem por meios químicos. Mas não sei se é um problema continuar com essa palavra, porque eu acho que ela torna muito mais simples o aprendizado.

P: Eu acho que o grande problema da fisiologia celular é que a gente estuda de uma forma linear. Parece que sai uma molécula de um lugar e vai direto para aquele receptor quando na verdade deve ser uma confusão dentro do citoplasma, da corrente sanguínea, do interstício.

E2: Muitas coisas acontecendo ao mesmo tempo.

P: Sim, um monte de moléculas se chocando. Ao acaso, uma encontra um receptor e se desencadeia um outro processo...

E4: Tem uma série que eu assisti na netflix e elas se perdiam no corredor assim do corpo. Era uma série sobre sistema imunológico e essa molécula era um personagem.

E2: Cells at work?

E4: Sim, aí essas moléculas se perdiam. É muito legal essa série.

P: Interessante porque desconstrói essa imagem que tem em livros de fisiologia, vegetal, animal, celular... tem até as setas, né? Sai daqui, vem pra cá, entra nesse ciclo.

E1: Isso é muito prejudicial.

E7: Mas também tem a questão da simplificação porque se não... Eu não sei de outra maneira que a gente poderia aprender se não fosse assim por esse meio linear.

E1: Senão a gente não ia ensinar genética molecular na escola.

E7: Não, eu não digo de tratar o conteúdo ou não, mas de como tratar, sabe? De fazer a transposição didática porque já são processos complexos, né? E com a linearidade a gente já tem muitos problemas de os alunos conseguirem se apropriar dos conceitos e de entender as reações tudo mais, justamente porque são processos muito abstratos e muitos deles a gente não tem como conhecimento de como se desenvolve mesmo dentro da célula e aí eu fico pensando, por exemplo, ontem eu estava tendo uma aula de imunologia e a gente estava vendo sistema complemento que são várias moléculas ligando e gerando umas reações muito doidas lá e isso acontece tudo ao mesmo tempo, né? E eu fiquei pensando se a gente tratasse todos os conteúdos acontecendo ao mesmo tempo, será que a gente conseguiria entender os fenômenos, eu não sei... dúvida que eu fiquei questionando.

P: Uma etapa necessária, né? Até porque, neurologicamente, a gente não consegue lidar com muita informação. E aí fica a pergunta: essa informação que eu acabei de falar, é a mesma informação que está no DNA? A gente tem até medidas de informação. Bits e Bytes são unidades de informação. Usamos essas unidades tanto para falar de informações armazenadas, por exemplo, no computador, no celular, em meio digital, mas a gente também usa essa palavra para falar sobre a quantidade de informação com a qual o sistema nervoso consegue lidar, por exemplo. Eu não sei como é mensurado, quando se diz que o cérebro consegue lidar com sete bits de informação por momento. A gente não consegue processar mais que isso ao mesmo tempo. É uma unidade média para seres humanos. Algumas pessoas são mais, algumas pessoas são menos. Mas existe isso, de a gente mensurar a informação que a gente está processando organicamente em um organismo, mas ela é medida. E o que é isso que está sendo medido? É uma pergunta que eu realmente não sei a resposta, de como fazer essa articulação. E às vezes a gente vê falando que o DNA tem tantos bits de informação, tanto é que existem pesquisas para substituir disco rígido por DNA. Porque a forma como o DNA compacta informação é muito mais eficiente que a forma como um disco rígido faz isso. E já tiveram casos bem sucedidos em que colocaram uma imagem codificada em bases nitrogenadas e depois um computador conseguiu ler.

Expressões de espanto.

P: Isso ocorre, então estão estudando. Por exemplo, a nuvem digital é um lugar físico. A nuvem existe, por exemplo, a base de dados do *Google* onde estão todas as informações armazenadas. Existe até mesmo a questão da poluição digital, realmente existe porque implica em que exista um local físico, material que armazena essas informações para que a gente acesse, que são supercomputadores, todas essas questões. E assim, fica nessas empresas e eles estão lidando com essas questões de que cada vez precisaremos de mais espaço para armazenar. Por isso começaram a estudar o DNA. Porque tem muita informação armazenada em uma molécula que é muito pequena, compactada em um espaço muito pequeno de uma forma muito eficiente. Estão estudando essas possibilidades.

E1: Mas eles colocam onde? Em um pen drive?

P: Não vou saber te responder.

E4: Em uma parte do corpo.

Risos.

P: É claro que não vai dar pra pegar esse DNA e produzir uma proteína a partir dele porque ele vai estar atendendo a outras finalidades. Mas já estão estudando isso. O que fica disso tudo pra mim, e agora eu estou participando do grupo com vocês enquanto participante de pesquisa também, estudando o que eu penso sobre, é de que existe uma dimensão de código associada com informação, sempre. E essa questão de conversão de linguagens, não sei quais palavras usar exatamente.

E2: É porque quando você usa a palavra código, eu não sei se por definição, mas você imagina que todo código carrega uma informação.

E1: Sim.

E2: E aí pensar que o DNA em si é um código, como se fosse... não é binário porque tem quatro... É um grande código com quatro letrinhas possíveis e a organização dessas quatro letras gera informações diferentes. Então seria nesse sentido também o uso da palavra informação. Porque tudo está em volta da informação, né? Código, receptor... Enfim, tudo isso pressupõe que tenha algo sendo passado adiante e esse algo é a informação.

E4: Não sei se eu sou fácil de convencer, mas eu estou convencida de que existe informação, de que informação é um fenômeno natural, mas aí também eu estou pensando que é a gente que nomeia as coisas, né? É a gente que chama de código, é a gente que chama de informação, então, talvez, assim, naturalmente não seja um fenômeno, mas a gente lida como se fosse.

P: Então o que estaria por trás da palavra se a gente fosse tentar ver?

E1: Um processo.

P: Que processo? E qual semelhança ele tem com outros processos que a gente descreve usando as palavras de informação?

E4: Para que aconteça processos precisa de informações sendo trocadas, né?

P: Como assim?

E4: Pensando nos processos biológicos mesmo, tem a troca dessa coisa que a gente chama de informação. Acho que talvez se eu tentar definir a palavra informação, não pensando no sentido [inaudível] ... tem esse encaixe, assim.

P: A palavra que você usou outra hora de interação, eu acho que é uma boa saída. Ou trocas, também... É troca de matéria e energia, né? Por que a gente começou a chamar de informação? Por que, por exemplo, quando a gente fala sobre metabolismo, sobre digestão, sobre o desenvolvimento do organismo, como a gente se alimenta, como a gente incorpora moléculas do meio e excretas essas moléculas, a gente não fala de informação, e quando a gente fala, por exemplo, a nível molecular dos ácidos nucleicos, a gente fala?

E1: Não sei.

E2: Será que é porque é em um nível que a gente não consegue visualizar? Não sei chutando... Porque quando ela falou nesses processos mais macro que nem a digestão, tem a parte micro e tudo mais, mas o resultado, o processo em si, é muito mais visível do que o que acontece dentro da célula, que é tudo muito abstrato, assim...

E1: É uma abstração... Será que abstração define informação?

E4: Talvez eu acho que a palavra informação tem sido usada porque quando a gente pensa nos processos biológicos que acontecem na gente, a gente não vê nada de novo, nada além da gente, aí quando a gente vê o organismo sendo gerado a partir de um outro organismo com os mesmo aspectos, parece que algo foi, tipo, contado. Eu acho que essa é a questão de ver o outro, de ser brilhante de ver, uma planta saindo de outra planta assim... Essa questão do estranho. E aí, estranho, distante, pensando na ponte e essa ponte chama de informação e quando está na gente, tipo... ah, a gente não [inaudível].

E1: Eu fico pensando também se tem a ver com a parte orgânica porque isso que a E2 falou de digestão, é tudo muito orgânico e a gente sempre está tratando de uma coisa orgânica, dos alimentos e tudo mais, só que a gente parar para falar de DNA, inclusive no ensino isso, quando a gente começa a falar de replicação do DNA, as coisas são muito mais químicas do que orgânicas, você aprende que tem a adenosina, a timina, a guanina e a citosina e uracila e elas têm ligados por pontes de hidrogênio e aí elas se ligam, se embolam e formam o DNA. O DNA vai ser replicado por um maquinário que é também um conjunto de proteínas, vai gerar também proteínas que vão dar o funcionamento do organismo, mas eu acho que, parando para pensar

agora, isso é muito mais visto como um processo químico do que orgânico, então, talvez, coisas orgânicas não sejam vistas como informação, porque fazem parte do organismo, aí eu não sei explicar direito.

E7: Mas o DNA não é orgânico?

E1: Então, ele é. Mas a gente vê ele assim? As pessoas são ensinadas sobre o DNA como algo orgânico ou como algo mais químico do que orgânico? Porque até o próprio nome, né? É um ácido, desoxiborrinucleico.

E4: Faz sentido e as outras coisas também envolvem processos químicos, né? Mas a gente vê como orgânico e aí essa questão do DNA...

E1: Sim... Não sei...

E4: Acho que é aqui então o problema, não sei.

P: Mas aí também tem a dimensão cognitiva da informação, né? Por exemplo, a comunicação entre animais. Não são processos químicos. São processos cognitivos, que envolve o processamento do sistema nervoso.

E7: Sim, mas o que você chama de informação, aí no comportamento animal, não...

P: Ou quando a gente pensa na aprendizagem mesmo, também acontece ao nível do organismo, quem aprende, é o organismo, quem processa aquela informação é o organismo. Não tem uma associação orgânica tão direta, né? Da matéria que é a informação.

E2: É que eu não sei se eu consigo pensar a informação como um processo.

E7: É, não consigo pensar...

E2: Eu acho que ela é alguma coisa em ato mesmo, não em processo.

P: É uma foto.

E2: É... Porque é a partir dela que vai, que eu desencadeio um processo, ou que eu... sei lá. Porque a função de uma informação é essa. É provocar alguma coisa, nem que seja inibir algo, mas ela vai alterar alguma coisa. Quando a gente conversar, eu não estou só jogando informação no ar, eu quero que você escute e interprete o que eu estou dizendo, porque precisa ter uma

troca, a informação que eu estou emitindo tem que causar alguma coisa em quem está recebendo.

P: Mesmo que seja só a vibração do tímpano.

Risos.

P: Achei interessante essa definição de que informação é alguma coisa que causa mudança.

E2: Porque senão, por que a gente iria armazenar isso, sabe?

P: Então dentro dessa concepção a gente poderia dizer que luz é uma informação para uma planta?

E7: Poderia.

E4: Mas aí informação também seria muito...

E1: Informação é...

P: Se for qualquer coisa que... estou provocando pra gente validar ou não uma definição.

E1: Algo que causa mudança?

E4: Então informação é um impulso? Um impulso porque é quando... Não mas não necessariamente um receptor vai agir diante daquela informação, né? Pensando na genética, tem ali informações genéticas, nem todas elas são expressadas através de um fenótipo, então não necessariamente... nem sempre... Mas pensando em todos os contextos, a gente, a gente recebe uma informação e não provoca nada, né?

P: Será? Que em alguma medida...

E4: Mas ela vai ficar armazenada para qualquer outro momento?

P: É, me parece que algum momento ela provoca uma alteração, por exemplo, sinapses, mudanças de sinapses. Mas aí então, informação seria quase sinônimo de um estado de energia e matéria.

E4: Ou um recurso para, em algum momento, mudar.

P: É, quando a gente fala assim, a gente elimina a necessidade da imediatez, né?

E2: Eu estava pensando em algo que fornece meio para ocorrer uma mudança? Tipo, é que, agora pensando, parece que sempre que tem uma informação acontece mesmo algum tipo de mudança. Mas é que eu não sei também a questão do que a E4 falou.

E4: Pensando também nos processos evolutivos, né? As mudanças evolutivas elas não são imediatas, mas elas... É como se fosse armazenando alguma coisa ali, uma memória, talvez seja essa palavra, memória.

P: Meu deus...

Risos.

P: O que a memória armazena?

Risos.

E4: Outra palavra...

E1: Eu fico pensando que ela falou que seria um meio para a mudança, mas eu acho que seria mais... A gente fala “propagação de som”, tem que ter um meio para a propagação de som, então, talvez, fazendo uma analogia com essa situação, informação não seria o meio, ela seria o som, no caso. Ela seria o que é propagado.

E4: Coisa, né?

E1: É...

E2: Por isso que eu falei que ela não seria um processo, mas sim algo em ato.

E1: Ela é a mudança, mas ela não é sinônimo de mudança, senão, é isso que você falou, seria sinônimo de mudança de matéria e energia.

P: Ela é o que causa.

E1: Sim.

E4: Sim.

P: Um possibilitador. Mas aí, por exemplo, agora pensando na memória... Por exemplo, uma abelha está voando e encontra uma flor. As abelhas têm memória nesse sentido, de lembrar onde tem uma flor. A flor é a informação. Vocês concordariam?

E1: Uma delas, né?

P: Uma informação que está ali, que pode causar uma mudança no comportamento da abelha.

E1: Uhum.

P: Como que essa informação se converte em uma memória para a abelha?

E2: Eu acho que talvez a flor não seja a informação, mas assim como acontece a comunicação entre os animais, a questão visual, a abelha visualizando a flor, essa sei lá, se estivesse escuro, ela não teria informação, mas a flor ainda estaria ali, entendeu? Então eu acho que é esse... Eu não sei explicar direito, mas assim, a interação da abelha com a flor forneceu para ela uma informação importante, na qual precisa ser armazenada para que ela possa acessar outras vezes, e aí isso eu jogo na memória. Mas não é a flor, é a interação da flor com a abelha.

E1: Eu acho que eu concordo em certo sentido porque eu acho que se a gente pensar lá na comunicação é um péssimo exemplo, a gente está estudando isso agora. Pensar a comunicação da abelha, eu fico pensando que a informação que fica armazenada na abelha, não seria flor em si, mas essa interação com a flor, assim como outras coisas que permitem que ela se situe que aquilo é a flor. Então tem o negócio lá da dança das abelhas que tem o ângulo em relação ao ângulo que a colmeia faz com o sol, também está falando lá que a gente está estudando isso, fala que ela mede a distância a colmeia e a flor pelo número de informações visuais, o número de componentes visuais que ela encontra, então talvez a flor não seja a informação que ela armazena, e sim a interação, junto com o ângulo que ela sabe o número de informações visuais, um conjunto de coisas.

E7: Mas aí, a interação seria um processo?

P: Exatamente...

E4: Eu penso que também a localização da flor seja uma informação, e é uma informação que depois que ela tem, ela armazena de alguma forma e também não é imediata, não é todo momento que ela vai na flor, ela vai em momentos específicos, então, se a informação fosse um

impulso imediato, toda vez que ela olhasse pra flor, ela iria até ela. É por isso que eu penso que tem esse meio termo, não sei se é tão imediato, não sei, esse impulso.

E1: Voltando lá um pouquinho, falando se a interação é um processo. Não... Talvez a interação seja... O que ela ganha quando ela interage com a flor? O componente químico ali que ela ganha... o pólen seria a interação, talvez? Não a interação, mas o que ela consegue na interação, conseguir o pólen é uma interação.

P: Mas aí depois, ela deixa o pólen lá na colmeia e ela lembra onde está a flor. Como?

E7: Aí entra naquilo que ele citou lá.

E1: É, tem o rolê lá do ângulo, e tem o rolê das informações visuais.

E2: Não, mas... Como? Como que ela está guardando essas informações...

P: É, materialmente, energeticamente, no corpo, matéria...

E2: Onde está a memória?

P: São as sinapses?

E1: Talvez.

E2: Eu acho que sim...

E7: Ela guarda na memória.

Risos.

P: Quando a gente fala a memória do computador. É o disco rígido. É matéria.

E2: Sim, uma peça, material.

E7: Então vai ser ali um componente do sistema nervoso.

E2: Mas assim... Eu acho que dá pra pensar como sinapse, porque a gente reforça sinapses para poder lembrar de alguma coisa. Por exemplo, o jeito que eu lembro o meu nome não é a mesma forma que eu lembro onde eu moro, sabe? Eu tenho uma memória mais forte associada a coisas que eu uso mais. Então, talvez seja uma questão sináptica mesmo. O quão você reforça aquilo.

Talvez se a abelha for na flor e depois nunca mais voltar, ela talvez não lembre. Ela esqueça porque não é uma coisa que ela está fazendo sempre. Mas aí varia de organismo para organismo.

E4: Eu penso que também essa interação da abelha com o pólen é natural, né? E aí, isso me faz pensar que a informação é um fenômeno natural, porque não necessariamente ela precisa... acontece esse repasse de um organismo para um organismo além daquele. Só que tem uma relação com aquele organismo que criou, né? E aí eu penso por meio da informação.

P: Quando a gente vai falando, eu percebo que parece que existe uma essência que é um conceito importante pra gente definir informação que é essa conversão, essa modalidade, passagem, parece que sempre está presente.

E4: Essa transferência, né?

P: Sim. De um para outro.

E1: Mas a informação não é informação se ela não for passada?

E7: É aquela questão do armazenamento que a gente estava...

E1: Ou o armazenamento é você passando informação para você mesmo? Porque em tese se for parar para pensar, esse negócio do reforço, reforço nada mais seria que você passando informação para você mesmo. Porque, que nem, lembrando da sua aula de neurobiologia, se a gente for fazer uma prática de recordação, nada mais é do que a gente pensando para nós mesmos: “o que a gente aprendeu?” e você fala “você aprendeu tal coisa, tal coisa, tal coisa”, é quase falando consigo mesmo.

P: Mas percebe que você converte sinapses em linguagem mediada em palavras?

E1: Sim.

P: Quando a gente lembra...

E2: É... eu estou transformando uma coisa em outra.

P: Sim. A gente não está... acontecem processos fisiológicos e esses processos fisiológicos possibilitam que uma outra coisa aconteça. Por exemplo, no caso de um disco rígido: está armazenado, mas o disco rígido em si não é informação...

E1: Se ele não for lido.

P: Se ele não for convertido em uma imagem, em alguma outra coisa.

E4: É interessante que quando a gente reforça pra gente mesmo, o jeito que a informação sai e chega, é diferente, né? Tem mudança.

P: Sim.

E4: Eu reforcei. Daí, como chegou, chegou de uma forma diferente, eu entendi um pouco mais, então tem mudança.

P: Ou um pouco menos.

E4: Ou um pouco menos.

Risos.

E4: Ou seja, a informação está ligada à mudança.

P: Há uma mudança em um sentido de conversão de linguagem que permite uma margem de mudança no conteúdo.

E4: Pode repetir?

P: Vou trocar as palavras. Com “mudança”, às vezes a gente usou essa palavra num sentido de conversão. De uma linguagem para outra. E aí eu entendi agora que com “mudança” você quis dizer que pode acontecer mudança no conteúdo. Quando a gente converte de uma modalidade para outra, pode ser que tenha uma mudança no conteúdo: que acrescente, que diminua, que tenha alguma alteração.

E4: Eu acho que não é nem em um conteúdo em si, mas é na assimilação dele assim, e como o organismo, a célula, não sei, a organela, ela vai lidar com aquela informação que chegou. Como se a informação fosse um movimento que impulsiona uma mudança.

P: Então seria não um processo passivo, mas um processo ativo.

E4: Ativo...

P: Uma reconstrução de algo que está sendo identificado.

E4: É. É isso mesmo.

E1: Uma expressão... Um código vai, sei lá, como se a gente fosse definir a expressão de um código, porque se a gente for parar pra pensar, o disco rígido lê o código, ele lê, a informação biológica, se a gente for falar de informação genética, é a expressão do código genético, em última instância, são as bases nitrogenadas, as estruturas químicas... Se a gente for falar de informação sei lá... Até informação da memória é um código que... da abelha, o código da abelha, distância é tal número de informações visuais, o ângulo que o sol faz e a interação que culmina com o pólen ali, então talvez a expressão de um código talvez seja aí uma tentativa de definição.

P: O que seria um código?

E4: Eu até pensei na informação entre a gente, a informação no sentido social, mesmo? É um código de linguagem, né? Então acho que código é uma palavra importante na definição de informação.

E1: Código talvez seria as peças que constituem a informação. Elas não são a informação em si, embora possa ter informação sobre elas, mas elas, juntas constroem uma informação. Ou não.

E2: Como letras em uma palavra. Cada letra é um código, mas conforme o organismo forma os códigos, eu consigo expressar uma informação diferente.

P: Existem duas possibilidades no caminho para a gente continuar essa conversa. Uma delas é que eu tinha uma hipótese de que a informação está sempre associada com uma base material, da matéria, mesmo. Mas eu fiquei pensando que quando a gente pensa que um código é o que possibilita a existência de uma informação, é a base de uma informação, parece que a gente se liberta de uma necessidade material para a informação, porque a gente pode passar a ter, por exemplo, uma dimensão cognitiva. É verdade que essa dimensão cognitiva ela vai depender, em alguma medida da materialidade... Mas ela não é a materialidade em si. Por exemplo, se eu ler uma palavra aqui, a materialidade disso é tinta num papel. Eu entendo essa informação porque existe um código cognitivo aqui, né? Que me possibilita fazer isso. Então isso é uma questão da associação da materialidade e informação. A gente concorda sobre isso?

E1: Eu concordo.

E2: Sim.

E4: Eu acho que uma definição geral, né? Que, até então, a gente não conseguiu encontrar uma exceção. Toda informação é formada por códigos e esses códigos vão mudar dependendo da área. Quando a gente está falando de processos químicos, esses códigos vão ser moléculas; processos sociais, esses códigos vão ser linguagem, mas em todos os momentos são códigos, né?

E1: E esses códigos estão ligados a uma materialidade, mas não necessariamente são uma materialidade.

P: A materialidade por si só não explica, mas para explicar um código, talvez em certa medida seja necessário recorrer à materialidade.

E4: A gente consegue ver na materialidade a expressão dessas informações ou o armazenamento delas.

Concordam.

P: Eu só vou mudar uma palavra. Eu diria que a gente consegue perceber, e, não, ver. Uma outra questão é o que permite a integridade da informação quando ela é convertida de um código para outro? O que garante que é o mesmo conteúdo de uma informação quando a gente muda de código? Por exemplo, o disco rígido passar para uma imagem. A gente mudou. É a mesma informação: o que estava no disco rígido e uma imagem. Ou, por exemplo, das bases nitrogenadas do RNA para a proteína. Mudamos a base material. O que garante ser o mesmo conteúdo, a mesma mensagem, a mesma informação?

E1: A mesma informação 100% não sei se é, porque o disco rígido transforma uma informação em uma imagem... A informação não é a imagem em si, ela é o conjunto de pixels que tem que ter... e você não vê isso na imagem. Você vê a imagem. Você não vai ver tal pixel está em tal lugar, quantos pixels são... Porque tudo isso seria o código, mas na imagem não.

E2: Eu não entendi... Tem que garantir isso?

E4: Eu acho que a gente pode considerar que não necessariamente, a materialidade não vai influenciar nessa informação, a materialidade pode ser o receptor, mas ela também pode ser o

intermediário para passar para uma outra coisa, e aí, a natureza dessa materialidade pode ser, pode influenciar no conteúdo dessa informação.

P: Sim. Dependendo da forma como a informação está sendo expressada, ela pode adquirir outros significados.

E4: Tipo quando você conta uma coisa pra alguém, e esse alguém conta pra outra pessoa, a forma que esse alguém conta não é a mesma, porque a natureza influencia...

P: Sim, concordo. E sobre o que o E1 disse, eu ainda estou pensando. Estava pensando em uma palavra que eu estava esperando chegar, mas acho que vou lançar. A informação é o padrão dos pixels, ou a informação é o que esse padrão significa?

E1: Eu diria que é o que significa.

E2: Mas é que aí o significado vai depender de quem recebe a informação e não de quem emite. Certo?

P: Dos dois, em certa medida.

E2: Hum...

E7: Mas daí seria o significado? Não o padrão.

P: Então quando a gente olha para o DNA, informação não seria o padrão, não seriam as bases nitrogenadas. E não tem problema não ser, podemos concluir que é inadequado usar a palavra informação para o DNA em determinada medida.

E1: Eu fiquei pensando em uma situação aqui. O DNA vai expressar a característica em um animal. Volta para a Etologia. Essa característica desse animal. Como ela vai afetar no fitness desse animal? Não é o padrão. É o significado disso, porque depende do meio, ok tudo bem, esta é outra questão de informação, mas o que essa expressão genética, que é o fenótipo vai influenciar ali, é o significado, não é o padrão, e é isso que afeta o fitness.

E4: Eu acho que como informação se trata de códigos, não tem que dar uma definição “informação é isso”, algo fixo, porque tem o emissor, emite códigos, e o receptor ele pode receber esses códigos, mas rearranjar esses códigos de uma forma diferente que o emissor emitiu esses códigos. Então, por isso que ela não seja fixa e nem imediata, porque o receptor

também pode escolher... É difícil que às vezes eu fico pensando em célula e parece que células têm decisões, é... pode escolher o momento para usar, não imediato e também não é fixo, porque se trata de códigos, então é maleável.

P: Às vezes a gente não pensa no significado da palavra imediato, mas eu acho que a explicação que eu vou dar converge com a sua conclusão. Quando uma coisa não é imediata, ela é mediada. Exige mediação. Então, seria nesse sentido dizer que a informação não é imediata, é porque ela exige uma mediação para que aconteça, uma atividade. Estou pensando que talvez definir informação seja tão desafiador quanto definir vida. Talvez a gente não vá conseguir dizer “informação é isso”. Talvez a gente consiga, talvez não, mas hoje, pelo menos, eu acho que a gente tirou algumas conclusões. Assim como a gente não consegue definir informação... usando uma analogia para explicar o que talvez seja uma analogia... Assim como a gente não consegue definir vida, a gente consegue definir algumas características de organismos, que são a forma pela qual a vida se manifesta, que são expressões de vida. Existe uma definição bem vaga para vida que é um processo emergente para sistemas complexos. É uma definição de vida. Um processo emergente de sistemas complexos. Talvez seja igualmente válido a gente tentar pensar informação. A gente não consegue definir o que ela é, mas a gente consegue definir alguns aspectos desses fenômenos que envolvem informação, como por exemplo, hoje a gente falou que alguns conceitos estruturantes para informação seriam: código, emissor e receptor, certa maleabilidade... é um consenso?

E1: Sim.

E2: Acredito que sim.

P: E aí eu vou voltar no que você tinha perguntado, E2: por que tem que garantir, o que eu estava querendo dizer com isso. O que garante a estabilidade de um significado? Por exemplo: o que garante que quando eu digo “casa” na mente de vocês venham imagens de casa e não venham imagens de um pássaro? O que garante essa correspondência, por exemplo, de que um códon vai ser aquele aminoácido e não outro? Parece que a gente só tem informação quando a gente tem uma repetição de um padrão dentro de uma faixa aceitável. Existe uma faixa de flexibilidade, mas, também, existe uma faixa do que a gente precisa, de equivalência entre uma linguagem e outra, senão a gente chama de erro.

E1: Então informação seria a verdade?

P: Ou correspondência?

E7: Correspondência é melhor.

Risos.

E4: Ou talvez a gente esteja tentando informação como informação e aí o que a gente achou já foi apenas alguns códigos dessa informação. E isso de ter novas possibilidades, não torna esses códigos errados, mas complementa.

E1: Fiquei pensando que talvez informação seria uma abstração. Porque, que nem quando a gente vai falar de átomo, a gente não pode ver, a gente tem abstrações, é como a gente tatear uma coisa no escuro, a gente nunca vai ver a coisa de verdade, mas a gente vai ter características sobre o que é aquilo, então a gente nunca vai saber o que é informação de verdade, mas a gente consegue saber características sobre ela.

P: Informação é algo que se converte. É uma repetição de padrões.

E1: Eu tinha falado na expressão de um código, então se for a expressão, não necessariamente, precisa ser o código. Aí não precisa ser o padrão, pode ser o significado. Porque a expressão pode ser dependente, não necessariamente ela é igual sempre. A expressão genética de um fenótipo num meio vai significar uma coisa nesse meio e outra coisa em outro meio. Então se a informação for definida como a expressão de um código, não o código em si, daí não necessariamente seria padrão, e sim significado, talvez.

E4: A informação seria o conjunto de códigos que podem ser rearranjados.

P: Como assim o conjunto de códigos? A equivalência entre os códigos?

E4: É. Tipo letras formando palavras? Aminoácidos, proteínas...

P: Seria a identificação de significados nos códigos?

E1: Significados?

P: Aparentemente, significado também é uma palavra importante para informação. Mas será que é sinônimo de informação?

E2: Eu acho que não. Eu acho que a informação em si, gera um significado. Mas não que ela seja um. Quando a gente, igual você fez a analogia de falar “casa” e a gente pensar em “casa”. O que é a informação no que você está falando? É a casa em si? Porque a casa que eu posso estar pensando, não é a mesma casa que o E1 está pensando.

E1: Mas é uma casa.

E2: Por isso a informação deixou de ser passada? Eu não sei se o sentido, que eu atribuo como casa é a informação, mas o que saiu de você, foi. Mas agora o que é... entende? Por isso que não dá também pra ser o significado, sei lá.

E1: Mas eu acho que se a gente for ver o significado, porque assim, quando você fala “casa”, a informação ali é que é uma casa. Pode não ser a mesma casa que eu penso que você pensa, mas é o significado do que é a palavra casa. Um lugar onde você vai morar possivelmente e talvez a gente pense em formas parecidas, mas talvez eu e você pensemos de uma forma totalmente diferente de uma outra pessoa, mas ainda é uma casa. Então, talvez, o significado do conjunto de letras que é um código de linguagem, que forma a palavra “casa”, o significado disso é informação. E não a junção das letrinhas. Porque também depende do contexto. Se eu falar “fulano casa com fulano”, eu não estou falando da mesma casa que a gente pensa em lugar de morar. Cada vez mais certo de que...

E2: Precisava de um mesmo conjunto de códigos para expressar uma informação diferente. Porque depende de outras coisas. Pra eu falar “casa” no sentido de casório, eu preciso utilizar outros mecanismos que garantam que eu estou passando a informação certa...

E1: Que aí é o contexto.

E7: Mais códigos.

E2: Mais códigos.

E1: Eu acho que aí é o contexto, seria a frase, no caso, o meio em que a informação se propaga.

E7: Mas, mesmo se você... Eu não acho que é o significado.

P: Candidatos para a informação seriam então: o significado entendido pelo receptor; o significado emitido pelo emissor; a palavra; ou as letras ou som?

E1: Que seria o padrão.

E4: Eu acho que informação não é significado. Porque, de novo, depende da natureza daquele que recebe vai gerar um significado a partir daquela informação, então, “casa” a gente pensa numa “casa”, né? E aí cada um pensa em uma casa diferente e se for estender ainda mais, um passarinho, uma cotia, vai pensar em outros tipos de casa e vai dar um outro tipo de significado pra isso.

E1: Eu acho que seria então algo no meio do caminho da emissão e da recepção. O que eu não sei, porque...

E2: Voltamos do começo.

E7: Eu concordo.

E1: Mas porque pelo que ela está falando, se eu falar pra uma cotia: “casa”. Se eu falar “casa”. Pra mim, essa informação tem um significado, para a cotia vai ter outro. E a informação está no meio do caminho.

E4: É por isso que informação depende dos códigos.

E7: Sim.

E2: Sim.

E1: Sim.

E2: Se a gente não utilizar o mesmo código a gente pode não estar transmitindo a informação.

E7: Exato, exato.

E2: Eu não consigo ler o DNA, mas algumas proteínas dentro de mim conseguem.

Risos.

E1: Mas tem informação ali.

E4: A gente não consegue sentir um feromônio de um animal que está passando aqui, mas um outro animal... ele consegue. É por isso que eu acho que a informação depende de quem emite, de quem recebe, mas em todos os momentos vão ser códigos.

E7: Sim, eu concordo e assino embaixo.

E1: Sim. Mas, então espera... Não seria os códigos em determinado meio... Porque, como a E2 falou, eu não consigo ler uma fita de DNA, mas as proteínas conseguem, então as proteínas seriam talvez o meio em que essa informação pode se expressar. E outras informações, por exemplo, como eu falar alguma coisa e ter duas interpretações, são meios diferentes em que a informação vai se expressar de forma diferente. Ainda é informação, mas então seria a expressão de um código, em um meio determinado. Então isso não seria só o significado, nesse caso, seria o significado em um meio determinado.

E2: Eu acho que pra mim, eu tiraria só a parte do meio assim.

E1: Aí é significado.

E2: A expressão do código é a informação. Essa expressão tem significado para quem fala, e tem significado para quem recebe.

P: Posso pedir uma coisa? Cada um de vocês poderia fazer um esquema de qual é a concepção de informação que vocês estão tendo nesse momento?

E4: Talvez a palavra seja contexto também. A informação ela depende...

E1: Do meio.

E4: É. Estou pensando até em palavras, uma palavra bem semelhante que aí precisa de formas totalmente diferentes, estados diferentes... Um mesmo significado para várias palavras diferentes.

P: Polissemias.

E4: Isso.

P: Podem usar palavras, mas façam conexões. Representem em uma imagem, com setas, triângulos, quadrados, círculos, flechas...

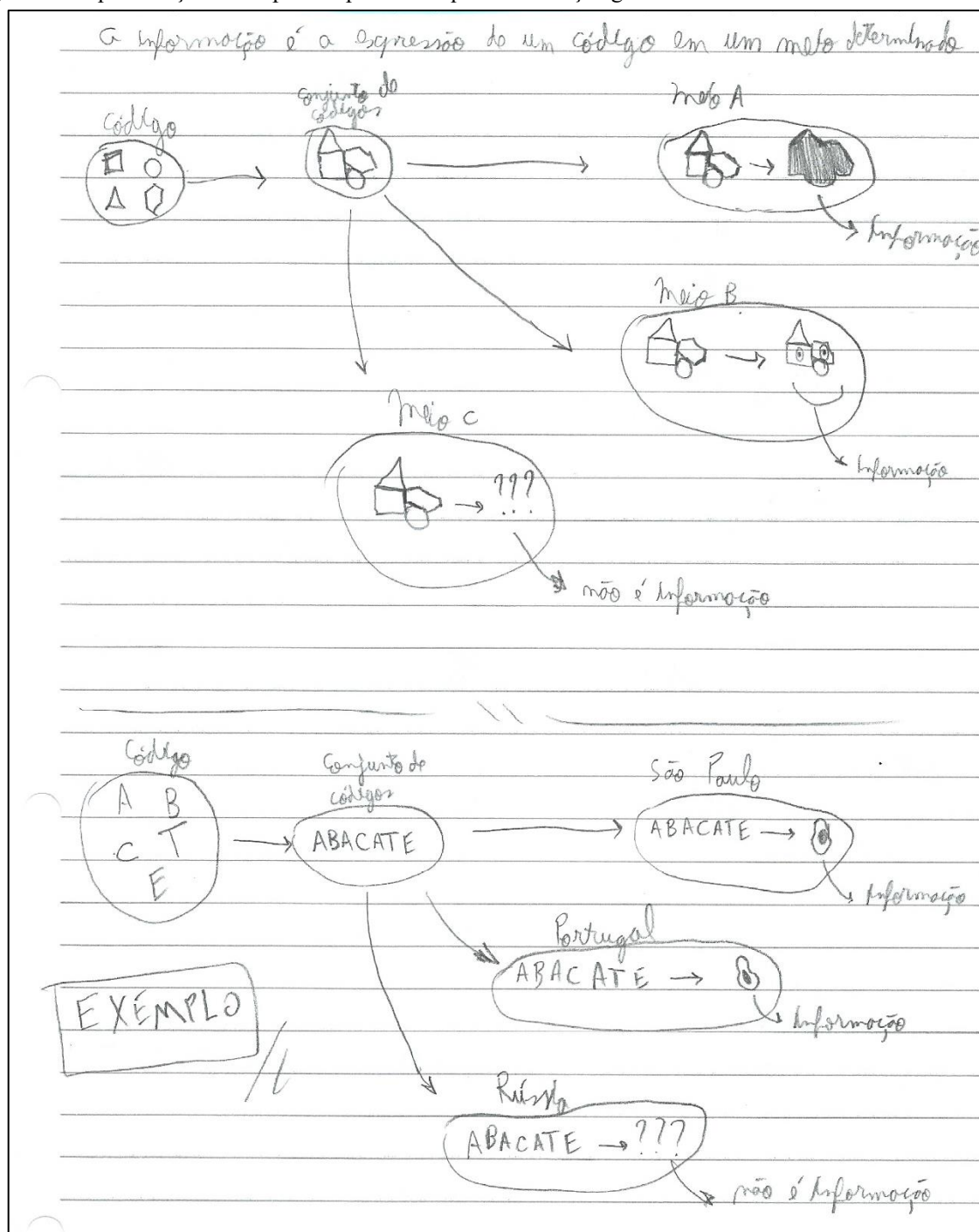
Explicação do esquema da E4:

E4: A informação é um conjunto de códigos. Tem o receptor que também pode ser um intermediário. Já não sei. O receptor eu pensei em intermediário quando ele vai provocar algum

efeito, mas se ele só parar... Eu preciso refletir melhor sobre essa parte. Dois tipos diferentes de receptores, então dois contextos, eu coloquei as palavras aqui pra ver se elas estão presentes no esquema. Dois contextos diferentes: triângulo e quadrado, eles reorganizam esse código, conforme o contexto e eles vão provocar efeitos diferentes: efeito x e efeito y. Aqui eu também fiquei pensando sobre essa seta: ela é transferência ou impulso?

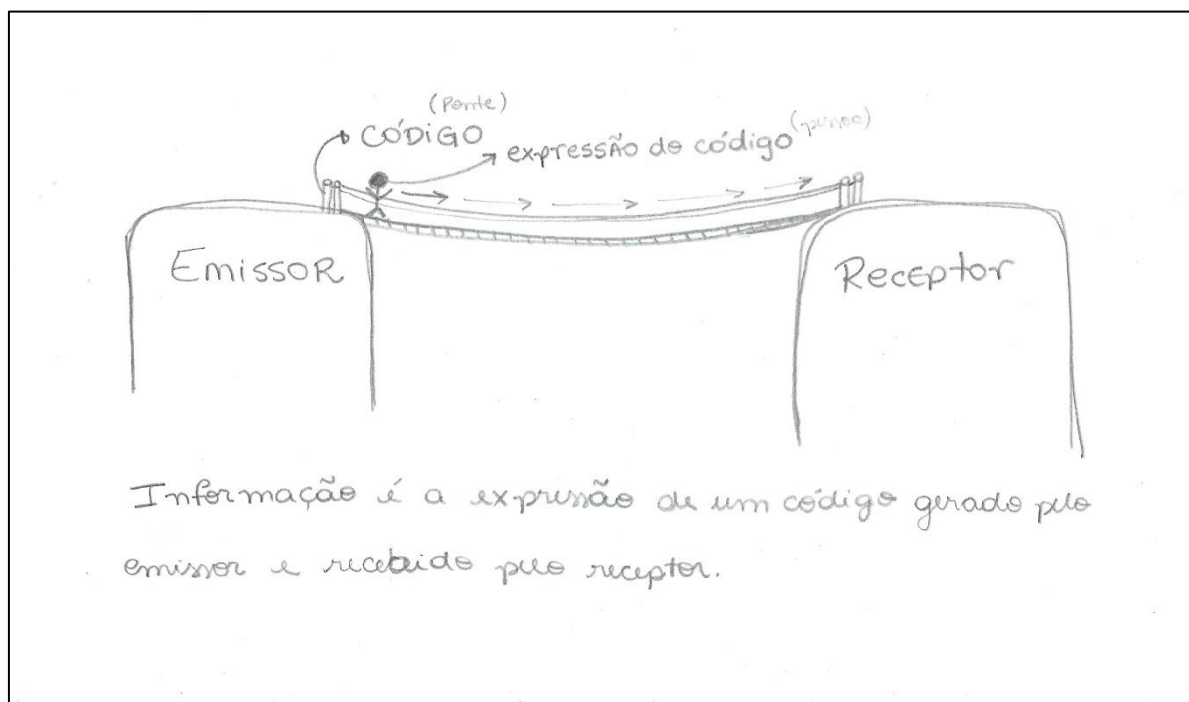
ENCONTRO 02 – 05/JUL/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES

Figura 12. Representação de E1 para responder “o que é informação genética”.



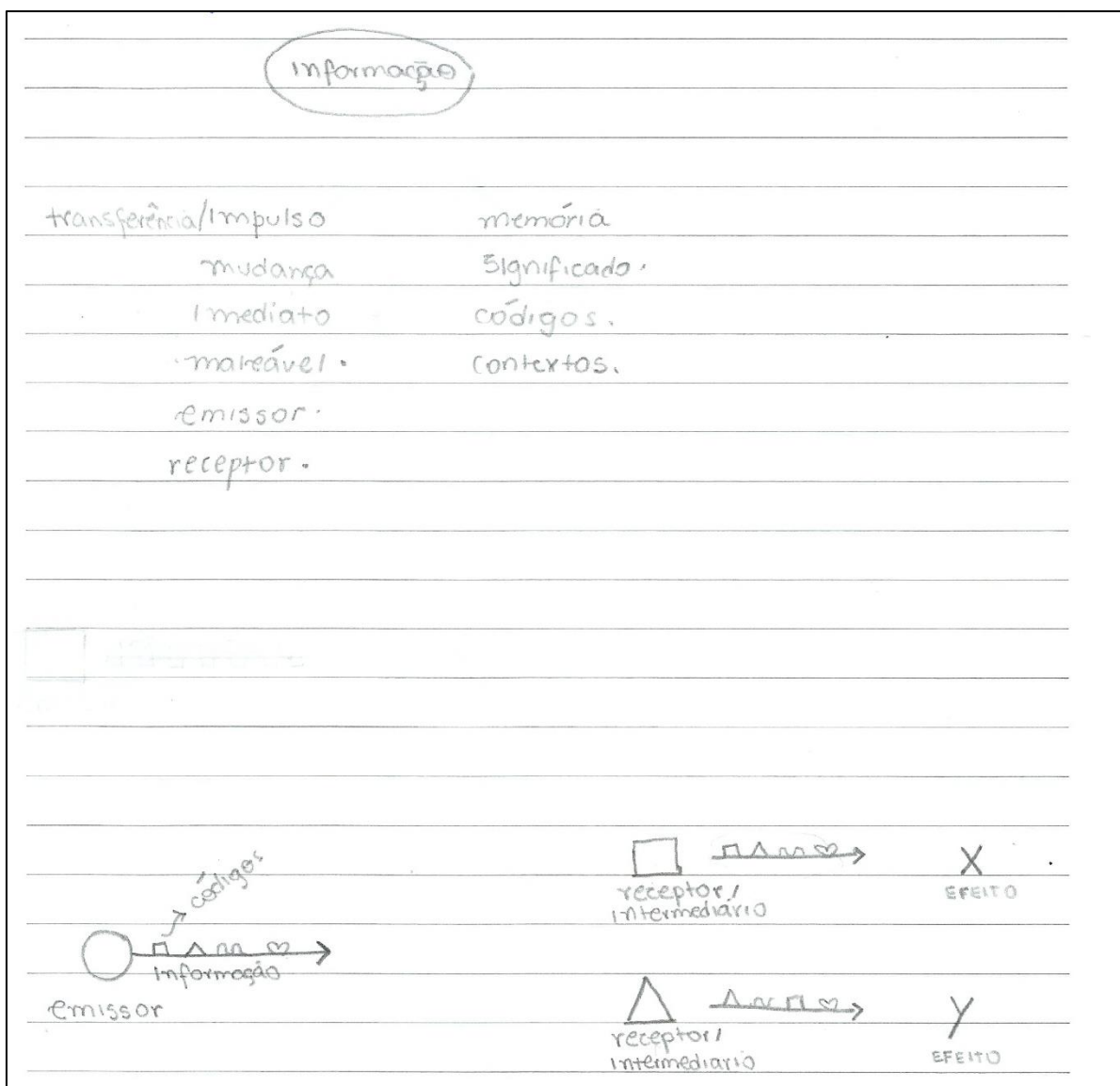
Fonte: Produzido por E1.

Figura 13. Representação de E2 para responder “o que é informação genética”.



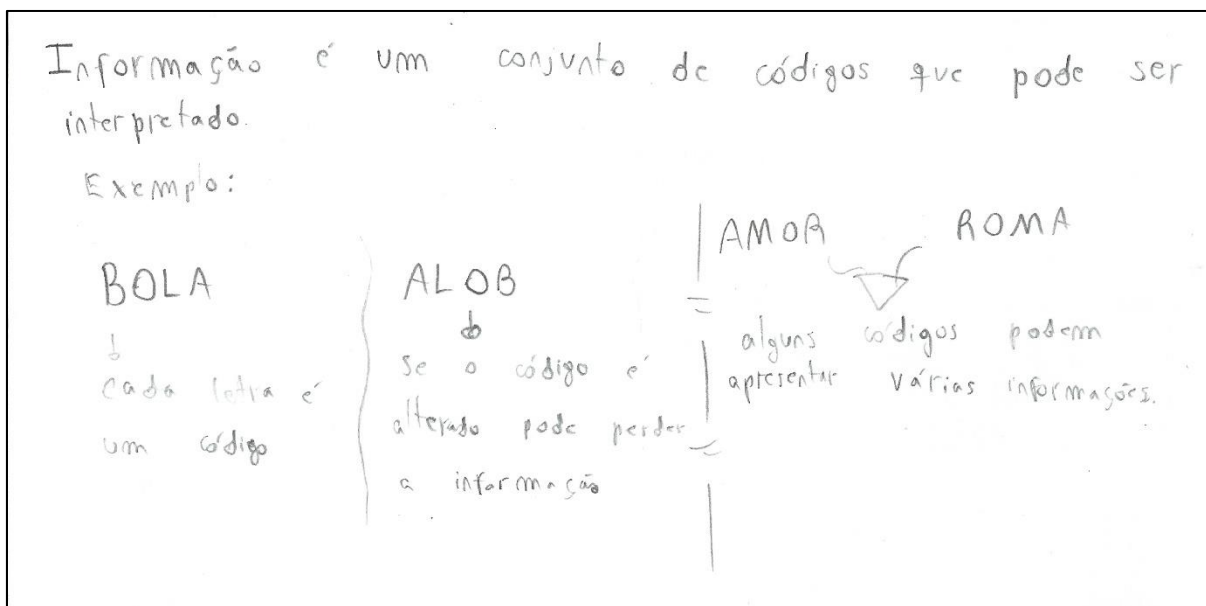
Fonte: Produzido por E2.

Figura 14. Representação de E5 para responder “o que é informação genética”.



Fonte: Produzido por E5.

Figura 15. Representação de E7 para responder “o que é informação genética”.



Fonte: Produzido por E7.

ENCONTRO 03 – 12/JUL/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

O pesquisador havia solicitado que os participantes respondessem a um formulário do Google com perguntas sobre informação genética. Alguns alunos que não estavam presentes no encontro anterior, responderam ao formulário neste encontro e o pesquisador fez uma breve recapitulação da discussão.

P: Estávamos conversando sobre quem seria o emissor, o receptor e qual seria a mensagem da informação genética. Vocês poderiam compartilhar o que colocaram nos formulários, por favor?

E10: Para mim, é difícil falar sobre genética porque eu não tenho facilidade com a matéria e também ainda não terminei o semestre. E aí não lembro mais o que escrevi.

E8: Eu lembro que eu coloquei alguma coisa sobre o emissor ser aquele que passa a mensagem, a informação ser acho que a proteína ou a molécula, ou nesse caso não lembro se a proteína era a responsável por ler a informação do DNA na hora de replicar, mas eu coloquei alguma coisa nesse sentido. E o receptor seria a proteína responsável por replicar a molécula de DNA, e a informação seria, então, a sequência de ácidos nucleicos que vão ser características de determinado organismo, então essa molécula que vai replicar essa primeira molécula, ela tem que fazer uma cópia fiel, tipo, uma cópia igual, coloquei alguma coisa nesse sentido, eu não lembro exatamente.

P: E o que seria a informação?

E8: Informação seria a sequência, uma sequência definida, é como se eu tivesse a sequência certinha que é característica de um organismo.

E3: Bem, eu acho que o emissor, acho que o mais óbvio que a gente normalmente pensa quando fala de informação genética, seria, de fato, o próprio DNA em si, claro, tanto do material genético que está no núcleo quanto de, eventualmente, outras organelas que a gente possa ter, mas, ao mesmo tempo, acho que a gente pode ter informações no interior ali do próprio organismo mesmo, que não necessariamente seja dentro do DNA, apesar de, normalmente a gente associar principalmente o DNA como a principal fonte de informação genética e, querendo ou não, o receptor, nesse caso, vai acabar sendo, também, inúmeras partes do corpo: então, tanto eventualmente no meio intracelular, como uma resposta como proteína gerada

eventualmente, mas isso também pode ter influência no meio extracelular também, em tecido e órgãos, então acho que vai incluir, basicamente, o organismo como um todo, né? Como receptor da informação genética, inclusive, também, eventualmente, como emissor mesmo da informação, o próprio ambiente também, querendo ou não, vai influenciar nisso também. Acho que também é um outro aspecto importante a ser levado em conta. Igual quando a gente pensa lá no exemplo da temperatura influenciar o sexo das tartarugas, o desenvolvimento, por exemplo, então a gente vê que o ambiente também vai ter uma influência ali na expressão de características genéticas. Mais ou menos isso.

P: Você colocou o DNA e o ambiente como emissores da informação. O que seria a informação?

E3: Eu acho que a informação genética vai ser além das próprias sequências de bases que vão poder ser organizadas de formas diferentes gerando diferentes tipos de proteínas, às vezes até a mesma sequência de bases, como também outro tipo de informação que não necessariamente estaria vinculada ao DNA, mas que seria informação que o indivíduo tem também e que é passada de geração a geração, igual o exemplo que eu cheguei a falar nas discussões sobre o canto dos pássaros, por exemplos, que são aprendidos de mãe pra filho, então essa questão de cultura animal, vamos dizer assim, também não deixaria de ser uma questão genética também, apesar de não envolver, necessariamente, a expressão gênica.

O pesquisador fala sobre a metáfora e sobre as categorias de “emissor” e “receptor” da informação. Dá exemplos sobre a informação genética e a informação computacional e pergunta se seriam a mesma informação.

E1: Eu não entendi a pergunta.

P: Estamos falando da mesma coisa quando falamos da informação na biologia e em outros aspectos em que existe informação na nossa vida: na comunicação, nas ciências da informação.

E3: Tenho a impressão que tem algumas semelhanças, mas, ao mesmo tempo, uma diferença grande que, pelo menos até onde eu sei na ideia da informática, a informação está ali armazenada, ela vai ser sempre lida da mesma forma, vamos dizer assim. Já no DNA, o conceito de informação genética como sequência de bases, por exemplo, uma mesma sequência de bases pode ser lida de várias formas. Então a informação, teoricamente, não seria sempre a mesma, dependendo de como você vai organizar os aminoácidos, quais aminoácidos vão ser expressos

ou não na hora da tradução, por exemplo. Então você pode ter com a mesma fita de DNA várias informações, várias proteínas diferentes ali no final. Então acho que essa seria a principal diferença em relação à informação na informática, que seria sempre a mesma. Mas, ainda assim, tem uma grande semelhança, porque a fita de DNA também tem... a partir daquela sequência de bases nitrogenadas que você vai conseguir obter algum resultado ali no final, como proteína.

P: O que você quis dizer é que se a gente pegar a mesma sequência de bases, dentro de uma célula vai dar origem a uma proteína, mas se fosse um computador lendo, não seria a proteína o resultado, seria, por exemplo, uma imagem, uma palavra. É isso? Que você disse sobre ser a mesma sequência mas serem informações diferentes.

E3: Não. Eu digo que seria diferente porque na informática, se você armazenou aquela determinada informação, ela sempre vai ser lida da mesma forma, seria algo até mais simples. No DNA, você não teria, necessariamente, a certeza de que aquela sequência de DNA vai ser lida sempre, vai ter como resultado a mesma coisa. Então na informática, você tem a imagem analisada, quando foi interpretada pelo computador, vai gerar imagem. O DNA, pela sequência eventualmente pode gerar aquela proteína que você quer, mas, se você fizer uma modificação de splicing alternativo, por exemplo, vai gerar uma outra sequência de aminoácidos, então a proteína vai ser diferente também.

P: Entendi. E vocês, concordam ou discordam do E3? Ou voltando para a pergunta inicial: a informação seria a mesma?

E8: Eu acho que eu concordo. Não sei se, acho que eu concordo em partes na verdade. Que assim, a questão de ser sempre a mesma informação, eu não entendo muito dessa parte no quesito computacional, mas creio eu que tenha algumas similaridades também com relação a falhas, que no caso das bases nitrogenadas seriam as mutações, alguns erros. Também podem acontecer na informática e isso faz com que modifique a informação, de uma certa forma, então eu concordo que tem sim variedade, eu não consigo achar nenhuma diferença, a não ser a informação final que é gerada. Eu só discordo dessa parte mesmo, de a informação ser sempre a mesma, porque eu acho que na informática está sujeita a erros, assim como na informação genética.

E2: Acrescentando um pouco, na informática temos diferentes softwares para ler diferentes informações. Às vezes eu tenho arquivo que eu não consigo com qualquer coisa, eu preciso de uma coisa específica para ler aquela informação.

E3: E o que significa isso? Não entendi.

E2: Por exemplo, no DNA. Não é qualquer coisa que vai interpretar o que está no DNA, assim como na informática também. Então, às vezes a gente tem um mesmo arquivo que pode ser lido de formas diferentes, pode ser lido com erro, pode ser lido do jeito que ele realmente é.

P: Eu não vou conseguir abrir um texto, por exemplo, em um software de imagem.

E2: É. Ou às vezes eu quero passar um arquivo aí aparece “não, você tem que mandar em .png” e ele não está em .png, está em .jpg.

P: Será que no domínio biológico a gente teria diferentes softwares?

E1: Acho que não.

E7: Por quê?

E1: Porque o software no caso que lê a informação é a maquinaria celular. E ela é assim em todos os organismos, não é? Eu sei que não foi sempre assim, obviamente como tudo na biologia, nossa maquinaria celular evoluiu, então era diferente, mas hoje em dia ela é diferente?

E2: Eu acho que entendi o que você quis dizer.

E7: Acho que sim, mas são as mesmas estruturas que produzem todas as informações dentro da célula?

E1: Não, mas a maquinaria de produção de proteína continua sendo a mesma, né?

Pesquisador continua questionando acerca de a informação genética e computacional serem a mesma e explica acerca da origem do código genético a partir de seleção natural.

E1: Aí a gente cai na definição de informação de novo. Enquanto você estava falando, eu só consegui pensar em informação de representação, como semana passada.

P: Você pode explicar para todo mundo?

E1: A gente estava discutindo o que é informação. Eu não vou lembrar a discussão toda, mas eu lembro um ponto que eu defendi. Estávamos tentando definir informação ao máximo que a gente podia e chegamos na definição que seria a expressão de um conjunto de códigos, alguma coisa assim. E aí, estávamos tentando definir se a informação seria o código em si, a construção desse código ou a representação dele. Porque o problema é que a gente tinha falado da informação da expressão do fenótipo, que em um ambiente pode significar uma coisa e em outro ambiente pode significar outra. Então, pelo que eu tinha entendido, a informação seria a representação da letra do código e não o código em si.

P: Vamos explorar. Seria representação no sentido de consequência? Quando você fala o que um fenótipo significaria em um ambiente pode ser diferente em outro ambiente. O que significa esse “significar”?

E1: Talvez seja consequência, pensando bem. É, porque eu só consegui pensar que você estava falando que o canto pode significar uma coisa para uma ave da mesma espécie, outra coisa para uma ave da outra espécie, então é a mesma informação ainda, porque, para mim, o canto da ave significa uma coisa que pra ela significa outra, então, até que ponto é a mesma informação? Porque ela começa a ter diferenças tão radicais, em um âmbito mais profundo delas que eu me pergunto se é a mesma informação de que estamos falando, ou se já não é outra informação, caso seja o significado dela, o efeito que ela tem. A gente estava até discutindo isso, que informação é algo que gera mudança. Então, eu fico me perguntando se é a mesma informação. Que é o mesmo conjunto de códigos sendo expresso, mas o que acontece a partir dali é tão diferente, que eu fico pensando.

E9: Talvez eu esteja meio caindo de paraquedas, mas acho que a informação é a mesma, mas essa mudança seriam mudanças diferentes para cada contexto. Seria uma mudança pra mim, uma mudança para outra ave.

E1: Então a informação seria o que, daí?

E9: Esse conjunto de códigos, mas é o mesmo.

P: A informação seria a manifestação? A manifestação de um fenômeno?

E9: É...

E8: Seria uma representação? O conjunto de fases que representa um fenômeno.

P: Vamos organizar o que estamos discutindo. O E1 falou sobre informação ser o significado. Sobre representação também, mas você usou representação no sentido de significado, né? De o que significa para quem está recebendo.

E1: É. Igual ele estava lembrando do desenho que eu fiz, seria o significado mesmo.

P: Certo. Quando a E9 fala de informação ser a mesma, eu sinto que você quis dizer que é aquilo que se manifesta. Por mais que seja entendido, por mais que tenha diferentes consequências, seria a mesma manifestação da qual estamos falando.

E9: Sim.

P: Em relação ao que a E8 disse, vou colocar em outras palavras e pedir para que ela confirme ou reformule, por favor. Eu entendi que você quis dizer que a informação é uma representação no sentido de que existe uma manifestação, mas isso está representando uma outra coisa que não está ali.

E8: Mais ou menos. Na verdade, o conceito de informação que eu tive a partir da discussão agora, é que seria uma representação de algo que existe. Então algo que existe, uma representação, um conjunto de dados que representaria esse algo que existe para ser garantido algo para alguma pessoa.

P: Você pode dar um exemplo de quando você fala da informação e da representação de uma coisa que existe?

E8: A representação, por exemplo, do fenótipo de um organismo seria, no caso, a sequência de DNA dele, seria o genótipo dele. Seria a representação genética do fenótipo dele. Eu entendi nessa linha.

P: Num sentido de que...

E8: No sentido de que tal representação está mostrando porque tal coisa é dessa forma, sabe? Representação mesmo. Por isso que eu usei a palavra representação.

P: Está explicando a causa, tem uma relação de causa e efeito ou tem uma relação de mostrar aquilo de uma outra forma?

E8: Causa e efeito.

P: Ok. E aí uma nova pergunta: Toda relação de causa e efeito vai ter informação envolvida? Informação vai ser uma relação de causa e efeito, mas nem toda relação de causa e efeito seria informação?

E8: Isso. No meu entendimento, sim.

P: Ou seria?

E8: É que é difícil você definir informação sem usar a palavra “informação”. Você vai querer definir a palavra informação e parece que vem a palavra “informação” para você definir. Então, eu fico tentando buscar outras palavras, mas acredito que nem todas as relações de causa e efeito sejam uma informação em si.

P: Então, qual seria a diferença?

E8: Bom, considerando que a informação é a representação de algo que existe, se algo existe e está mostrando a causa desse algo e efeito, talvez toda relação de causa e efeito seja, sim, uma informação. Está mudando de ideia.

P: Se eu chego aqui e eu vejo que o chão está molhado. Isso é uma informação de que caiu água naquele lugar.

E8: Certo.

P: Seria nesse sentido? Causa e efeito.

E8: Isso.

P: Então o chão molhado representa a presença em um momento anterior chegando até esse lugar.

E8: É.

P: Vocês concordam?

E4: Eu concordo e acho que a natureza do receptor vai influenciar na mudança que a informação provoca. Tem a informação, a informação provoca mudança, só que ela enquanto um conjunto de códigos, pode ser lida de diferentes maneiras dependendo do receptor, então você entra aqui e vê o chão molhado, vai provocar a mudança de você se afastar, aí em outra pessoa, vai

provocar a mudança da pessoa interagir com a água. Eu estava pensando quando você falou de comparar um computador com a maquinaria celular, tem uma célula, e aí chega uma informação: presença de um corpo estranho. Aí tem as organelas nessa maquinaria célula e aí são naturezas diferentes porque têm papéis diferentes. É a mesma informação que chegou, mas diante daquela informação, o lisossomo vai agir de uma forma, o complexo de golgi vai agir de outra forma, porque são receptores de naturezas diferentes. Na minha cabeça faz sentido que a informação seja um padrão, mas que ela possa ser lida de diferentes formas, dependendo da natureza do receptor.

P: Então você concorda com a definição da E8 de informação, que é a representação de uma relação de causa e efeito. E também temos a definição do E1 e da E9. Você concorda com a E8? Ou, para você, a informação não está representando algo que aconteceu, mas é aquilo que está ali.

E9: Eu concordo também.

P: Quando pensamos nessas duas possibilidades de definições, será que as duas poderiam ser válidas e entendidas como informação? Ou será que a gente fica com uma ou com outra?

E4: Mas, eu não lembro muito bem o que o E1 tinha dito sobre...

E9: Mudanças diferentes, né?

E4: Mudanças diferentes.

E1: Sim, que a informação é o significado que cada conjunto de códigos desencadeia. Eu fico pensando até em que medida elas não são iguais, quase a mesma coisa. Mas elas são de certa forma, parecidas, né? Não sei se eu entendi direito o conceito da E8, na verdade.

P: A gente tem falado sobre esses elementos quando a gente pensa informação: um emissor, alguma coisa que está sendo emitida e um receptor. Na concepção do E1, a informação é alguma coisa que acontece aqui.

O pesquisador estava se referindo a um esquema desenhado.

E1: Na verdade, eu colocaria ela no meio da seta.

P: Então a informação acontece aqui, nesse processo da interação desse com esse. Para a E8, a informação seria isso ou seria de onde isso veio?

E8: Seria esse elemento do meio. Porque como ele vai ser uma representação, ele vai explicar o que acontece no passo anterior.

P: Então é sobre alguma outra coisa.

E8: Isso. Que vem antes, mas ele é uma representação dessa coisa.

P: Para a E9, isso aqui é informação em si, ou é a informação sobre outra coisa também?

E9: Então, fiquei confusa agora também, não sei decidir o que eu acho. Mas antes de ela falar, eu achava que era essa coisa do meio, mas aí o que ela falou faz sentido. Então eu não.

E8: Porque se é representação, é representação de algo. Concorde?

P: Não sei.

E9: Mas aí pode ser tipo, aquilo por aquilo mesmo.

P: Mas aí, não é só aquilo.

E8: Eu fiquei com essa dúvida também.

E9: Mas aquilo quer dizer algo. Ou não, nem sempre.

P: Então tudo seria uma informação? É possível pensarmos assim, tudo pode ser uma informação.

E2: Ou tudo pode carregar informação. Não ser em ato, mas ter uma informação ali.

P: Aí, então, a informação seria...

E2: É que a informação, na minha opinião, depende de quem está emitindo e de quem está recebendo. Porque se eu considerar os dois pontos e for olhar só para o círculo, o círculo não é nada porque vai depender muito de quem está falando e de quem está ouvindo, então, para mim, a informação só existe quando estão esses três juntos.

P: Então a informação é tudo isso?

E2: Tudo isso. Ela está dentro disso aí.

E1: Eu pensei em uma coisa agora, mas vai fugir um pouco. É que eu lembrei de uma coisa que eu li em um livro uma vez, de um filósofo, que ele falava sobre uma teoria do reflexo. Ele falava, mais ou menos assim: que informação na verdade seria abstração, que é o reflexo da objetividade de alguma coisa na nossa mente. Então, por exemplo, a informação do chão molhado é o reflexo que a objetividade do chão molhado causa na nossa mente. Então não seria exatamente a materialidade, mas talvez a representação dela na nossa mente. Por isso que eu acho que tem alguma a ver tanto com quem está emitindo, quanto com quem está recebendo, então eu acabo concordando com a E8 e comigo mesmo porque depende das duas coisas. É o que livro não é sobre informação, é sobre o aprendizado, absorção de informação, mas eu acho que isso me ajuda a esclarecer um pouco do que seria. Não seria a objetividade em si, mas uma representação dela, um reflexo dela na nossa mente.

P: Isso que você falou me parece muito com a Fenomenologia e tem um nível de abstração muito grande e que não sei se todos entenderam. Acho que seria interesse só pra garantir se estamos falando a mesma coisa, alguém tentar colocar em outras palavras, ou eu tento e vocês validam se entenderam. Alguém quer tentar dizer o que entendeu daquilo que o E1 disse?

Silêncio.

P: Seria, por exemplo: quando eu olho para a cortina, a informação não é a cortina, mas é o que eu estou vendo, dentro de mim, na minha consciência. É o que aparece para mim na minha consciência, não a cortina em si.

E3: É a interpretação do cérebro. É isso?

E8: E não tem a ver com a parte material.

E1: A cortina em si você nunca vai entender pela objetividade, é sempre um reflexo na sua mente.

E4: No caso, então, é a subjetividade do receptor.

E1: É, tem um nível de subjetividade. É que a palavra subjetividade também carrega um outro significado, mas, sim.

E4: E aí quem seria o emissor no caso?

E1: O emissor é a matéria, o mundo objetivo. Acho que eu confundi mais ainda.

P: Quando a gente pensa no emissor, pensamos em causas?

E4: Eu penso em objetividade mesmo, o emissor quando emite uma informação... Mas agora não quero pensar na cortina, esquece a cortina. Quero pensar na informação de uma célula tentando mandar alguma coisa para outra célula. Ela tem um objetivo e aí o receptor dependendo do receptor, na subjetividade dele, ele vai receber de formas diferentes. Mas agora pensando na cortina, não sei.

E7: É estranho sair do contexto biológico.

E2: Mas eu acho que faz sentido, sabia? Por exemplo, assim, a célula não tem um olho para direcionar, como, por exemplo, agora estou falando com a E4, então eu tenho que emitir alguma coisa que, teoricamente, todo mundo vai receber também, por exemplo, células do sistema imune se comunicando, por exemplo, ela está falando com a outra, não está verbalizando, mas está transmitindo uma informação ali para outra em específico.

E1: É que aí não tem subjetividade, são coisas que operam no mundo objetivo, são células.

E2: Sim, mas o que eu quero dizer é que tipo, várias outras células podem estar interagindo com essa que está tentando passar um sinal só para o linfócito, por exemplo.

E4: Eu acho que no mundo biológico não caberia a palavra subjetividade, eu pensei na particularidade, na funcionalidade daquela célula, como uma célula do sistema imune que vai receber diferente do que uma célula muscular.

P: Em outro momento, você usou a palavra natureza para falar isso.

E4: É. Era disso que eu estava falando. Da funcionalidade mesmo.

E1: É que aí eu acho que tem uma diferença da informação que opera nas células e como a gente entende essa informação, como a gente interpreta que uma célula está transmitindo informação para outra. Aí sim eu acho que são duas coisas diferentes.

P: Como assim?

E1: A gente pensar em um fenômeno de comunicação celular, nesse caso eu acho que tem esse nível de reflexão do mundo objetivo na nossa mente, da subjetividade, porque somos nós, que

temos um pensamento, estamos interpretando um fenômeno biológico. Agora, a informação que é passada de uma célula a outra no processo de comunicação celular são duas informações diferentes. Como eu entendo o processo é uma informação totalmente diferente do que acontece no processo em si.

E7: Você está querendo dizer que nas células, é o fenômeno informação, e a gente é a metáfora.

E1: Isso, basicamente.

E7: A forma como a gente interpreta é a metáfora.

E4: Então, volta para a pergunta inicial: se na célula é o fenômeno ou a metáfora. No começo eu estava pensando que informação era uma metáfora para a gente explicar, mas é metáfora para a gente, mas, para a célula em si é um fenômeno. É isso que você está falando?

E1: Sim.

E7: É.

E4: É, gostei disso.

Risos.

E7: Não sei se concordo ou discordo. Talvez concorde ou discorde.

Pesquisador questiona o que estaria sendo comunicado em interações celulares.

E1: Que uma está emitindo uma molécula que acaba causando uma reação na outra.

E8: Uma interação? Não sei?

E2: Uma relação de causa e efeito. Aquilo causou e a gente viu o efeito daquilo, então a gente faz isso mexendo nisso. É linear.

P: Eu sinto que seja isso também. Causa e efeito, interação. Mas aí a gente volta dentro desse ciclo: sempre que existe interação, existe informação? Se a resposta for sim, então o fenômeno é informação. Se não, se nem toda interação é informação, então, é metafórico. Mas é interessante chegarmos nesse ponto porque já é um critério para definirmos ou não.

E4: Pra mim parece que a informação pode estar presente, pensando de uma forma linear agora, não bagunçada, parece que a informação está aqui, depois ela... Hoje eu estava vendo que aí estava voltando a discussão da semana passada e eu estava ficando maluca, ‘não posso pensar nisso agora, preciso aprender esse processo, esquece a informação’, mas quando os mastócitos têm contato com algo estranho, como um grão de pólen, aí eles vão desencadear e lançar mediadores químicos para ativar outras células e aí eu penso se grão de pólen é uma informação para o mastócito. Esse mediador químico também é uma informação que ele lança para quem vai receber. E aí vai continuar ainda todo esse processo. E parece que a informação não tem um lugar certo em que ela está. E agora eu já discordei de mim. Antes, aquela bolinha do meio para mim era a informação [referindo-se ao desenho], só que agora eu penso que pode ser a seta, depois pode estar na mudança que ela vai provocar.

P: A informação é sempre o meio? É sempre o recorte de um momento?

E4: Se a gente volta na cortina, ela também é algo materializado.

E1: Agora eu to começando a achar que é metafórico. Porque a informação depende de cognição, né? O que eu fiz? Porque se a gente parar para pensar os processos que ocorrem, por exemplo, com a célula ou com algum processo biológico, eu acho que, como a E4 falou, a informação está no meio, mas ela pode ser a seta, pode ser a bolinha, mas isso depende de... A gente que está interpretando a informação, porque a gente tem cognição, a célula não interpreta nada. Ela usa aquela molécula que serve como um sinal que chegou pra ela e isso vai desencadear alguma coisa no mecanismo celular. Mas ela não está interpretando exatamente aquilo.

P: Qual é a diferença de uma interpretação mediada por cognição e uma simples interação entre moléculas?

E1: Eu acho que a interpretação mediada por cognição pode variar, talvez essa seja uma diferença. Tem mais de uma, mas uma delas é que talvez ela possa variar. Então o fato de a informação poder ser a seta, a bolinha ou outra seta é uma coisa que pode variar na cognição. Já a informação num nível biológico, não que seja direcional, mas ela vai desencadear um processo. Ela pode ter, por exemplo, três processos que ela pode desencadear, mas ela vai desencadear um deles.

E8: E se ela desencadear algo novo?

E1: É uma possibilidade que existe no material. Para a gente, não. Porque ser uma coisa nova é uma característica de nós não conhecermos aquilo e passarmos a conhecer. Não é uma coisa que nunca existiu como possibilidade ali. É uma contingência. Não é aleatório. Se nunca aconteceu antes, mas está acontecendo pela primeira vez, ela sempre esteve incluída nas contingências, só que nunca tinha chegado a acontecer. Agora, quando a gente interpreta esse fenômeno, a cognição faz com que a gente possa mudar, descobrir algo novo, por exemplo, é uma possibilidade nova que a gente não tinha pensado antes.

E8: E a cognição não quer dizer que você vai ter a mesma conclusão que eu. Porque tem interpretação, cada um tem a sua.

E1: Exato, sim. Embora exista uma verdade objetiva.

E8: Certa linha de raciocínio das pessoas.

E4: Aí eu acho que de novo volta naquilo da natureza do receptor. Eu estava pensando nesse processo, voltando nesse exemplo do mastócito. Um grão de pólen vai ser uma informação para o mastócito. Mas ele não vai ser uma informação para uma célula muscular, por conta da natureza daquela célula. Eu imagino um grão de pólen em uma célula muscular. Essa célula nem lê aquilo. Acho que agora ficou muito abstrato para mim, mas eu acho que a informação depende diretamente do receptor.

P: Eu acho que existe uma diferença entre esse fenômeno que estamos falando e o fenômeno que envolve cognição que é o nível de organização biológica. Quando estamos falando a nível molecular, nós estamos falando ao nível de células, quando estamos falando da informação mediada por cognição, nós estamos falando ao nível de organismo. Será que é a mesma coisa, então? Porque nesse caso, por mais que dependa do receptor, receptores de mesma natureza, conseguimos prever que eles vão ter as mesmas reações. Eu sei que a mesma molécula vai poder causar coisas diferentes dependendo de onde ela chega, mas eu sei que sempre que ela chegar em um mastócito, vai acontecer uma reação esperada. E parece que essa certeza diminui quando aumentamos o nível de organização. Eu não sei exatamente o que vai acontecer quando eu mostrar um texto para vocês, ou uma imagem.

E8: Acho que eu concordo com isso, porque conforme você aumenta o nível de organização, o número de possibilidades de interações aumenta também. Então não tem como prever qual interação em específico vai acontecer.

P: Até porque aumenta o número de interações em um nível inferior.

E9: É, isso que eu pensei.

E2: É extremamente mais complexo.

P: E o que a gente faz com essa conclusão agora?

Risos.

E2: Mas essa informação cognitiva precisa ser a mesma informação celular? A gente não está tratando de duas informações diferentes?

P: Eu acho que a pergunta que fica é: nós podemos chamar esses dois fenômenos de informação? São informações em diferentes níveis e por isso têm diferentes efeitos, porque informação nesse caso seria entendido como sinônimo de interação. Ou não?

E2: Acho que dá pra substituir por interação nos dois casos. São interações diferentes, mas ainda assim não ficaria errado.

E1: É, no caso do desenho, a informação seria os três: a bolinha, a setinha e ...

E8: E a informação mudaria dependendo de quem fosse o emissor e quem fosse o receptor.

P: Agora uma questão bem espontânea que fica para mim é que parece que interação envolve dois elementos, enquanto informação envolve três. Que seriam o emissor, o receptor e isso que está sendo mediado, esse elemento terceiro. Enquanto interação parece que pode ser dois: por exemplo, só do emissor com a informação, ou objeto, a mensagem, ou só do receptor com isso. Por exemplo, eu interajo com a cortina, o mastócito interage com o grão de pólen, mas quem seria o emissor do grão de pólen? Não necessariamente seria uma informação, seria uma interação. Parece que temos mais segurança para dizer que é uma interação do que uma informação.

E4: A informação depende da interação para que ela exista.

P: Sim, mas elas não são sinônimos?

E1: Eu acho que a interação poderia incluir três, não poderia? Tem o fato que pode ser um objeto, um acontecimento; tem a informação que é o meio; e tem você assimilando isso, que é

o receptor. Então, o fato ou o objeto, não é a mesma coisa que o processo de transmissão dele. No caso, a cortina está se transmitindo para você. Ela é o emissor e a informação ao mesmo tempo.

E4: Se não tivesse interação, seria só uma cortina. Se não tem interação com um outro organismo, não é uma informação, só é.

E1: Sim, porque, por exemplo, a cortina está se transmitindo para você. Possíveis informações envolvidas nisso: a cor dela, a forma dela, o jeito que ela está disposta, o jeito que a luz bate nela. Isso está tudo no meio.

E8: O complicado é porque a palavra interação parece que ela deixa subentendido uma relação entre dois organismos só, só que se você pensar a interação mesmo com um organismo e muitos outros, só que quando a gente fala em interação a gente pensa obrigatoriamente em dois ou em duas coisas interagindo, mas não...

P: Eu acho que isso está relacionado com a questão da tendência do pensamento humano ser binário, mas os fenômenos são complexos. Antíteses.

Pesquisador propõe a leitura do texto “Information as thing” de Buckland (1991) e o grupo inicia a leitura juntos. O pesquisador vai sistematizando as ideias discutidas ao longo do encontro com a estrutura teórica proposta no texto.

E4: Então quer dizer que a própria palavra informação não tem consenso do que significa?

P: Sim.

E8: Então, nesse caso, quando você fez a pergunta inicial seria com relação à informação em um contexto biológico, certo?

P: Sim.

E8: Então, nesse caso, cheguei à seguinte conclusão agora, pode ser que eu mude de ideia, mas concluí que talvez a palavra informação seja utilizada de forma metafórica no contexto biológico, já que informação não tem uma definição estabelecida.

E1: É uma polissemia.

P: É uma polissemia. Dentro dessa polissemia, algum uso é metafórico e algum uso é o fenômeno em si na biologia? Um exercício que seria interessante de fazermos agora, seria uma pesquisa de definições de informação. Diagnosticamos ser uma polissemia. Vamos ver, então, quais são os significados possíveis da palavra informação, tentar produzir uma lista ou glossário desses significados e ver qual deles nós estamos utilizando dentro da biologia. Se é mais de um ou não. O que vocês acham?

Concordam. Acordam em começar a pesquisa pela leitura do texto de Buckland (1991) e fazer uma lista das definições de informação.

E4: Acho que foi esclarecedor porque a gente está tentando encontrar um consenso de informação ser apenas uma coisa e aí quando a gente mudava o nível de complexidade, às vezes a gente estava tratando informação como um processo, porque estávamos falando de células, e depois informação como coisa, quando estávamos falando do nível maior e acho que foi aí que a gente ficou fritando porque tudo fazia sentido dependendo do nível de complexidade, né? Agora ter essas três vertentes parece que acomoda mais.

P: Sim, parece que sistematiza o que temos discutido. Não é um problema que existam várias definições, mas é importante que a gente saiba exatamente o que cada uma delas quer dizer e se existem incompatibilidades entre a transferência de alguma definição de informação num contexto geral para um contexto biológico. Então, estamos lidando com o fato de que informação é uma polissemia. Nesses significados possíveis, existem aspectos incompatíveis na biologia? E depois pensar as implicações para o ensino. Se na prática científica e filosófica já está sendo um problema, colocar isso no ensino, será outro problema.

E1 propõe a leitura de outro texto de Capurro e Hjørland (2007).

DESENVOLVIMENTO

Encontro 06 – 09/AGO/2022: Transcrição da gravação

Encontro 06 – 09/AGO/2022: Representações dos estudantes

Encontro 08 – 03/OUT/2022: Transcrição da gravação

Encontro 09 – 10/OUT/2022: Transcrição da gravação

Encontro 08 e 09 – 09 e 10/OUT/2022: Representações dos estudantes

Encontro 10 – 17/OUT/2022: Transcrição da gravação

Encontro 10 – 17/OUT/2022: Representações dos estudantes

ENCONTRO 06 – 09/AGO/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

No encontro passado, os participantes haviam acordado de ler o texto de Capurro e Hjørland (2017).

P: Gostaria de começar o encontro de hoje pedindo para que vocês, primeiro, individualmente, pensem no que vem à mente agora nesse nível da discussão em que estamos quando pensamos em informação genética. Pensem em palavras, expressões, processos ou objetos que vêm à mente de vocês quando falamos em informação genética. Vou dar um tempo para vocês escreverem e depois compartilhamos.

(Tempo para os participantes escreverem).

P: Alguém gostaria de começar compartilhando? Mesmo que sejam palavras soltas, frases, imagens, esquemas.

E6: Eu posso começar porque eu não estava nos últimos encontros, então talvez vocês tenham discutido algumas coisas e alguma coisa mudou, mas eu acho que a minha ideia de informação genética, ainda que eu não tenha muita certeza, eu acho que ela não mudou muito desde que a gente definiu na primeira vez, na época eu e o E3. Seria algo relacionado com determinação de característica que seja passível de transmissão vertical, acho que dá pra resumir assim.

P: Então, determinação de característica passível de transmissão vertical. *(Anotando na lousa).*

E6: Não. Passível de transmissão na verdade, né? Porque uma transmissão horizontal entre procariontes seria informação genética também.

P: Quer acrescentar alguma coisa?

E6: Não. Eu acho que se fosse tentar colocar em uma frase curta, talvez fosse isso.

P: Beleza. E vocês?

E1: Eu pensei nas palavras “código” e “expressão”.

P: Mais alguma coisa?

E2: O meu entraria também em expressão, mas eu pensei mais em processo. Informação como um processo de, sei lá. Transcrição? Tradução?

P: Transcrição e tradução?

E2: Isso.

P: Mais alguma coisa?

E7: Eu pensei em código também.

E6: Posso trocar ali?

P: Pode.

E6: Determinação de característica passível de transmissão dá a entender que eu estou me referindo à característica, mas eu quero me referir ao fator de determinação, então eu acho que eu trocaria por “determinante passível de transmissão”. Não sei se eu me fiz entender. Tipo assim, determinação da característica passível de transmissão eu não sei se estou fazendo a análise de gramática errada, mas passível de transmissão me parece que “passível” é um adjetivo do termo “característica”, quando na verdade eu quero que o adjetivo “passível de transmissão” seja um adjetivo de um sujeito oculto: um fator de determinação de característica passível de transmissão. Eu acho que talvez faça diferença, estou pensando.

P: Se eu acrescentar aqui “por um fator” te contempla?

E6: Acho que sim.

P: Mais alguma coisa que vem à mente quando pensamos em informação genética?

E6: Na verdade, desculpa o preciosismo, mas eu concordaria com essa definição, mas aí eu volto na mesma coisa, que foi algo que eu e o E3 ficamos pensando, que são os dois lados da informação genética. Então, a determinação de uma característica por um fator passível de transmissão, sim. Eu acho que se refere a um processo, que é o termo que a E2 usou. E o próprio fator seria a informação genética. Então, talvez seja a determinação de característica por um fator passível de transmissão, ou o próprio fator. É o mesmo ponto em que a gente chegou naquele dia, que a gente tentou ser sintético e não conseguiu unir esses dois lados em algo único. Não necessariamente que isso seja um problema, porque discutindo informação genética ou

informação de um modo geral eu sempre concordei com as ideias do artigo de que o termo deve ser contextualizado e que não necessariamente precisa ter um significado único porque é muito complexo o que estamos tentando, né? Ou o que se faz com essa palavra. É um contexto muito específico, então, eu acho que é natural e talvez seja até importante essa polissemia.

P: O processo que eu estou propondo que a gente faça é o seguinte: pelas discussões que vimos, informação é uma palavra problemática, tanto fora do contexto biológico, quanto dentro dele. Embora seja problemática, é uma palavra que é muito usada na Biologia em livros didáticos, nos discursos de professores e estudantes, em comunicações da mídia. Então é uma palavra que está presente em diversos níveis do conhecimento dentro da Biologia. Já que ela está sendo usada, então ela significa alguma coisa. Como precisamos ter um certo rigor científico na linguagem que utilizamos, tanto na comunicação científica, quanto em contextos de ensino, é importante termos clareza do significado desta palavra, seja ele metafórico, seja denotativo, precisamos dar um significado. Existem diversos significados para informação genética, então a gente deve tentar encontrar um que faça sentido pra gente, ancorados em critérios que vamos definir. Então, uma vez que a gente identificou que estas são as ideias relacionadas com informação genética: uma dualidade processo-objeto e alguns conceitos como determinação de característica, um fator que determina característica, transcrição, código, tradução, como conseguimos articular essas ideias? Falta alguma coisa? Isso dá conta de explicar informação genética? Se vocês quiserem criticar algo que um dos outros disse, no sentido de concordar ou não, de colocar uma condição, como podemos relacionar estas ideias?

E1: Falta alguma coisa entre elas, né? Elas estão soltas. Eu acho que as discordâncias podem começar quando a gente começar a ligá-las, principalmente expressão e código.

P: Por que você acha que existe uma discordância entre expressão e código?

E1: Não, não que exista uma discordância entre os dois, mas, dependendo da forma que colocar, pode ser que contemple opiniões diferentes. Se a informação é o código, se é a expressão, se é alguma coisa no meio, que é o que a gente já tinha mencionado aqui.

P: Será que a gente poderia começar a tentar relacionar as ideias e depois olhar para o que estamos construindo e depois tentar buscar onde está a informação dentro disso tudo? Isso é uma rede de significados que aparece quando pensamos em informação genética. Como conseguimos organizar? Para partir desse universo desorganizado e sincrético para um mais

organizado e sistematizado? Se quiserem olhar para alguma palavra e tentar abri-la, dizer o que ela significa para conseguirmos encontrar relações entre elas.

E6: Acho que foi o E7 que falou o termo “código”. Eu fiquei curioso.

E7: Sim, eu pensei em código.

E6: Eu fiquei curioso, fiquei me perguntando qual seria a relação, o que vocês pensaram? O que seria o código nesse caso? Um gene?

E1: É, sequência de bases, né?

E7: Preciso pensar melhor.

P: O código não é só a sequência de bases, né?

E7: Não.

E1: Não.

E6: É, eu acho que talvez seja daí que venha a minha dúvida, porque eu estou tentando me desvencilhar de questões de ensino médio. Vamos discutir porque estamos tentando justamente problematizar o que já está posto, porque código me remete à combinação de bases e os aminoácidos que são trazidos na tradução. Eu entendo que tem alguma relação, mas talvez nessa definição que eu trago na minha cabeça, eu acho que talvez não seja muito produtor trazer esse termo, por isso que pergunto, porque se vocês estão trazendo essa palavra de outra forma, talvez seja interessante.

E1: Acho que seria a sequência de bases combinada em aminoácidos. Porque os aminoácidos são formados pelas sequências de bases.

E2: Acho que com esse “combinado” ele quis dizer “na ordem”.

E6: De que vai “bater”.

E1: Isso.

P: Correspondência.

E6: Correspondência, isso.

P: Nós temos um códon e um aminoácido. Por exemplo, um códon e a metionina. Então compartilhamos este significado de código?

E1: Sim.

E6: Sim.

P: Correspondência entre códons e aminoácidos no processo de tradução.

E6: Sim, mas se sim, é o que eu disse, pelo menos no meu ponto de vista, eu acho que essa palavra não nos ajuda, porque é simplesmente a correspondência. E como essa correspondência seria universal, então ela não serve pra gente, entendeu? Porque senão ela é muito genérica e quando a gente se refere à informação genética, acho que estamos querendo ser mais específicos. Então a informação genética nesse ponto é uma informação genética, naquele ponto é outra, já a correspondência é universal, ela é sempre a mesma. Os elementos mudam, mas ela permanece. E aí vem a pergunta: como vamos definir essa correspondência? É o próprio código, né? Eu entendo assim, pelo menos.

P: Eu estou tentando entender o que você está dizendo. Você está dizendo que informação genética é específica e que para entendermos a especificidade temos que abandonar generalidades e o código seria uma generalidade?

E6: Não, não sei se é isso.

P: Eu não entendi por que a noção de código como uma correspondência entre códons e aminoácidos não nos ajuda a definir informação genética.

E6: Bom, deixa eu tentar explicar de novo porque acho que ficou confusa até para mim o que eu falei. Quando eu penso em informação genética, e não foi só eu, penso que há expressão, no gene está sendo expresso. Existem muitos genes e cada gene, digamos, é único, né? Cada gene vai ser expresso e vai determinar a expressão de uma proteína específica. Claro, né? Tem a questão dos alelos também, mas, de qualquer forma, tem muitos genes e cada um tem sua característica e sua estrutura, enfim. Então, é algo específico. O código, eu entendo que seja universal. Então é por isso que eu acho tratar-se de algo que está bem definido, é isso que eu quero dizer. O que a gente está tentando fazer, e eu considero um avanço em relação à primeira vez que a gente veio discutir isso, porque eu acho que ficamos na dúvida do que considerar como informação. Você deu o exemplo da planta, que basicamente elas tinham características

diferentes, e levantamos questões epigenéticas. Acho que avançamos porque a epigenética eu acho que ficou para trás. Eu entendo que isso faz sentido porque se estamos falando de informação genética, não é à toa que falamos de genética e epigenética, então a informação epigenética a gente deixou para trás. É o que eu entendo que a gente está fazendo. Avançando nesse sentido, eu acho que estamos pensando em algo e essa é a dificuldade: localizar algo no processo desde o início da expressão até o fim da tradução ou o processo todo, tem sido a maior dificuldade para mim, pelo menos. Nesse sentido, acho que estamos preocupados com expressão gênica. E claro tem relação a expressão gênica com código genético, mas acho que a gente consegue diferenciar sem maiores dificuldades, justamente porque eu acho que o termo “código” está bem definido. Já o termo “informação genética”, não está bem definido.

P: O que vocês acham? Você quis dizer que informação genética não é o código genético embora eles estejam relacionados?

E6: Exatamente.

P: Vocês concordam?

E2: Sim.

E1: Sim.

P: Certo. Então, E6, você acha que a informação genética está mais relacionada com a expressão?

E6: Sim.

P: E os demais também, já que mencionaram a palavra expressão?

E1: Eu concordo.

P: Alguém não concorda?

E2: Acho que eu me contemplo na expressão. É que essa daí de processo está bem forte na minha cabeça. A informação não como um objeto, mas como um processo. O código é um objeto, então ele não é uma informação. Mas isso não tira a importância dele ali para entender o conceito. E aí a expressão seria um processo, então pode ser que esteja mais aí.

P: Então vamos explorar o conceito de expressão. O E6 jogou uma ideia de que a expressão está relacionada com a transformação, a conversão, a expressão de um gene em uma proteína. É isso que vocês entendem por expressão?

E6: Então, eu estou em dúvida porque eu não tinha pensado nisso até agora. Agora que você perguntou eu estou em dúvida se expressão deve ser o início do processo. Então a expressão é a transcrição, a partir do DNA e do RNA. Ou a expressão gênica é o processo todo que vai findar com a proteína? Eu estou com essa dúvida agora. Porque quando eu penso na palavra expressão, eu penso naquele vídeo didáticos, o gene brilhando, etc. Está claro que o gene está sendo expresso. Mas o que é o gene sendo expresso?

E1: Acho que a gente pode pensar que tem tipos diferentes de informação nesse processo, tipos diferentes de expressão também. Tem a informação, na verdade, acho que são todos informação. Mas tem tipos diferentes de expressão. Tem a expressão, por exemplo, de proteína, que resulta diretamente do gene. E tem a expressão em caracteres superiores, vamos dizer assim, que aí a gente entraria na discussão do que é um fenótipo. Então o fenótipo seria uma informação, uma expressão, a nível de organismo. E a proteína seria uma informação a nível de molécula, talvez?

P: Como a expressão a nível de organismo e a nível de molécula se articulam?

E1: A expressão a nível de molécula culmina na expressão a nível de organismo.

P: De que forma?

E1: Por exemplo, a proteína vai ser usada pelo organismo no metabolismo e, futuramente, para expressar uma característica.

P: Será que a gente consegue pensar em algum exemplo?

E1: Deixa eu pensar.

E2: Melanina? Melanina: proteína a nível molecular. Mas se a gente for produzindo mais melanina, o fenótipo vai mudar.

E6: Posso colocar um ponto em que eu fiquei um pouco em dúvida? Em um primeiro momento, para mim, a proteína não é informação. Para mim, a proteína é fenótipo já. E o exemplo da E2 eu acho que é didático nisso.

E1: Então a gente vai entrar na discussão de o que é fenótipo.

E6: Mas aí, pra mim, pelo menos, acho que é o mesmo ponto do código. Acho que a gente consegue delimitar sem muita dificuldade. E reduzindo esse universo, retorna o ponto do que é informação genética. Estamos falando de processo e objeto. Acho que concordamos que tem esses dois pontos.

E2: É.

E6: O processo a gente concordou também que é a expressão. Aí até que ponto a expressão vai também podemos discutir. Mas e o objeto? Para mim, o objeto é o gene. O que vocês estão entendendo por objeto, já que estamos buscando um consenso?

E1: O objeto é o que vai resultar na expressão.

E6: Exato. O gene é o objeto. É difícil. Acabei de pensar que a palavra gene é totalmente controversa também, né?

P: Espera aí. Eu acho que temos duas questões que estão abertas: primeiro, estamos falando da expressão e não definimos o que é. Mencionamos dois níveis da expressão em um produto final: nível de proteína, que é um nível molecular e também um nível de organismo. Onde entra essa expressão a nível de organismo?

E1: Acho que ficou me faltando repertório de Biologia Celular. Sempre vai precisar existir uma proteína para expressar uma característica, não vai?

E2: A nível de organismo, acho que sim.

E7: Eu não lembro.

E1: Então, está me faltando conhecimento de Biologia Celular.

E7: Eu sei que nem todo gene vira proteína. Tem gene que para no RNA.

E1: Hum.

P: Por exemplo: a proteína foi produzida. A característica já emerge ao nível do organismo ou vão acontecer outros processos? Vão ter que acontecer outros processos para aparecer a característica ao nível do organismo?

E6: Eu acho que talvez seja uma propriedade emergente, de fato, porque isso vai acontecer milhões de vezes, né?

E2: Não é uma coisa que acontece uma vez só.

E1: A proteína não vai virar a cor da pele do nada.

E2: Produziu uma melanina, pronto! Agora sou uma onça-preta.

P: Então podemos colocar que “contribui”, né?

E1: Sim, é uma série de mudanças quantitativas que vira uma mudança qualitativa no final.

E2: Mas, de qualquer forma, aí a gente já fugiu da informação genética, não fugiu? A informação a nível de organismo, não é mais a informação genética, né?

E1: Não?

E2: Ela veio da informação genética lá no começo...

E1: Então, mas aí a nível de organismo a gente tem expressão e aí a gente se pergunta: a informação genética é a expressão em qual nível? De organismo?

E2: Como assim a nível de organismo não é expressão?

E1: Querendo ou não, a nível de organismo é uma expressão do código. Então...

E2: Não estou entendendo essa parte. A nível de organismo...

E1: A cor da pele da onça resulta de uma expressão genética.

E2: Sim.

E1: E aí a informação seria essa expressão da cor em si, ou da melanina que vai culminar na cor da pele?

E2: Ah...

E6: Eu concordo que para a discussão do que é informação genética, isso não contribui também. Para mim, a discussão de informação genética ela fica entre DNA e RNA.

E2: No máximo entre RNA e proteína.

E6: Então antes de chegar na proteína.

E2: Seriam os dois primeiros processos que você elencou. Estaria aí a informação genética (*Referindo-se ao pesquisador e a um esquema da lousa: DNA > RNA > proteína*).

E6: Minha dúvida é exatamente essa: se a gente para no RNA ou se a gente para na seta que é a tradução.

E2: Para mim também. Chegou no organismo, eu acho que já passou do ponto. Aí é outra informação, que não a genética. Não que não esteja ligado.

E1: Eu acho que não.

E6: Eu concordo.

E1: Eu acho que são dois tipos de expressão diferentes, mas ambos são tipos da expressão da informação genética.

E2: Mas ela não é a informação genética em si, entende?

E6: Talvez a confusão seja a seguinte: talvez você esteja pensando em informação, aí eu concordo que é informação da proteína para frente e são outras discussões. Mas a gente está colocando a palavra “genética”, Informação genética a gente já pode parar ali.

E7: Mas o genético precisa ficar restrito a nível molecular?

E1: É, então. É por isso que eu estou pensando.

E6: Aí justamente, como a gente está usando o termo “genético”, eu entendo que sim. Senão, a gente colocaria outros termos complementares, ou outras palavras no lugar de “genética”. Acho eu, mas é uma boa pergunta.

P: Vocês estão querendo dizer que olhando para o organismo não dá pra dizer nada sobre isso?

E2: Dá, dá pra estipular. Mas, olhando para o organismo, eu não estou mais falando da informação genética puramente. Têm muitos outros processos culminando naquele resultado. Então não dá pra eu separar e falar “isso aqui é só informação genética”.

E1: Mas acho que não tem nada que seja só informação genética. Você também não consegue dizer o que é o código.

E2: Mas a gente não decidiu que código é o códon...

P: A sequência, você diz?

E1: É, você não vai conseguir saber a sequência só olhando a proteína. Se você for indo para trás o suficiente, você só vai conseguir saber exatamente o que está no código, se você olhar no código.

E6: Eu acho que talvez o problema seja o que a gente está tentando fazer.

E2: É.

E6: Porque se a gente olhar para o que você está falando, eu entendo que você está tentando fazer um recorte da realidade, e aí não tem como fazer um recorte puro da realidade. E você está certo nisso, em entender a complexidade do processo. Mas eu entendo que o exercício que estamos fazendo é justamente um recorte abstrato para definir um termo e é por isso que não importa o que vem pela frente. O exercício que eu estou tentando fazer é: eu quero definir informação genética, colocar em um glossário. Como isso estaria lá? Por isso, eu acho que podemos ignorar da proteína em diante.

E2: Porque aí seriam níveis de organização que envolvem outras coisas além da informação genética em si, entendeu?

P: No seu glossário entraria a proteína, E1?

E1: Agora que você escreveu “contribui” me deu um estalo. Porque a nível de organismo, existe informação genética, mas não só isso. Ela faz parte do organismo, mas não expressa a característica sozinha.

P: Podemos chegar em definições diferentes, certo?

E2: Uhum.

E1: É porque eu lembrei daquela definição em que a gente diz que o fenótipo é o genótipo mais o ambiente. Então, a informação genética faz parte do fenótipo do organismo, mas não só ela.

P: Certo. Então chegamos à conclusão de que a nível de organismo identificamos alguns traços da informação genética, mas não é suficiente para explicar a característica. É isso? E vocês também estavam discutindo: olhando para a proteína, conseguimos saber qual foi a sequência de bases nitrogenadas que a originou? Uma das conclusões foi que não, até porque pode ter acontecido splicing alternativo, então nem sempre as mesmas trincas do DNA estarão no RNA. Mas, talvez, olhando para a proteína conseguimos saber qual era o RNA, né?

E1: Sim.

P: Então isso seria possível.

E2: Mas, às vezes, olhando para o RNA, eu consigo saber qual era o DNA.

E1: Mas podem ter processos que influenciam.

P: É uma possibilidade.

E2: Sim.

E6: Na verdade, a gente não pode saber. Porque o código é degenerado. Para um mesmo aminoácido, pode existir mais que um códon que o origine. Então nem o RNA podemos saber.

P: É verdade.

E1: Sim.

E6: Acho que o máximo que podemos fazer é reduzir o universo de possibilidades, mas continua sendo um universo tão grande que não serve de nada em uma análise.

E1: Acho que isso resume bastante coisa do que falamos: reduzir o universo de possibilidades. Em todos os níveis: desde o organismo até a proteína. Se a gente olha para o organismo, a gente reduz o universo de possibilidades da informação genética. Se a gente olha a proteína, a gente reduz cada vez mais.

P: Então, para você, a informação genética está no DNA?

E1: Não sei se posso afirmar isso.

P: Agora podemos ir para a pergunta que o E6 fez. O processo é a expressão do gene. O que é o objeto?

E6: Para mim, o objeto é o gene.

P: Certo. Pode ser tudo também.

E2: É que, o que eu considero um gene? O gene é aquele pedaço que forma uma proteína, não é? Qual é a definição de gene?

E7: Esse é o problema.

P: É um debate filosófico.

E6: No fim, sim, mas, em um primeiro momento, é RNA. Eu acho que o RNA não é objeto nesse caso. Porque o que vai conectar a informação genética a nível de organismo e a informação genética a nível vertical, é justamente o DNA.

P: Mas e quando acontece transcriptase reversa? Em que um RNA dá origem a um DNA?

E6: É verdade.

E1: Estou começando a achar que informação genética é metafórico. Porque não estou conseguindo enxergar a informação genética em lugar nenhum.

P: É uma possibilidade. Qual seria a metáfora?

E1: Seria uma metáfora para todo esse processo. Mas o processo não é informação genética. Porque eu não consigo apontar onde está a informação genética em nenhum desses lugares.

E6: Talvez a gente resolva o problema. Eu realmente não sei com certeza. A transcriptase reversa é uma exceção. Isso é uma dúvida que eu carrego: quando a gente diz “material genético humano”, estamos nos referindo apenas ao DNA? Muitas vezes dizemos que material genético é sinônimo de ácido nucleico. Ácido nucleico é DNA e RNA. Se a gente considerar que o material genético no ser humano é o DNA, acho que a gente resolve esse problema. O material genético do retrovírus é o RNA. Então, quer dizer, acho que é o ácido nucleico que é o que importa para o organismo. É ele que vai ser passado. Daí eu acho que, talvez, esse problema não exista mais.

P: Então você volta na sua definição inicial, de que o objeto da informação genética seria o ácido nucleico que é transmitido.

E6: Sim.

P: Vocês concordam?

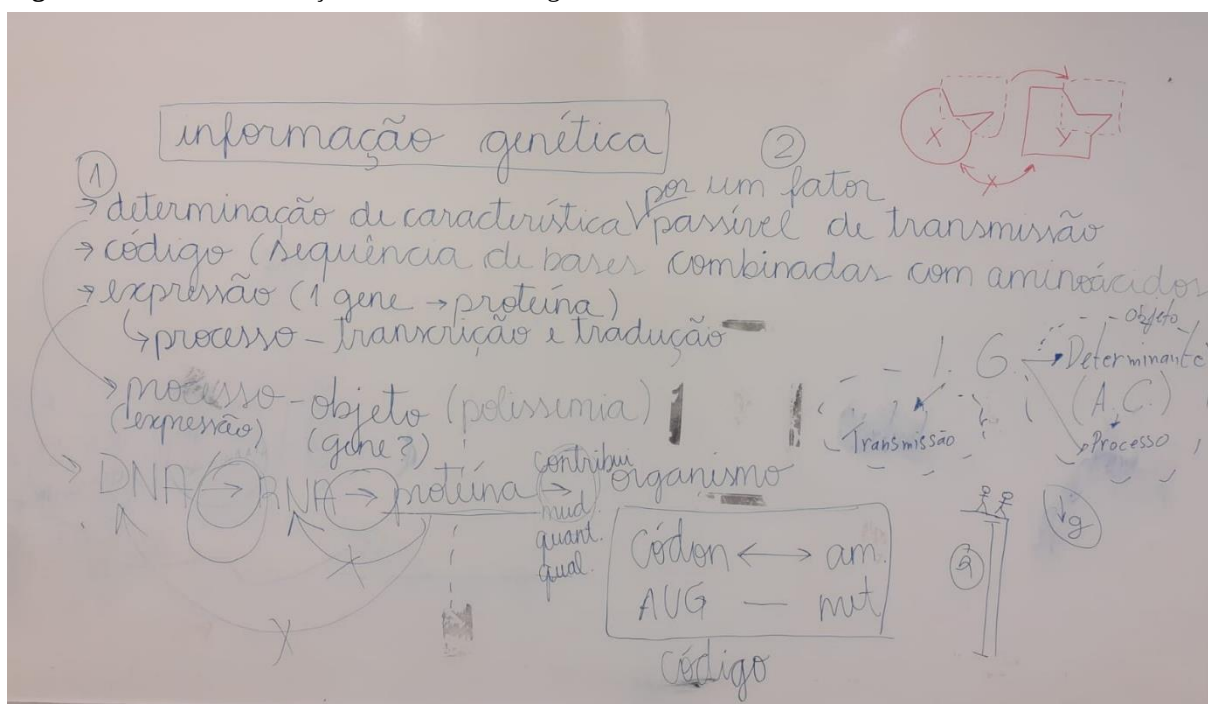
E1: Rebobina. A informação genética seria o ácido nucleico?

P: Sim. Quando tentamos pensar em qual é o objeto da informação genética, o E6 sugeriu que o objeto é sempre aquele ácido nucleico que é transmitido. Por exemplo, em retrovírus vai ser o RNA e em seres humanos vai ser o DNA.

E6: Posso fazer um esquema? Eu mantenho a definição inicial. Tem dois lados que se ramificam novamente. Então, informação genética é o determinante.

P: Com determinante você quer dizer o que?

Figura 16. Lousa com anotações realizadas ao longo do encontro.



Fonte: Acervo dos autores.

E6: Eu quero dizer o gene, o material genético, ou ácido nucleico. Esse determinante, neste ponto, vai se dividir. Aí estou olhando para o organismo, em que esse ácido nucleico vai dar origem para processo e objeto. Na verdade, ele é o objeto, né? Na verdade, esse é o ponto da ramificação. Então, eu divido aqui (*apontando para o esquema*). Informação genética é o determinante e o processo. Esse é o objeto. Do objeto a gente vai ter saindo ou iniciando, o processo, que é a expressão. Então esse é o primeiro lado. O outro lado da informação genética,

é o lado vertical. Vou trocar a palavra vertical, para transmissão, por conta dos procariontes, enfim. Acho que transmissão une a ideia de horizontal com vertical, evolutivamente, falando. Então, para mim, é isso, esse é o esquema. Informação genética é o que é transmitido e é o gene, que é o objeto, e o que foi determinado, o processo, a expressão.

E1: Então ele é tudo.

P: Então você enxerga três significados para informação genética?

E1: Por isso que eu quis dizer que é metafórico.

E6: Acho que esse é o problema. É aqui que a gente está. A intenção que eu estou colocando: então é tudo? É um monte de coisa? Eu acho que esse é o problema. Fenótipo, pelo menos, se a gente se adentrar nessa discussão talvez fique mais nebuloso, né? Mas, aparentemente, a gente concorda facilmente que é o fenótipo. A característica é visível, ou perceptível, é possível de analisar. O código acho que está bem delimitado. Acho que informação genética me remete, pelo menos, a essas três coisas aí. Deixando claro que essas duas, elas estão unidas. Então eu tenho dois campos.

P: Então, na verdade, esses dois campos você quis dizer, dois espaços de tempo?

E6: A divisão é horizontal e vertical. Tanto horizontal, nesse caso, também é polissêmico, porque horizontal pode significar a informação genética horizontal, mas o que eu quero dizer é a nível de organismo.

P: Sim, um é uma questão ontológica, que ocorre dentro do tempo de vida do organismo. E o outro ultrapassa o limite espacial e temporal.

E1: É, eu gostei. A informação genética tem duas dimensões. Ontológica e filogenética.

E6: Talvez essa seja uma palavra que eu estava tentando buscar no início, mas me confirme, porque talvez eu não tenha clareza. Quando a gente usa o termo ontogenético, a gente está se referindo à embriologia, basicamente? Se a gente pensar em um animal?

P: Desenvolvimento do organismo. O tempo de vida de um organismo.

E6: Então, essa é minha dúvida. Porque um adulto continua com a sua fisiologia normal. É ontogenética ainda?

E1: Sim.

E6: Então a diferença talvez seja essa.

P: Ok.

E1: É, acho que pra mim isso é meio metafórico porque eu não consigo encontrar base material para a informação genética. Eu acho que é uma abstração também, mas se eu falar de outra abstração, como átomo, é uma abstração que tem base material. Agora informação genética, apesar de ser uma abstração para mim, não tem nenhuma base material.

P: Não tem nenhum objeto.

E1: Sim, eu não estou conseguindo encontrar nada que seja realmente um objeto.

P: Eu quero explorar o que você disse sobre informação ser metafórico. (*Desenha esquema de metáfora na lousa*). Esse é o objeto X e esse é o objeto Y. Nós conhecemos X, mas não conhecemos Y. Como eles têm uma parte em comum, podemos entender Y por meio de X. Isso é uma metáfora: entendermos um conceito por meio de outro porque eles têm um aspecto compatível. Mas eles também têm aspectos incompatíveis que não podemos transferir de um para outro. Normalmente, a metáfora destaca os aspectos compatíveis e oculta os aspectos incompatíveis. Então, por exemplo, “tempo é dinheiro”. Entendemos as interações que fazemos com o tempo porque entendemos interações que fazemos com dinheiro. Nós gastamos dinheiro, poupamos, economizamos. Que são ações que também fazemos com o tempo. Isso é a metáfora. Você acha que informação genética está sendo entendida em sentido metafórico? Estamos usando um domínio para entender outro? Existem aspectos compatíveis e incompatíveis?

E1: Acho que sim. Porque a gente consegue pensar nos aspectos compatíveis, por exemplo, do conjunto todo, mas incompatível conseguimos pensar em tudo que tem nessas coisas, mas que não é informação genética. Então o código não é informação genética. O RNA não é informação genética. O processo de transformação do RNA à proteína, não é informação genética. Pelo menos, para mim, não é. Isso não é compatível. Mas a gente consegue pegar todos esses processos e aquele esquema que o E6 fez, e dizer que isso representa informação genética. Porque, para mim, informação genética aqui está sendo um grande tapa buraco para algo que a gente não consegue definir materialmente. Um catadão de coisas que a gente chama de informação genética.

P: Vamos explorar essa parte da metáfora que você disse. Qual seria o conceito familiar que estamos usando para entender o conceito não familiar?

E1: Eu estava pensando nisso. Não sei se eu consegui achar um X só. Talvez tenha mais que um.

P: Porque estamos usando a palavra informação. Então, se é metafórico, existe informação de uma forma geral que a gente viu no último encontro, e existem esses fenômenos moleculares que vimos no último encontro. Estamos tentando entender os conceitos moleculares por meio do conceito de informação. De que forma a gente entende informação que é semelhante à forma que entendemos os fenômenos moleculares.

E2: É que não conseguimos definir bem o que é informação biológica, né?

E1: Se pensar no artigo de “*Information as a thing*”, eles dizem sobre a mudança de estado. E a informação genética também causa essa mudança de estado no organismo, por exemplo. No organismo e em todos os outros processos moleculares.

P: E por que seria incompatível?

E1: Porque ele não é os processos moleculares em si. As mudanças moleculares não são a informação em si, mas todo o contexto é informação.

P: Então, a nível molecular, não existe informação como coisa?

E1: Eu não consigo encontrar.

P: E sobre a informação como conhecimento comunicado?

E1: Aí precisa de outra coisa, cognição e aí é outra história.

P: Então cognição seria um aspecto incompatível da metáfora?

E1: Sim.

P: Então temos algumas definições diferentes de informação genética fluando aqui. Para avançarmos, precisamos sistematizar o que cada um está pensando. Vocês podem escrever em um papel o que vocês estão pensando que seja informação genética agora na forma de um enunciado? Se fosse a definição de um livro: informação genética é... A definição de glossário.

(Participantes escrevem suas definições).

P: Agora vou pedir para que vocês leiam suas descrições e expliquem.

E1: Eu posso começar. Eu coloquei a definição e alguns exemplos. Informação genética é um termo utilizado para definir diversos pontos do processo que vai do DNA até o organismo. Esse termo também pode designar o processo todo. Exemplo: o DNA é a informação genética; o organismo é o resultado da informação genética em contato com o meio; a nossa informação genética nos diferencia dos demais seres vivos; a expressão gênica é o processo de expressão da informação genética contida no DNA.

P: Certo. Alguém quer solicitar alguma explicação adicional para esta explicação?

E6: Eu quero. Fazendo um recorte, tem um momento em que você fala que o DNA é informação genética.

E7: Eu ia falar isso.

E1: Isso são exemplos de frases que a gente fala ou ouve as pessoas falando.

E7: Mas você concorda?

E1: Não, não concordo.

E7: Então por que está aí?

E1: É um exemplo de frases em que as pessoas usam informação genética. Vou ler o enunciado e depois os exemplos. Informação genética é um termo utilizado para definir diversos pontos do processo que vai do DNA até o organismo. Esse termo também pode designar o processo todo. Exemplos: Frase 1 - o DNA é informação genética. Frase 2 - o organismo é o resultado da informação genética em contato com o meio. Frase 3 - a nossa informação genética nos diferencia dos demais seres vivos. Frase 4 - a expressão gênica é o processo de expressão da informação contida no DNA.

E7: Entendi. Eu pensei que os exemplos eram exemplos para a sua definição.

E2: Isso.

E1: Não, não, não. Não são.

E7: Tem alguma ou duas frases que sejam um exemplo para a sua definição?

E1: Não, porque é um termo utilizado para definir diversos pontos. Como eu falei que é uma metáfora, não que não existam definições que não estejam certas, como “o DNA é uma informação genética.” Eu acho que além de ser uma metáfora é um termo que não tem consenso.

P: Certo. É uma metadefinição, então?

E1: Sim. Um exemplo disso é que quando eu terminei de escrever, eu pesquisei informação genética no google e eu achei umas três definições diferentes.

P: Certo. Então, dentro desses termos, se estivéssemos que encontrar um termo adequado, acho que seria as definições que os demais tentaram criar, certo?

E7: É, tentamos.

P: Leia, então, E7.

E7: Vou ler. Eu coloquei duas definições.

E1: E você não concorda com nenhuma.

E7: Sim, eu não concordo com nenhuma. Informação genética: conjunto de processos que ocorrem em nível molecular e garantem a expressão dos genes. Também a nível molecular e/ou a nível de organismo.

P: Por que você não concorda com ela?

E7: Porque eu não sei vários pontos da minha definição, por exemplo: quais processos? O que é a expressão de genes? O que é gene? O que eu estou considerando a nível molecular, RNA ou proteína? Aí a nível de organismo, beleza, são muitos pontos que eu não sei.

E2: É difícil responder, tudo parece errado.

E7: É, eu tentei pensar no que o E1 falou. Engloba os processos que ocorrem a nível molecular, mas a gente não encontra onde está a informação genética. Era isso que eu estava tentando colocar na minha definição, mas eu não sei se eu cheguei lá. E a outra definição é que de

informação genética como um objeto. E código genético em si, mas aí seria uma outra vertente, não sei.

E1: Eu fiz uma adição também que existem duas dimensões da informação genética: ontogenética e filogenética.

P: Certo. Tentando resolver um desconforto epistemológico de vocês, será que podemos substituir gene por outra palavra? Sequência de bases? Fragmento de DNA?

E1: Acho que fragmento de DNA é uma boa.

P: É um pedaço do DNA, né?

E1: Agora estou tentando lembrar como o Dawkins definia gene. Não que esteja certo, né? Ele faz de gene o livro inteiro e não dá uma definição que seja satisfatória.

E6: Se a gente fizer isso, não estamos escolhendo uma definição de gene?

P: Sim.

E1: Sim.

E7: Sim.

E6: Essa é a resolução do problema?

P: É.

E1: Do gene, sim. Da informação genética, não.

E6: Tudo bem.

E7: É que eu não sei. O fragmento? Não sei.

P: Esse fragmento pode não ser contínuo, como, por exemplo, no caso de splicing alternativo: ele estará distribuído e essas várias partes vão resultar em um outro ácido nucleico linear a partir de fragmentos que estavam no DNA.

E1: É um fragmento funcional do DNA, talvez? Funcional que pode ser lido.

E2: Não ter nenhuma informação é uma informação?

P: Como assim?

E2: Porque no gene tem as regiões codificantes e as não codificantes, certo? Um fragmento de DNA não codificante, em teoria não tem uma informação a ser lida. Não ter uma informação é uma informação? É nisso que estou perdida. Qualquer fragmento de DNA vai conter informação?

E1: Acho que para este processo, isso não é um problema. Porque do que a gente está falando, a gente começa no DNA e parte para o RNA. Então, nesse caso, o fragmento não codificante não entra.

E7: É. É como se ele não existisse, né?

E1: É. Mas eu acho que o fragmento de DNA funcional ou que vai ser lido é uma coisa útil, mesmo que não esteja 100% para a gente discutir.

E2: Então seria um fragmento de DNA que pode ser lido por um RNA?

E7: Lido em RNA.

E2: Em RNA, isso.

P: O que é lido?

E7: É, então...

E1: Transcrito, sei lá.

P: Transcrito é uma palavra melhor, né?

E1: Sim.

E2: Sim.

P: Envolver-se em reações com enzimas e outros nucleotídeos para ter como produto um RNA. Isso é ser lido.

E1: Sim.

E2: Sim.

P: Mais alguma palavra problemática?

E7: Eu ainda acho que expressão seja um problema.

P: Eu também acho. Será que reações moleculares? Transcrição e tradução? Ou apenas a transcrição?

E1: É que estamos falando de expressão apenas a nível molecular, mas tem expressão a nível fenotípico.

P: Conjunto de processos, conjunto de reações e seus efeitos com certa margem de onde iniciam e onde terminam? Antes da E2 e do E6 lerem as definições deles, eu queria perguntar outra coisa: em diversos momentos vocês disseram que não é possível encontrar a informação genética, ou que não era a informação genética em si. Em alguns momentos, essas frases surgiram. Dentro dessa concepção, informação genética seria uma emergência?

E6: Eu mudei de ideia. Já posso ler minha definição. Eu mudei de ideia e a palavra que está na minha cabeça talvez se encaixe e até podemos ver se a palavra emergência talvez seja mais adequada. É a palavra potencial. É isso que eu venho pensando nos últimos minutos do que seja informação genética.

P: Então leia para a gente.

E6: A estrutura do material genético e os processos relacionados a ela em nível molecular, como a replicação e a transcrição. Com isso quero dizer que informação genética não é só o DNA. O problema, para mim, está sendo que desde o primeiro momento naquele outro dia que tentamos fazer isso, ou informação genética é um monte de coisa, como eu representei ali, então, no mínimo três coisas; ou, tentando fazer o exercício de definir de fato o que é informação genética, eu chegava no ponto, antes de caminhar para cá, eu chegava na conclusão de que informação genética era o DNA, mas se a gente entender isso, então informação genética não é nada, né? É um termo que a gente não precisa usar, porque acho que material genético é um termo muito mais palatável, palpável, sei lá. E, na minha visão, eu resolvo o problema. Pelo menos, para mim, a questão da filogenia não existe mais, informação genética não deve ser utilizada assim.

P: Por quê? Não entendi.

E6: Vou explicar. O grande problema se torna a questão do objeto e do processo e eu acho que esse é o ponto. Eu quero dizer que, vou repetir, informação genética é: a estrutura do material genético e os processos relacionados a ela em nível molecular. Então, até aqui eu não encontrei problemas, e aí eu peço a colaboração dos pares. Eu venho entendendo que não faz sentido pensar verticalmente, no sentido filogenético, porque o ácido nucleico estará relacionado com o material genético. Não tem lógica pensar no material genético no sentido vertical se estamos procurando a definição de informação. Porque quando eu penso em material genético em sentido vertical, estou falando de fecundação, por exemplo, ou, simplesmente, o processo de replicação do DNA, se eu estiver falando de um ser unicelular. Então, não é a replicação, porque este termo já existe e está bem estabelecido; não é a transcrição; não é o DNA. É o que une tudo isso. É o material genético e o que pode ser feito com ele. Acho que essa é a definição em que eu cheguei, por isso a questão do DNA. Não é só o DNA, não é só a transcrição; todos esses termos servem para alguma coisa. Cheguei na conclusão, parcial e momentânea, de que a informação genética é isso.

E1: Que é um monte de coisas.

E6: Não, não é um monte de coisas. É o que dá pra fazer. E não é um monte de coisas, porque, por exemplo, se usarmos esses exemplos aqui, se falarmos sobre splicing alternativo, já não é informação genética.

E1: Mas e se não acontecer o splicing?

E6: Não, também não. Porque a transcrição chega aqui. Então eu uno as duas coisas no que eu quero dizer. Não é o DNA, não é esse termo e não é a seta. Pode ser os dois, por isso eu disse potencial. Então, informação genética, não é a sequência, o DNA, mas é o potencial de abrir o DNA e fazer outro. Porque estamos esquecendo a replicação. E aí eu pergunto: expressão é duplicação também? Não sei. A gente normalmente usa pensando na proteína depois, né? É o potencial de o DNA ser aberto e ser duplicado ou transcrito. Não é a duplicação, não é a transcrição, não é o DNA. É o potencial de DNA ser aberto e transcrito, ser utilizado.

P: É um modelo científico.

E6: Talvez, não sei. Preciso pensar ainda. Falando particularmente do meu exercício, desde o primeiro momento em que começamos a discutir isso, é a primeira vez que a coisa fecha na minha cabeça. E as limitações que eu estou vendo por enquanto, são limitações do próprio termo

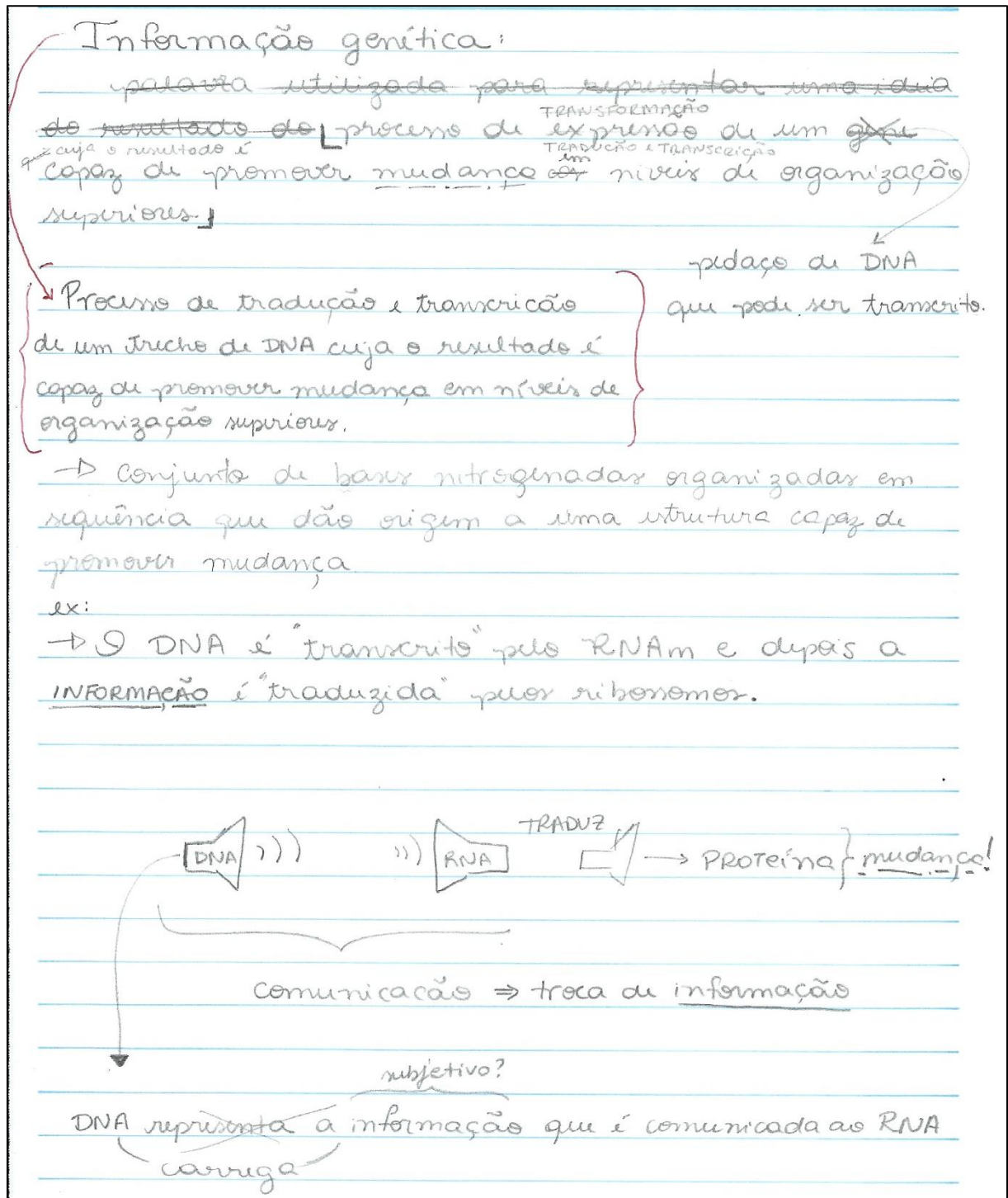
informação, que já vimos que é complicado, então estamos tentando usar informação genética e não tem como fugir dos problemas relacionados à palavra informação, e é isso.

ENCONTRO 06 – 09/AGO/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES**Figura 17.** Representação de E1 para responder “o que é informação genética”.

Informação genética é um termo utilizado para definir diversos pontos do processo que vai do DNA até o organismo. Este termo também pode designar o processo todo. Há, também, duas dimensões da informação genética. Escrito: “O DNA é a informação genética”; “O organismo é o resultado da informação genética em contato com o meio”; “a nossa informação genética nos diferencia dos demais seres vivos”; “A expressão gênica é o processo de expressão da informação genética, contida no DNA”

Fonte: Produzido por E1.

Figura 18. Representação de E2 para responder "o que é informação genética".



Fonte: Produzido por E2.

Figura 19. Representação de E6 para responder “o que é informação genética”.

Informação genética
↳ a estrutura do material genético
e os processos relacionados a
ela em nível molecular (replicação
e transcrição).

Fonte: Produzido por E3.

Figura 20. Representação de E7 para responder "o que é informação genética".

Informação Genética = Conjunto de processos que ocorrem a nível molecular e garantem a expressão dos genes, também a nível molecular e/ou a nível de organismo.

Ou...

Informação Genética (como objeto) = o código genético (?)

gene = fragmento de DNA (?)
↳ funcional

Expressão = Reações moleculares
Transcrição e tradução (?)

Emergência?

○ potencial de abrir um DNA e duplicá-lo. (?)

○ DNA e o que vai ser feito dele.

Não é filogenético porque ocorre a nível molecular na ontogenia...



E a reprodução? → Determinado no organismo a partir dos processos ontogenéticos...

A transformação de si mesmo ~ Informação Genética
c/ base no potencial

 O organismo seria emergência, não a Info. Gen.

ENCONTRO 08 – 03/OUT/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

No início do encontro, o pesquisador solicitou que os estudantes registrassem em uma folha de papel, suas concepções de informação genética. Se os participantes quisessem, posteriormente, eles poderiam editar as anotações, mas o pesquisador solicitou que isso fosse feito com uma caneta de outra cor para deixar diferenciado da anotação inicial.

Em seguida, os estudantes sentaram-se em duplas para conversar sobre as suas anotações e, em seguida, leram e discutiram as respostas do formulário inicial.

P: Vocês poderiam compartilhar o que vocês discutiram em duplas indicando se houve alguma questão que ficou incompatível?

E1: Na quatro, quando se fala que genes contêm informações do organismo as quais podem não ser expressas no fenótipo, a E5 tinha falado que genes talvez não seja uma boa palavra e eu concordei. E nessa mesma alternativa, quando se diz que o receptor são as células-filha no momento da meiose, eu achei um tanto quanto dubio porque as células-filhas não seriam os receptores em si, porque, para a gente, quem recebe essa informação é o mecanismo de replicação e não a célula em si. E a meiose é um processo um tanto quanto complexo para falarmos “no momento da meiose”. Então se o receptor fosse o mecanismo de replicação celular em uma etapa específica da meiose, talvez fosse melhor. E essa coisa do gene, porque até onde lembramos, não há uma definição exata de gene.

E5: O que não é gene também é informação genética.

P: Como assim?

E5: É a questão de como classificar o que é gene. Se entendermos como aquilo que é expresso, e as outras coisas que não são expressas? Elas também estão ali. Elas também são informação genética?

P: O que seriam as outras coisas?

E5: As outras proteínas que não são expressas, DNA lixo.

E1: Ou até o éxons, né? Ou íntrons? Os íntros são os que não são lidos, então os íntrons, porque nessa questão da nossa definição de o que é informação genética, tem as duas categorias que

você falou [fluxo fisiológico e evolutivo] e nós encaixamos nas duas. Na informação no que seria o fluxo horizontal fisiológico, a informação seria a leitura do código e o código seria as bases nitrogenadas, então, A, T, C e G. O conjunto desse código que seria uma informação genética. Então, como ela falou, os íntrons que não foram lidos também poderiam ser informação genética, só que não foram lidos.

P: Certo. E para os demais, também houveram incompatibilidades.

E6: O que me incomoda, particularmente, é a dificuldade em fazer um equilíbrio. No número três, eu acho que o conceito de informação é muito abrangente. Acho que a dois é mais vaga. Já em outras, eu acho que acaba sendo um recorte muito pequeno. Na sete ou talvez na oito também. Não consigo dizer que os dois estão errados, mas acaba ficando muito específico ou muito abrangente. Se for muito abrangente acaba sendo um conceito que não nos ajuda tanto. Mas o fato é que usamos esse conceito constantemente, então não dá pra falar que está errado por ser muito específico ou muito abrangente. Ou talvez não estamos nos entendendo.

P: O que seria o ideal?

E6: Então, eu acho que passa pelo material genético. Mas eu não sei dizer se apenas. Não sei dizer se material genético é sinônimo de informação genética.

E1: A gente tinha definição de material genético?

P: DNA e RNA. Certo?

E1: Sim.

E4: Eu sinto que carece de uma especificação quando a gente vai usar o termo de informação genética. Por exemplo: informação genética como esse processo ou como essa coisa. Porque está em compatibilidade com o que eu coloquei e com o que eu penso agora, mas, se eu pensar mais um pouco, eu vou me contrariando o tempo todo porque eu também não sei se a gente deve definir informação genética como todas essas possibilidades, amplo, ou se vamos na menor coisa possível. Mas hoje eu também acredito que esteja tanto no fluxo evolutivo, como também no fluxo fisiológico dentro de um só organismo. Eu sinto essa dificuldade de especificar quando vai usar. Por exemplo: agora estou falando de informação genética ao nível do núcleo da célula, ou nível do organismo, ou nível evolutivo, que vai de um organismo para outro.

E6: Eu sinto que na maior parte dos contextos, sempre tem um termo melhor para ser colocado no lugar de informação genética, que não deixa dúvida. Então, a gente encontra informação genética como sinônimo de material genético, ou qualquer coisa herdável, ou de maneira abrangente, como está na três, a questão da cultura dos seres vivos ou mudança fisiológica, comportamento, enfim. Acho que seja no nível molecular ou etológico, eu acredito que sempre tem um termo menos dubio. Dependendo do contexto, pode ficar claro que é o gene que está sendo transcrito, por exemplo, mas em alguns contextos, fica muito abrangente. A impressão que dá é que não chega a ser um problema, pelo menos entre nós, mas não é um termo preciso. Existem termos que são bem precisos. Material genético, por exemplo, é DNA e RNA. Agora, informação genética, não sei se é necessário de ser utilizado.

E3: Como a três fui eu quem escrevi, posso comentar sobre ela. Eu lembro que realmente coloquei de forma abrangente, exatamente por ser um termo polissêmico. Como vão ter vários significados, eu acho que não é adequado definirmos informação genético em um sentido específico, pelo menos, não apenas entendendo como uma única definição específica. Acho que até podemos entender a informação genética como ideia de conjunto de genes ou algo parecido com isso, mas podemos ver que livros e artigos, muitas vezes, vemos que muitas vezes é utilizado em outros contextos, não se referindo apenas ao genoma do organismo. Por isso mesmo que eu dei essa definição mais ampla e exatamente por entender que ela é utilizada na prática de forma mais ampla, então foi partindo desse ponto.

E6: Eu concordo. Às vezes me perco porque têm momentos em que estou tentando definir informação genética de modo ideal ou completo ou de maneira não dubia. Em outros momentos, sinto que estou apenas tentando elencar os significados possíveis. Então fico confuso nesse sentido. Nesta linha, concordo quando você diz que é utilizado de diversas maneiras. Acho que a gente acaba entendendo e isso não gera grandes problemas em um primeiro momento. Só que o que me incomoda é o seguinte: se a gente está falando em informação genética, acho que já estamos dando um adjetivo que especifica. Porque não utilizar, então, informação etológica, cultural... acho que o adjetivo já diferencia. Acho que têm esses dois lados. Estou tentando definir o conceito ou estou tentando entender o que um autor quis dizer com esse conceito?

E1: Fazendo um paralelo, acho que dá pra gente entender que informação genética é utilizada como... não sei se tem um nome para isso, mas é como quando você está lendo um texto em inglês e você não sabe o significado de uma palavra, mas você consegue entender pelo contexto da frase, sem entender o que aquela palavra significa exatamente. Acho que talvez informação

genética seja esse tipo de palavras, mas a gente já leu tantas vezes que ela já se consolidou como uma palavra que a gente não vai entender o significado, mas a gente consegue entender a frase, apesar de não saber o que aquela palavra significa.

E6: Acho que é uma boa analogia mesmo.

E3: Acaba sendo um problema de certa forma, né? Porque para a aprendizagem pode gerar concepções alternativas.

E4: Acho que a pergunta agora seria aceitarmos o termo de informação genética ou deixar de usar no ensino já que pode ser vago.

E5: Eu acho que como o E6 falou, se você especificar, ajuda. Por exemplo, epigenética. Pelos exemplos que ele deu, eu achei que ficou claro, quando eu bato o olho no texto, eu entendo qual é o contexto de que estamos falando, só pela palavra. Acho que talvez ajudaria.

E6: Mas talvez, se a preocupação for o ensino, talvez o ideal seja cortar essa palavra.

E4: Por que às vezes nem é o ponto né? Às vezes você está dando uma aula de reprodução, aí você citou informação genética, vai querer abrir um parêntese para explicar o que é e aí acabou a aula.

E6: Ou tentar utilizar sinônimos. Se for Biologia Molecular, dizer que informação genética poderia ser o gene. Seria um significado possível.

E5: Será que deixar claro para os alunos que existem contextos diferentes confundiria eles? Por exemplo, dizer que estou falando de informação genética que neste contexto é isso, mas que vocês podem encontrar outros contextos. Talvez eles não criariam uma ideia rígida de informação genética. Eles entenderiam que informação é dinâmica e pode significar várias coisas. Ou vai piorar a situação?

E1: Eu também acho que especificar também é o melhor. Dentro de uma sequência didática, se você começar explicitando que alguns termos são polissêmicos e aí, por exemplo, em uma aula de reprodução como a E4 falou, se ao invés de você dizer que metade da informação genética vem do seu pai e metade da sua mãe, você dizer que metade das bases nitrogenadas vem do seu pai e metade da sua mãe, aí vai combinar na sua sequência de bases e vai ser lida pela maquinaria celular e aí você segue a aula. Eu acho que é melhor do que você usar um termo

que talvez possa gerar dúvida. Eu acho que se você for usar, é melhor definir que é um termo polissêmico. Porque dentro de uma sequência didática, você tem tempo para fazer isso.

E3: Eu tenho a impressão que faria sentido evitarmos de usar o termo, mas ao mesmo tempo não sei se seria fácil explicar quando pensamos no Ensino Fundamental II, por exemplo, porque, normalmente, neste nível de ensino, não vemos conceitos de genética, mas, eventualmente, é preciso explicar o básico para terem essa noção de hereditariedade, que, de fato, existe uma informação genética e é isso que faz com que você seja parecido com seu pai, por exemplo. Você vai precisar explicar isso para um aluno, sem explicar, acredito eu, detalhes da fisiologia celular. E se a gente não vai utilizar o termo informação genética, o que a gente vai explicar para um aluno de oitavo ano? Que basicamente a ideia seria substituir por termos como sinônimo de conjunto de genes, então utilizar termos como genótipo, tradução e transcrição, mas acho que não seria o ideal para um aluno de nono ano, por exemplo. Então me parece um pouco limitada essa opção.

E1: Mas será que para o Ensino Fundamental não seria viável usar o recurso didático de desenhar o DNA e aí tem as bases, aí fazer aqueles esquemas até chegar no cromossomo, sabe? E aí você dá uma explicada geral que metade do seu material genético vem de um de seus progenitores e metade vem do outro e você pode definir isso como informação genética em um primeiro momento, porque para as coisas que você vai tratar no Ensino Fundamental, creio eu que seja útil. Você não vai precisar tratar uma coisa tão aprofundada, como você falou.

E6: Talvez citar DNA ou material genético, resolvesse o problema. Talvez não seja o ideal, não deixa tudo claro, mas talvez funcionaria. Eu me pergunto também, até que ponto informação genética está resolvendo o problema, ou é uma coisa tão nebulosa que acaba abarcando tudo. Eu concordo que acho que é mais didático explicar que carrego informações genéticas do meu pai do que dizer que tenho um DNA que veio dele.

P: Eu fiquei me perguntando se é diferente dizermos que “metade do material genético veio do pai e metade da mãe” de “metade da informação genética veio do pai e metade da mãe”. É diferente?

E3: Tenho a impressão que sim.

E1: Eu acho que sim, senão o material genético seria informação genética.

E2: Mas onde está a informação genética?

E1: Está no material genético, mas não é o material genético.

E2: É a parte pelo todo.

E6: Eu acho que nesse ponto você deixou claro que material genético é sinônimo de informação genética. Mas talvez mencionando essa palavra no meio de uma aula, talvez não ficasse claro. E talvez isso seja uma defesa de não usar esse termo.

ENCONTRO 09 – 10/OUT/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

Os participantes dividiram-se em trios para analisar a transcrição do encontro de 05 de julho.

P: Vocês poderiam compartilhar quais foram os problemas que vocês encontraram nas falas, por favor?

E3: Eu estava refletindo sobre até que ponto precisamos desse termo “informação genética”, partindo da ideia de que, talvez, poderíamos simplesmente utilizar a ideia de material genético, que normalmente é o que, de fato, estamos querendo dizer nestas situações. Apesar de que podemos discutir que talvez informação genética seja algo mais amplo, mas a impressão que tivemos até agora, por enquanto, é de que é isso, quando usamos esse termo estamos querendo nos referir ao material genético. E o que eu fiquei me perguntando e que ainda não concluímos é se, de fato, teria alguma situação em que a gente use informação genética, mas que não poderia usar o termo material genético. Se houver algum contexto assim, então, talvez, de fato a gente possa dizer que são termos diferentes e precisamos dessa separação. Ainda não consegui pensar se tem algum.

E6: Se eu puder complementar, eu também não consigo pensar em uma situação em que o termo informação genética seja um termo realmente útil e preciso. Quando a gente pensa na questão do material genético em si, material genético me parece um termo mais preciso. E quando estamos falando de questões mais abrangentes, como ambientais e de cultura ou de aprendizado entre os indivíduos, parece-me que, se a informação é genética, a informação genética deve se concentrar próxima ao material genético porque me parece que se você quer se referir a questões comportamentais, parece-me mais adequado dizer “informação etológica”. Parece-me que não existe nenhuma situação em que informação genética seja o melhor termo a se usar, porque sempre haverá outro termo melhor.

E4: Eu pensei que talvez se a gente decidisse abolir esse termo, no momento de ensino, por exemplo, o termo me parece sugestivo. Então talvez o professor poderia pensar que não iria usar o termo por ser confuso, mas o aluno no momento do aprendizado estaria em uma aula de genética e poderia pensar que o DNA está passando informação para outro e chegar na conclusão do termo informação genética. Caso isso acontecesse, não seria um problema porque talvez seja legal discutir sobre esse termo entre biólogos, mas em uma questão pedagógica, tudo bem a utilização do termo. E aí acho que a gente se contrariou.

E6: Talvez a conclusão seja: não é um bom termo, em geral, existem termos melhores, podemos decidir não utilizar em sala, mas se ele surge a partir de um estudante, não é um problema porque podemos, inclusive trabalhar com essa ideia como se fosse material genético ou compreender o que o aluno está querendo dizer. Talvez não atrapalhe, mas parece que não contribui.

E1: Uma das problemáticas que eu pensei enquanto o E3 falava, é isso que o E6 falou. Esse termo pode surgir por forças que não são dos professores. Podemos decidir que não vamos usar o termo nunca, mas aí quando você abre um livro, o termo está ali, quando você vai passar um vídeo, é a primeira coisa que o cara fala. Aí acho que cabe uma explicação, mas explicando você já está atribuindo um significado, né? O máximo que eu vejo seria, dependendo da situação, se estiver falando da coisa física do DNA, então nesse caso é o material genético. Só que eu não acho que estudar material genético todas as vezes seja bom porque se estivermos falando de expressão do material genético, você poderia dizer “é a expressão do material genético”, mas eu acho um pouco contraditório a gente dizer que sempre teria material genético. Às vezes seriam outras coisas ali, né?

E6: Então, mas eu acho que seja nessa linha. Porque, o que você quer dizer com informação genética? Às vezes é material genético, às vezes você está se referindo ao DNA ou RNA. Você está se referindo à tradução? Ou transcrição, à regulação gênica, ou a qualquer outro aspecto. Parece-me que nunca informação genética é um termo melhor. Parece-me que sempre tem um termo mais preciso que não gera confusão. Pelo menos no que estamos discutindo.

E1: É, não consigo pensar em nenhuma situação em que informação genética seja um termo indispensável.

E6: Acho que esse é o problema. Existem outras palavras que são polissêmicas, que não dá para trocar, como adaptação, que já discutimos, mas que eu acho uma palavra valiosa e com significados bem definidos. Você consegue diferenciar os conceitos e definições do termo. Já informação genética, temos dificuldade em dizer o que é, então não me parece o caso. Ela é polissêmica e os diferentes sentidos não parecem ter diferença clara. Você tem que analisar o contexto, mas muitas vezes não fica claro mesmo assim.

P: Qual é a função do DNA?

E4: Me vem muito na cabeça passar informação.

E6: Armazenar informação, eu diria.

Risos.

P: Sempre que queremos explicar a função do DNA, acabamos utilizando a palavra informação. Então, como substituir? Ou não precisamos substituir? Qual é a função do DNA?

E3: Não poderia ser a expressão proteica? Expressar...

E6: Me parecem dois caminhos principais. Talvez o termo genético não seja necessário, material genético armazena informação. Ou, a partir da ideia de que, em alguns momentos me veio à cabeça, que é a questão do potencial. A informação seria o potencial. Partes do material genético regula, parte se torna RNA, outra parte faz sei lá o que.

P: Então para explicar a função do DNA precisaria dizer todas as possibilidades?

E1: Acho que acaba falando demais de uma coisa que se fosse informação genética o aluno aceitaria e acabaria.

E2: Então vamos continuar usando informação genética. *Risos.*

E1: Chegamos à conclusão de que talvez quando falar sobre informação genética no âmbito molecular, falar em leitura de pares de bases seria um pouco melhor. Aí começamos a ler o texto e lemos quatro das falas. A primeira delas estava meio curta, então não tivemos muitas conclusões, mas concordamos que célula-mãe célula-filha talvez tivesse que ter um pouco mais de explicação, mas não era o melhor problema. Aí chegou na parte do nível molecular, a partir da terceira fala. Falaram sobre a expressão dos pares de bases e tem a ligação com a quarta fala, porque a pessoa fala que essa parte de formar uma proteína seria traduzir aquilo que o DNA está carregando em uma informação para o receptor que seria a própria célula. Aí discutimos que talvez aqui estivéssemos falando em dois tipos de informação. Porque tinha dito que uma informação é a informação do DNA e a impressão que eu tenho lendo essa fala é que ele teria que ser traduzido em outra língua, entre aspas, para que a célula consiga interpretar isso. Então, uma informação sairia do DNA e ela seria traduzida em proteínas e enzimas e aí na célula, ela poderia ser utilizada.

E2: Basicamente, é isso. Ao invés de ficar com uma definição, é como se tivessem duas informações genéticas diferentes. Eu defendo que tem uma só. Mas o E1 acha que são duas.

P: Vocês disseram que uma melhor expressão poderia ser leitura de pares de bases. Quando dizemos isso, estamos pensando em termos de metáfora. O que está acontecendo? O que é a leitura dos pares de bases?

E2: Tradução do DNA.

P: Tradução pode ser outra metáfora.

E3: Não é da transcrição que vocês estão falando, nesse caso?

E2: Transcrição de RNA?

P: Todas essas palavras são emprestadas de outras. Elas expressam ações que fazemos com informação ao nível da comunicação, ao nível da linguagem: leitura, transcrição, código. Até o próprio nome dos fenômenos são “transcrição” e “tradução”. Sobre o que estamos falando?

E1: Eu penso no desenho, pareamento de bases.

E3: Sim, não é basicamente isso? A criação de uma fita de RNA a partir do emparelhamento de bases?

E6: Ação de enzimas, DNA polimerase, RNA polimerase...

E1: Sim, construindo outra fita.

Pesquisador fez uma explicação sobre metáfora a partir do conceito de Lakoff e Johnson. Indicou que falamos acerca do DNA em termos de “leitura” e que pode ser uma metáfora.

P: O domínio que já conhecemos é a comunicação. O domínio alvo que é desconhecido e queremos conhecer por meio da metáfora. Seriam os fenômenos moleculares. A metáfora se estrutura porque existe um aspecto compatível entre o domínio alvo e o domínio familiar. A gente passa a entender o domínio alvo porque entende o domínio familiar. Qual é o aspecto compatível entre a comunicação e os fenômenos moleculares? Como poderíamos elaborar uma frase explicitando esses aspectos compatíveis? Por exemplo: a comunicação é compatível com os fenômenos moleculares porque, assim como acontece a transcrição de uma palavra, molecularmente acontece... O quê?

Tempo para reflexão.

E4: Passagem de informação.

E1: A transcrição não seria a questão de montar uma nova fita? Vai emparelhando as bases e montando a fita nova.

P: Será que é isso que queremos dizer com passagem de informação? Conversão? Mudança?

E1: Creio que sim.

E6: Correspondência.

P: Correspondência? Porque quando estamos transcrevendo...

E2: É como se estivesse copiando alguma coisa. Criando algo semelhante ao que eu já tenho. Certo? Então é esse o fenômeno? Eu conseguir duplicar... não é duplicar porque não é igual, é com outra base no caso do RNA. Meu deus, eu não sei.

E4: Parece que está interpretando, mas também com uma potencialidade. Como a gente lendo um manual de instruções, a gente está interpretando aquilo que a gente quer fazer. Se estou lendo um manual de como montar algo, a fita, parece que está fazendo a leitura desse manual que é a informação que tem uma potencialidade. Eu vou montar essa fita para algo. É isso que eu penso. Tem uma informação sendo passada, sendo lida, sendo interpretada, para posteriormente ter uma função.

P: Eu acredito que seja a ideia de correspondência que sustenta a metáfora.

E2: Então é uma correspondência, no caso da leitura e da tradução entre as bases do RNA e do DNA?

P: E depois dos aminoácidos. Então este é o aspecto compatível da metáfora. E os aspectos incompatíveis? Por que a comunicação é diferente dos fenômenos moleculares?

E1: Porque na comunicação estamos usando uma língua e nos fenômenos moleculares é outro código.

E6: A comunicação é sempre um recorte e os fenômenos moleculares são mais abrangentes e complexos. A gente nunca será capaz de abarcar tudo o que está acontecendo na maquinaria celular, mas fazemos um recorte do que é principal.

E2: Acho que outra coisa incompatível é o nível de organização. Um está ao nível molecular e a comunicação está acima do organismo ainda.

E1: Tem os fenômenos psicológicos.

ENCONTRO 08 E 09 – 09 E 10/OUT/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES

Figura 21. Representação de E1 para responder “o que é informação genética”.

Informação genética

Por informação genética, entendo duas coisas, em duas instâncias:

- Informação genética para os mecanismos de replicação do DNA → genoma + célula

ACTGAATGGCACCCATTA

Informação genética para a replicação do DNA → expressão de um código

Ilusão horizontal / molecular

- Informação genética como expressão fenotípica do genoma → genoma + organismo + meio

- Olhos azuis
- Sabelas castanhas
- Pele negra
- Altura

Características herdadas por um conjunto de informações genéticas

Ilusão vertical / transgeracional

⇒ O mesmo genoma, outro ser vivo, não tem a mesma expressão, portanto esta outra informação genética

Fonte: Produzido por E1.

Figura 22. Representação de E2 para responder “o que é informação genética”.

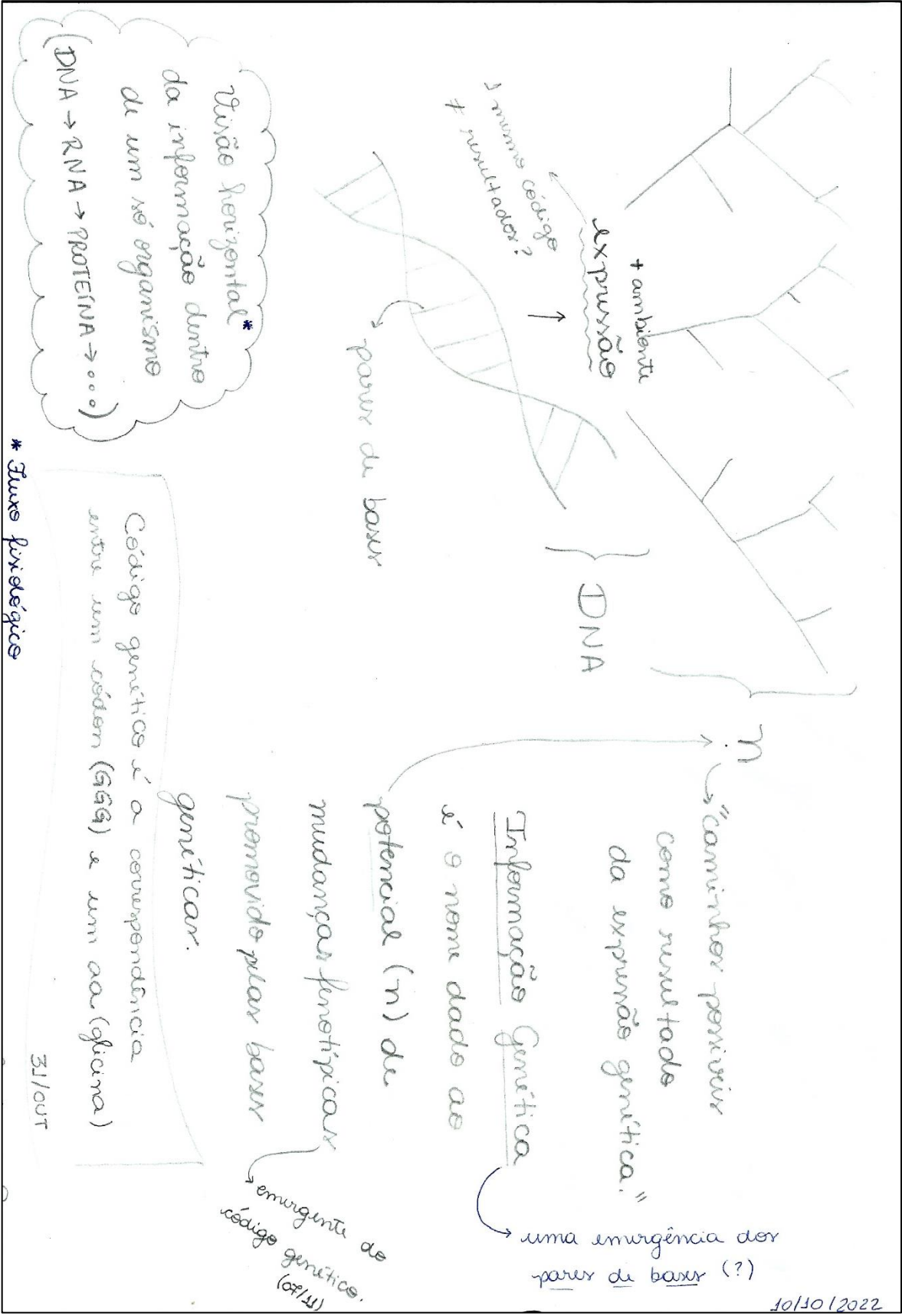


Figura 23. Representação de E4 para responder “o que é informação genética”.

03/10/22

“Informação genética” pode ser utilizada em vários contextos, se referindo a diferentes coisas, às vezes um processo como na passagem dos genes no momento da fecundação ou até mesmo na constituição e estrutura de uma molécula (molécula de DNA, por exemplo). Ambos contextos possuem potencial de provocar uma alteração no receptor desta informação, podendo ser este uma molécula, uma célula ou até mesmo um organismo todo. [Esta definição sustenta a ideia de que o fluxo da informação genética é tanto fisiológico quanto evolutivo pois está presente nos processos fisiológicos que ocorrem nos organismos vivos e na passagem de informações entre as gerações o que aponta seu caráter evolutivo.

Será que aceitar a polissemia do termo é o primeiro passo? E elencar quais contextos este pode ser utilizado.

material genético é informação genética, mas informação genética não é só material genético.

10/10/22

Em um primeiro momento quando tive que falar sobre informação genética, acredito que eu tenha respondido de imediato com a primeira coisa que me veio à cabeça (célula-mãe e célula-filha). Com os encontros entendi o quão amplos são os contextos que “informação genética” está inserida.

Informação genética é um termo sugestivo, talvez não seja usado pelo docente em sala de aula, mas pode ser trazido pelos próprios alunos.

questões evolutivas
ecológicas
etológicas

pensar sobre o termo
código genético
prox encontro

Fonte: Produzido por E4.

Figura 24. Representação de E5 para responder “o que é informação genética”.

O que é informação genética?

Informação genética ^{é o conjunto de} ~~é~~ proteínas contidas no DNA que são herdadas dos progenitores e podem, ou não, expressar alguma característica no indivíduo.

↳ Nessa forma, a informação genética (na definição acima) é o fluxo de informações entre as gerações (definição evolutiva)

10/10

~

Fonte: Produzido por E5.

Figura 25. Representação de E6 para responder “o que é informação genética”.

I. G. consiste num termo
polissemico. Em geral utilizado de
modo +/- abrangente no contexto
da genética molecular (transcrição
por exemplo).

Embora normalmente possa ser
utilizado em um contexto fisiológico
e também evolutivo, vejo boas razões
para o termo ser melhor posicio-
nado no primeiro.

Fonte: Produzido por E6.

ENCONTRO 10 – 17/OUT/2022: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

O pesquisador havia solicitado que os participantes respondessem à questão: “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”. Trata-se da mesma pergunta do formulário inicial.

E6: Eu tentei não utilizar o termo informação. Então dois terços do que eu escrevi foi diferenciando as características mais gerais do DNA e RNA. Em termos funcionais, eu tive dificuldade em definir sem utilizar informação genética.

Pesquisador questiona os participantes acerca dos aspectos incompatíveis da metáfora, retomando o fim da discussão do encontro anterior.

E1: O código que é usado. Na comunicação, a gente usa o código da linguagem, enquanto nos ácidos nucleicos, o código são bases nitrogenadas. Além do que, na comunicação, pressupõe-se um desenvolvimento psicológico para que algo possa ser interpretado e nos ácidos nucleicos, não.

P: Mas sempre precisa de uma dimensão psicológica? Se pensarmos em um computador que converte voz em palavras.

E1: Não sei se psicológico, mas um sistema que faz a conversão de que o que está sendo falado tenha um significado, como um texto. Em um celular não é assim.

P: O que garante que é a mesma informação quando estamos traduzindo uma informação ao nível de comunicação, por exemplo? O que garante que “house” e “casa” são a mesma coisa?

E6: Acho que o domínio das duas searas. Aquele termo tem um significado dentro do corpo linguístico. A partir do termo se constrói uma frase e se faz as coisas terem sentido. E é um signo que a gente vai imaginar aquele arquétipo que tem um telhado, duas janelinhas e cabe nas duas situações semelhantes. Neste exemplo, talvez seja tranquilo porque é uma coisa bem universal, bem básica. Existem alguns termos que não vamos encontrar tradução porque faz sentido naquele corpo linguístico, mas não faz sentido em outro.

E1: No caso da comunicação, “house” e “casa” correspondem ao mesmo arquétipo em linguagens diferentes.

P: Mas como se constrói essa correspondência?

E6: Acho que por comparação.

E1: A correspondência entre “house” e “casa”, ou entre “house”, “casa” e o arquétipo, ou entre casa e “casa”.

E4: Os dois têm a mesma funcionalidade. A gente tem que tentar entender a definição de informação na comunicação, e aí a gente não encontrou essa definição. Acho que esse é o problema. Tentar entender isso na metáfora fica ainda mais difícil.

P: Eu acho que é isso. Ainda não conseguimos validar um significado compartilhado. A correspondência entre uma palavra e seu significado, é construída socialmente. E como a correspondência ao nível molecular é construída? Por que eu sei que um determinado códon corresponde a um aminoácido?

E1: Evolutivamente.

P: Como assim?

E1: Na comunicação é socialmente, aprendemos que a sonoridade “casa” quer dizer casa. A nível genético, estamos falando do mecanismo evolutivo, né? Tal códon codifica tal aminoácido, ou tais códons codificam tal aminoácido. Agora, como isso aconteceu...

E5: Mas aí é social também porque a primeira vez que eu ouvi isso foi na escola. Aprendi que esse códon corresponde a esse aminoácido... foi na escola.

E1: É o nome que a gente deu porque ainda são coisas diferentes. Ao nível molecular isso existiria independente do nível construído socialmente, a gente só não entendia.

E2: Porque no fim das contas, a gente nunca vai ver o processo acontecendo, a gente sabe por que estudaram. Não dá pra gente pegar e olhar o DNA.

Pesquisador pede para que participantes comentem sobre a denominação “RNA mensageiro”.

P: Por que dizemos que o RNA é “mensageiro”? Qual é o aspecto compatível entre o funcionamento desse RNA e alguém que leva uma mensagem?

E3: De certa forma, é como se ele estivesse transferindo a sequência de nucleotídeos do DNA até a região do ribossomo para formar a proteína. Por isso que a gente faz essa metáfora.

P: Isso garante que a correspondência se mantenha, né?

E6: E o curioso é que ele não funciona como mensageiro, ele é a mensagem, né? E a gente chama ele de mensageiro.

E4: Eu pensei no que o RNA está carregando, que é a sequência. Ele não é mensageiro, ele é a própria mensagem. Então, no caso, a informação seria o RNA mensageiro.

O grupo passou a discutir acerca da manutenção da informação ao longo do tempo.

P: Mudar de bases nitrogenadas para aminoácidos seria uma mudança de linguagem?

E1: Acho que não porque temos correspondência, né?

E2: Um mesmo aminoácido pode ser formado por diferentes códons.

E1: Mas um códon só dá origem a um aminoácido. Só se mudar, que no caso, seria mudar a linguagem, mudar a ordem. Aí seria uma informação diferente.

E2: Sei lá.

E1: Não sei.

E2: Mas eu fiquei pensando na similaridade da comunicação com o mecanismo em si. Porque na evolução vai sendo preservado aquilo que está sofrendo menos dano de acordo com o tempo, é como se fosse um processo mais eficaz. Do mesmo jeito que a gente faz com a sociedade, que casa é “casa” porque um dia alguém falou isso e percebeu que fez o mesmo sentido para mim e para aquela pessoa, então vamos manter isso. Então tem gramática, tem várias coisas que a gente estuda para tentar manter nessa mesma ordem, sabe? Para toda vez que alguém dizer “casa” todo mundo entender casa. E aí, por que não na evolução ter algo parecido, sabe? Toda vez que eu falo aquele conjunto de códons, aí você pensa naquela mesma proteína.

E6: Acho que essa é a chave. Acho que o que estamos tateando é o que diferencia a vida do que não é vivo, afinal. É uma lógica muito simples. Se a gente tem muita coisa acontecendo em termos físicos, químicos, se tiver alguma coisa que tem capacidade de se autoduplicar, ou continuar causando correspondência nela mesma, ela vai continuar fazendo isso. Então ela vai

se proliferar. É como uma piada boa, ela fica se repetindo, por isso que todo mundo conhece. Esse é o ponto, essa é a correspondência, é algo que continue mantendo aquele vínculo. Se funciona, está repetindo.

P: O que é funcionar?

E6: Continuar mantendo a correspondência. Acho que isso é funcionar, nesse caso.

E2: Eu conseguir passar de geração para geração, pelo menos uma essência do que era. Ela não vai ser a mesma coisa, vamos mudando as palavras e tudo mais. Desse mesmo jeito que vamos mudando, a sequência do DNA também não é a mesma, por isso que a gente é diferente, mas a essência, ainda é a mesma. Sei lá, do que a gente tem hoje e do que era a vida ancestral.

E6: É uma constância com potencialidade. Aquilo continua, mas é possível ficar melhor ou pior, mais eficiente ou menos eficiente a partir de uma lógica de seleção natural. Que é diferente do que acontece com o oxigênio reagindo e virando ozônio e volta para oxigênio e mantém. O DNA pode se duplicar e se tornar mais eficiente na sua própria correspondência, embora pareça muito genecentrismo isso.

P: Existe uma tendência à eficiência?

E6: Não acho que seja uma tendência à eficiência. Acho que é uma tendência enquanto essência. Acho que é uma questão de lógica e probabilidade. É a lógica da seleção natural. Se todo mundo gerar infinitos descendentes, alguma coisa, se a gente não admitir que é o caso, então algo está facilitando ou dificultando aquela manutenção. E eu acho que o ácido nucleico é muito bom em fazer isso.

E2: Não precisa tender à eficiência. tem uma coisa que existe e essa coisa é muito eficiente, mas não que todo caminho leva à eficiência. Mas isso surgiu e era eficiente e vai continuando.

E1: Mas o que era eficiente, nesse caso eu me perdi, seria a correspondência entre códon e aminoácido?

E2: Acho que todo mecanismo, desde o DNA, o formato que ele tem, as correspondências que ele faz...

E4: Acho que não seja uma tendência à eficiência, mas à permanência. Pensei muito nessa palavra: permanência. Nos dois mundos, independente dos processos que estejam acontecendo,

essa informação chegou porque alguém disse, no sentido da comunicação, ou ela chegou através de um sinal químico, uma percepção física, como em uma semente quando ela cai no chão. Ninguém diz pra ela germinar, mas ela tem esse potencial de permanência. Por uma questão física ou química, ela percebe, talvez não seja a melhor palavra, mas ela percebe. Acho que nesses dois mundos a questão é a permanência. Mas não que necessariamente seja eficiência.

ENCONTRO 10 – 17/OUT/2022: REPRESENTAÇÕES DOS ESTUDANTES

Figura 26. Representação de E1 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”

Os ácidos nucleicos são duas das unidades básicas do funcionamento da replicação celular. Em níveis de organização inferiores, temos os códons e as bases nitrogenadas (A, T, C, G).

Dessa forma, esses ácidos nucleicos estão envolvidos na replicação celular, como abertura do DNA pelo proteíno polimerase, e a síntese (confeição) de uma fita de RNA (correspondente) pelo maquinário da replicação celular. A partir disso, dá-se origem ao RNA, que tem várias funções, mas é usado para a confecção de uma nova fita de DNA, que estará obrigada em uma das células filhas.

No caso da meiose, o material genético passará pelo crossing-over, e será transmitido ao zigoto, juntamente com o material genético do outro/outra progenitor(a).

Esses ácidos nucleicos, ademais, são decodificados para organizar os aminoácidos em proteínas, que constituirão, em conjunto, o fenótipo do organismo.

Fonte: Produzido por E1.

Figura 27. Representação de E2 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”

Os ácidos nucleicos são estruturas moleculares organizadas em forma de fita simples (RNA) ou dupla (DNA), que são armazenadas, nos seres eucariotes, no núcleo celular. O funcionamento desse material genético, contido no núcleo, se dá por meio dos processos de transcrição e tradução dos pares de bases que formam a fita em unidades de proteínas, que posteriormente (em conjunto) poderão atuar na fisiologia e morfologia do organismo como um todo.

Fonte: Produzido por E2.

Figura 28. Representação de E3 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.

- Os ácidos nucleicos são organizados em nucleotídeos (adenina, guanina, timina, citosina e uracila).
 - ↳ Apenas DNA
 - ↳ Apenas RNA
 - ↳ Há a composição de fosfato e de uma pentose.
- O DNA possui uma estrutura helicoidal dupla fita. Enzimas como DNA-helicase, DNA-polimerase auxiliam no processo de duplicação e transcrição.
- A transcrição envolve a formação de RNA a partir de uma fita de DNA.
- O RNA, a partir dos ribossomos (RNAr), será traduzido. Ou seja, cada sequência de trincas no RNA (códon), terá um RNAt correspondente (anticódon), o qual carrega um aminoácido correspondente. A união dos aminoácidos forma a cadeia polipeptídica.
- A cadeia polipeptídica pode formar hormônios, partes estruturais do corpo e enzimas atuantes no metabolismo.
- O ambiente pode influenciar por meio de mutações (mudança da sequência de nucleotídeos) e metilações, de forma a inibir ou expressar certos genes.

Fonte: Produzido por E3.

Figura 29. Representação de E4 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.

os ácidos nucleicos atuam na leitura, transporte e síntese de proteínas a partir do código genético armazenado no DNA. suas funcionalidades vão desde sintetizar até armazenar.

permanência
continuidade

Fonte: Produzido por E4.

Figura 30. Representação de E5 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.””.

17/10/22

Os ácidos nucleicos ^{ou polímeros} são formados por bases nitrogenadas (no caso do DNA, por G, C, T, A e no caso do RNA, por G, C, A, U), um açúcar com cinco carbonos (no caso do DNA, por desoxirribose e no RNA, a presença de ribose) e um grupo fosfato. ~~Essas bases são~~ ~~antes cada~~.

O DNA localiza-se, principalmente, no núcleo celular (algumas exceções: DNA mitocondrial) e, em conjunto com uma série de enzimas, regula a transcrição, tradução e duplicação do material genético que, possui como produtos diversos tipos de RNA e proteínas.

⇒

Fonte: Produzido por E5.

Figura 31. Representação de E6 para responder “Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são moléculas essenciais para a manutenção da homeostase do organismo, para a manutenção da espécie ao longo do tempo, e estão envolvidos em diversos processos moleculares da célula. Explique a função e funcionamento dos ácidos nucleicos nos organismos vivos.”.

17/10

Estrutura e funcionamento dos Ácidos Nucleicos

Ácidos nucleicos são polímeros de nucleotídeos que são categorizados em 2 grupos principais em termos estruturais.

Cada nucleotídeo é sempre constituído por 3 elementos básicos: grupo fosfato; pentose; base nitrogenada.

Enquanto a estrutura do fosfato é constante nas 2 moléculas, a pentose é o que dá o nome e as diferenças primordialmente: ribose para o ácido ribonucleico e desoxirribose (ribose - 1 Oxigênio) para o ácido desoxirribonucleico DNA.

Além disso, o último terço (bases nitrogenadas) representam uma maior variedade, existindo 5: timina, adenina, guanina, citosina e uracila. A primeira se encontra apenas no DNA enquanto a última apenas no RNA, ao passo que as outras 3 constituem ambas moléculas. Finalmente, em geral o DNA é uma molécula maior, mais estável e formada

(continua)

por 2 fitas de cadeias nucleotídicas, enquanto o RNA costuma ser menor, menos estável e de fita única.

Funcionalmente os Ácidos nucleicos exercem um papel de coordenação e mediação sobre e dentro a maquinaria celular de procariotos e eucariotos, além de atuar de maneira análoga na replicação viral.

ENCERRAMENTO

Encontro 13 – 09/JAN/2023: Transcrição da gravação

Encontro 14 – 16/JAN/2023: Transcrição da gravação

Encontro 15 – 30/JAN/2023: Transcrição da gravação

Respostas do questionário final

ENCONTRO 13 – 09/JAN/2023: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

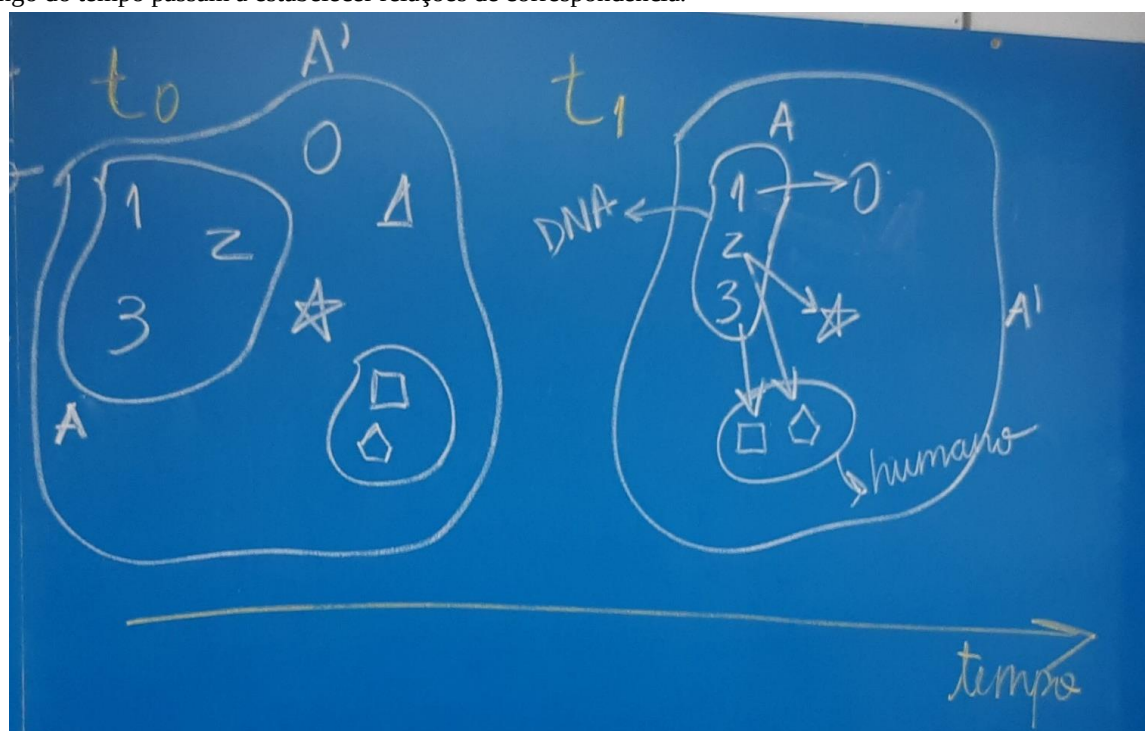
O pesquisador apresentou uma proposta de definição de informação (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2002) para validação no grupo.

Figura 32. Proposta de definição de informação apresentada ao grupo.

Informação: o padrão específico de elementos de um dado conjunto A que estabelece uma relação de correspondência previsível, convencionada, estabelecida historicamente a partir de restrições químicas, físicas, biológicas, culturais e/ou de forma contingente com elementos de um outro conjunto A' .

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 33. Diagrama representando a definição de informação indicando elementos dos conjuntos A e A' que ao longo do tempo passam a estabelecer relações de correspondência.



Fonte: Elaborado pelos autores.

P: Informação é o padrão específico de elementos de um dado conjunto A que estabelece uma relação de correspondência previsível, convencionada, estabelecida historicamente a partir de restrições químicas, físicas, biológicas, culturais ou de forma contingente com elementos de um outro conjunto A'. Temos um conjunto A que está dentro de um conjunto A'. Ao longo do tempo, cada um dos elementos dentro do conjunto A vão estabelecer relações de correspondência com os elementos do conjunto A'.

Pesquisador convidou os participantes para tentarem interpretar exemplos biológicos ou concepções prévias sobre informação a partir da nova definição.

E1: Eu acho que o exemplo que mais salta, talvez por ser a coisa que a gente viu por último, seja a correspondência entre códons e aminoácidos. Faz parte do artigo que a gente leu, né? Havia os códons e aí com o tempo eles começaram a ter correspondências com os aminoácidos e isso se tornou uma informação.

E3: O DNA não codificante então não seria uma informação?

P: Eu acredito que existam diversos níveis do que podemos entender como essa correspondência. Por exemplo, existe a correspondência entre códons e aminoácidos, mas nós seres humanos também estabelecemos outro nível de correspondência com essas moléculas porque para nós relacionamos aquela sequência de DNA com “não codificação”. Então esse significado cognitivo...

E1: É uma informação.

P: ... Eu acredito que também seja um elemento passível de correspondência. E por isso que é uma informação para nós.

E1: Sim. É bem abrangente mesmo porque pode ser tanto a correspondência entre aminoácidos e códons, como pode ser também a correspondência no nosso nível cognitivo, de que eu vejo o códon tal e sei que isso vai codificar tal aminoácido. A gente espera, então é previsível que ele codifique tal aminoácido.

P: Isso. O aminoácido é uma informação e aquilo que a gente espera é outra informação.

E3: Eu entendi da parte codificante, mas da não codificante acho que eu ainda não entendi muito bem.

P: O significado seria o outro elemento. Por exemplo: vamos supor que este elemento seja o DNA e aqui temos sequências que correspondem a aminoácidos. E ainda existe o significado que essa sequência tem para um ser humano. Este seria uma sequência codificante que corresponde a essa proteína. Mas, o ser humano ainda não descobriu que esta sequência existe, então não haveria uma relação com a gente. Outra sequência de DNA codifica uma proteína e sabemos que isso acontece, então o fato de sabermos disso é uma informação. Nós correspondemos um fenômeno biológico com um significado dentro do nosso sistema de linguagem. Uma outra sequência que não é codificante, mas é conhecida por nós, também pode ter um significado dentro da nossa cultura, então também seria uma informação.

E3: Mas nesse caso, se a gente pegar um animal que ainda nem sabemos que existe, estaríamos partindo da ideia de que ele não tem informação genética. É isso?

P: Ele pode ter, mas não sabemos qual é.

E1: Não sabemos a informação.

E4: Então a informação, para a gente, depende da interação com qualquer coisa.

P: Com elementos de um outro sistema.

E1: A relação é imprescindível para você saber a informação. Eu pensei também em uma anamnese de médico mesmo. Tem os sintomas e a doença. Quando você relaciona com outro, é uma informação, a partir do sintoma, é previsível que seja aquela doença. Já, se é um sintoma que você não sabe qual é a doença correspondente, não é uma informação. Você só sabe que tem aquele sintoma.

E3: Acho que ainda não entendi. Um ser vivo qualquer que a gente nem faça ideia do que ele tem como material genético. Só imaginando, no mundo das ideias, que ele tenha um trecho de DNA não codificante. A gente não sabe. Não faz nem ideia. Esse trecho de DNA não codificante que, possivelmente, ele tenha é uma informação genética? Pelo menos partindo dessa definição. Eu tenho a impressão de que no nosso dia a dia, a gente trataria como uma informação. Temos que preservar aquela espécie, porque, apesar de não conhecê-la, ela pode ter uma informação genética que pode ser importante.

P: Acho que quando dizemos assim, poderia ser importante no sentido de que mesmo não resultando em um produto proteico, a gente consegue estabelecer relações entre isso que a gente

vê com, por exemplo, um processo de especiação. Como na genômica comparativa, por exemplo, a gente vai pegar esse trecho, comparar com outro e isso vai ter um significado pra gente, mesmo que isso não signifique nada. Então, nesse sentido, poderia ser uma informação. Mas, enquanto a gente não sabe que isso existe, não sei. Fica em um nível hipotético.

E1: Eu acho que a informação de que é um animal, por exemplo, supondo que seja um animal que a gente não faz ideia do que tem no material genético, a informação de que é um animal, na verdade, só vem quando a gente comprovar que ele tem célula animal e que ele é um ser vivo, antes de tudo, né? Que ele faz síntese proteica. Óbvio que se você ver um animal grande se mexendo, é provável que seja um animal, mas essa informação só vem quando a gente vê que ele tem células animais, síntese proteica, tudo que caracterize ele primeiro como um ser vivo e, depois, dentro do Reino Animal.

P: Que são os elementos que a gente vai usando para fazer as correspondências.

E1: Sim, o padrão específico dos elementos. Então o padrão seria ter a célula sem parede celular, faz síntese proteica, enfim, tem outras coisas aí.

E4: Gostei muito dessa definição porque tem a questão da informação científica, mas a gente sabe que a informação mesmo ela extrapola esse campo do científico por conta das questões que você colocou: culturais, por exemplo. Eu acho que eu até já usei um exemplo aqui no meu discurso mesmo. Uma vez eu estava lendo sobre ideologia, e tinha uma questão sobre uma montanha. Como a montanha pode significar diferentes coisas para diferentes seres vivos. Ela poderia ser um lar para um animal, mas poderia ser uma fonte de dinheiro para um empresário, ou um lugar de trabalho para a pessoa que trabalha ali. Mas a questão é essa interação: eu interajo com a montanha e vou descrever essa informação e entendê-la. Depende de muitas questões.

E2: Esses elementos eles entram naquilo que a gente tinha comentado lá no começo do emissor e do receptor? Seria o A o emissor e o A' o receptor, alguma coisa do tipo? Como dois conjuntos que têm uma relação de correspondência e isso a gente chama de informação.

P: Eu acredito que quando falamos de informação não necessariamente exista emissor e receptor. Eu acredito que só existe emissor e receptor quando estamos falando de comunicação. E eu acredito que comunicação é um processo intencional.

E1: Faz sentido.

P: Então quando falamos de comunicação celular ou animal, acredito que estamos sendo metafóricos porque quem envia algo, o faz com a intenção de que alguém receba. E na Biologia as coisas simplesmente são produzidas e liberadas. Contingentemente, isso se encadeia com um outro organismo que acaba recebendo isso e tem um efeito. E ao longo do tempo, isso parece um processo coordenado e intencional, mas não é em sua origem.

E2: Não tem um emissor e um receptor. Certo, entendi.

E1: Sim. Voltando na correspondência entre códon e aminoácido, eles existiam antes de alguém estudá-los. Já era uma informação, já existia uma correspondência entre um e outro. Os códons seriam um conjunto, das bases nitrogenadas e outro conjunto seriam os aminoácidos. E, enfim, isso já existia antes de a gente saber, então não tem emissor e receptor. Então é uma informação, mas que ninguém tinha descoberto ainda.

E6: Nessa ideia, no comportamento animal, não existiria comunicação.

P: Eu acredito que não. Existem muitas interações que são processos altamente acoplados uns aos outros ao nível de que um é consequência do outro e que ao longo do tempo isso pode favorecer uma coisa ou outra e conseguimos enxergar padrões muito bem delimitados dentro disso. Mas eu acredito que não seja uma comunicação porque não é intencional. Por exemplo, um pássaro não tem a intenção de fazer um som para que o parceiro venha até ele. Ele emite o som e o parceiro acaba vindo. Então ele identifica um padrão específico de cores de um outro pássaro e associa essa informação com um produto comportamental que é emitir um som. Outro pássaro pode associar esse mesmo padrão com outro comportamento.

E6: E esses padrões seriam evolutivamente estáveis? Por isso que continuam acontecendo?

P: Acredito que sim.

E6: Concordo.

E4: Eu estou um pouco pensativa. Porque eu comecei a pensar em comunicação, por exemplo, através de feromônios, comunicação na questão comportamental de animais. Isso não seria intencional? Mesmo quando é comunicado com alguma intenção?

P: É possível dizer que foi com intenção?

E4: Ah, entendi. É que para mim, até hoje, era óbvio que sim. Agora estou chocada. Para mim era óbvio que um animal quer acasalar ele emite um som, para mim era óbvio que ele emite esse som porque ele sabe que ele vai conseguir aquilo, mas pensando agora nessa coisa de perpetuação da espécie, é algo que está na nossa biologia, né? Mesmo que não fôssemos racionais, faríamos isso.

E1: Mas eu fiquei pensando nessa questão da comunicação. E quando essa mudança acontece no mesmo indivíduo? Por exemplo, quando tem locais de muito barulho de construção, as aves ou cantam mais cedo, ou mudam de lugar. Podem vocalizar mais alto... E aí? Isso não foi a seleção natural. É no mesmo indivíduo. E aí ele começou a mudar o comportamento dele em resposta a um elemento a que os ancestrais dele não estavam submetidos. Nem os ancestrais da última geração nem os ancestrais de causas evolutivas. Eu fico meio confuso, mesmo sabendo que não é intencional.

E3: O que você quer saber, exatamente?

E1: A comunicação e a questão da informação que não é intencional. Nesses casos eu fico confuso. Porque esses padrões de comportamento e as características aparecem e são selecionados ou não por seleção natural ou por deriva. Mas e nesse caso quando é o mesmo indivíduo da mesma espécie. Quando ele muda o comportamento de resposta. Será que já existia essa predisposição a modificar o comportamento dele por razões genéticas ou sei lá qual? Ou será que não?

P: Essa predisposição é uma condição para que o organismo consiga mudar o comportamento. Ela veio de algum lugar. Se é genético, não sabemos.

E2: Mas pode ser comportamental, não pode? Porque é aquela questão de que entre as gerações eu não transmito apenas genes, também transmito outras informações, outras relações de correspondência. Talvez as aves que tinham a capacidade de se adaptar aos diferentes ruídos se mantiveram, enquanto as outras que não tinham essa questão de poder mudar o comportamento, não sobreviveram.

E3: Isso também pode ter sido selecionado. A capacidade de mudança.

E1: Sim. É que eu fico pensando que, na escala evolutiva, eu não consigo pensar em nenhum barulho na natureza que seja tão alto e tão frequente quanto um barulho de construção, por exemplo. Então talvez seja uma predisposição, só. Porque nessa intensidade, eu não consigo

pensar numa condição que tenha existido. É uma informação nova no mesmo indivíduo, né? Como essa relação acontece?

E4: Eu ainda não tive Etologia, então talvez tenha terminologias erradas, mas o som é novo, né? Mas a capacidade de perceber o som muito alto e perceber que esse som atrapalha na vivência do organismo isso se mantém entre gerações, né? Acho que essa percepção é transmitida e é importante ter uma flexibilidade para a sobrevivência porque a natureza nem sempre vai ter coisas iguais e parecidas, como o mesmo predador, por exemplo.

Mudança de assunto para falar sobre aprendizagem e ensino como processos de informação.

E5: No ser humano é intencional, mas nos animais não.

E1: Mas aí a gente pode falar de ensinar e aprender nos animais?

E5: É, então. É isso que eu fiquei pensando.

E1: Se você tem seu cachorro e diz “senta” e ele senta, é uma aprendizagem.

P: Outros animais não ensinam. Ensinam?

E1: Ensinam. Quando as aves ensinam outra.

E2: Ou quando aprendem canto.

E3: Mas ainda assim, não dá pra falar que é intencional. Porque ela não está racionalmente pensando que vai ensinar o filho.

E4: Eu estou pensando quando os filhotes da onça ficam treinando a caça. Na minha cabeça sempre fez sentido que a onça está pensando “olha gente, é assim que caça”.

E5: Ela até está fazendo isso, mas não é intencional.

E3: É questão de instinto.

[...]

E1: Podemos definir informação como um tripé de dois conjuntos e uma relação entre eles?

P: Eu creio que sim. É isso, o conjunto e a correspondência são as essências do conceito de informação. Toda vez que falamos de informação, falamos, pelo menos, de dois conjuntos e de uma relação de correspondência.

E1: Interessante.

E6: A seta representa a correspondência ou a informação?

P: A correspondência.

E6: E onde está a informação, então?

P: Nos elementos. Quando a correspondência existe.

E5: Eu acho que com exemplos, ia ficar mais claro. Eu ainda fiquei em dúvida na correspondência. Para mim parece que informação e correspondência são a mesma coisa.

E3: Correspondência faz parte da informação, né? Mas teria que ter esses conjuntos também. Esses elementos para ter informação. Correspondência seria o conceito que a gente usa para entender o que é informação.

E2: E eles só são essas informações porque existe a correspondência entre eles.

E3: Entendi.

E6: Agora entendi a dúvida que o E3 colocou aquela hora. E quando algo que estamos analisando não significa nada bioquimicamente falando. Então dizemos que é uma informação porque significa algo no nosso conjunto simbólico, de comunicação, pensamento, linguagem, enfim. Mas então, qualquer coisa é uma informação?

P: Para a gente sim, porque sempre existirá alguém olhando para um sistema, e a partir do momento que a gente olha para alguma coisa, ela se torna informação.

E6: De maneira racional e intencional.

E2: Por exemplo, não fazer nada é um elemento.

E6: Faz sentido.

P: A razão é um sistema de criar correspondências.

E3: Para você, a informação sempre tem que ser previsível? Estava pensando nesta palavra que está me incomodando.

E2: Eu acho que sim. Porque significa que você pode extrapolar para as próximas que aparecerem. Entendeu? Árvore corresponde à árvore na sua cabeça. Tem a informação da palavra árvore e do elemento árvore.

E3: Eu concordo que na maioria dos casos, sim. Mas será que em todos os casos? Eu não consegui pensar em nenhum outro exemplo. Mas está me incomodando, porque eu tenho a impressão de que devem ter casos em que a gente considera informação, mas que não necessariamente é previsível. Eu precisava pensar um pouco mais.

P: É que existe também o surgimento de informação, quando surge uma nova correspondência que não era prevista. Mas a partir do momento em que surge, será que...

E3: Mas então não era previsível, né?

P: É, eu estou pensando se ela passa a ser previsível ou não a partir do momento em que ela surge.

E1: Ela tem que passar por um processo de falseamento para ser previsível, né? Porque se isso acontecer só uma vez, não dá para dizer que ela passa a ser previsível. Se eu jogar um dado e cair dois, isso é uma informação de que ali eu estou vendo um dois, mas não é uma informação com relação entre dado e dois. Porque não é porque caiu dois uma vez que vai cair dois de novo. Pode cair outro número.

E6: Acho que, nesse caso, a análise tem que ser um pouco mais complexa, porque a gente sempre vai relacionar com algo. Então quando a gente cria um novo elemento químico, ele não existia antes, mas a gente entende que aquilo faz sentido naquele contexto porque a gente está analisando aquilo dentro de um contexto, de fato. No caso do dado, talvez não seja previsível que sempre vai cair o dois, mas você sabe que tem seis possibilidades ali, e você entende que um dado.

E1: É, a informação é que vai cair entre um e seis.

E6: Ou a relação possível de ser feita.

E2: Daí não sei se a gente consegue extrapolar essa metáfora para outras coisas. Penso que as possibilidades sempre podem ser uma informação.

E1: São várias relações, não é só uma seta.

E2: O padrão seria que os dados têm números. Isso é a informação.

E3: Uma informação deixaria de ser uma informação se ela for imprevisível?

E1: Não.

E2: Contando que ela seja estabelecida historicamente, isso é importante.

E1: É, potencialmente previsível.

ENCONTRO 14 – 16/JAN/2023: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

O pesquisador fez uma retomada do último encontro e convidou os participantes a compartilharem exemplos possíveis de informação a partir da definição apresentada no último encontro.

E4: Eu fiquei pensando que a informação está diretamente ligada à correspondência. Eu não sei se estou levando para algo maior, não sei se a gente estava pensando mais dimensão genética. Aí eu vi uma árvore e pensei que existe a informação de que isso é uma árvore, primeiro porque eu interagi e tem uma correspondência pra mim que isso é uma árvore. Depois eu fico pensando que talvez um organismo olhe para aquilo e não tenha a informação de que é uma árvore, mas ela ainda é uma informação, mas é uma outra correspondência. Para outro animal ela pode ser uma informação de um obstáculo, mas existe essa informação.

E2: No caso, essa correspondência que a E4 falou, o elemento do conjunto A seria o material árvore e o elemento do conjunto A' seria o significado da árvore? Do objeto físico?

P: Sim.

E1: Fiquei pensando agora que existem diferentes informações no objeto que é a árvore. Eu fiquei pensando que talvez a diferença entre os organismos difere quais informações se tem acesso e qual a linha que ele está considerando. A gente quando vê a árvore e pensa “árvore”, isso já é uma informação por si só, porque a gente vê um objeto e associa à palavra árvore, logo, a árvore continua sendo o A, mas o A' seria linguístico. Mas, nós, por exemplo, biólogos, também podemos olhar a árvore e pensar que ela pertence a um determinado clado. Isso é um A' diferente em comparação com o da linguística, mas uma pessoa leiga pode não pensar que a árvore seja desse clado, então uma informação a que ela não tem acesso. Mas ela também está vendo a árvore, então esses A' são diferentes. Então eu penso que talvez o acesso à informação seja qual A' que o organismo entende esse objeto dentro. Porque o objeto é um objeto material, ele está lá. Agora, dentro de quais A' eu vou encaixar, porque a gente vê uma árvore e não pensa em uma coisa só, né? A gente vê uma árvore, uma folha, podemos pensar na forma da folha, podemos pensar que tem um líquen na árvore. Então esses A' são as diferentes informações a que a gente tem acesso.

P: A informação é o objeto ou é o processo? Tenho a impressão que é o objeto.

E5: E a correspondência é o processo?

P: É.

E1: Como assim?

E2: A informação é o resultado do processo de correspondência, certo?

E1: É que eu pensava que em t1 o objeto um era uma informação em relação ao objeto da estrela [referindo-se *a elementos de um diagrama desenhado na lousa*].

E2: Mas você concorda que no t1 é aquilo estático e não é um processo? A informação está no t1.

E1: Sim, sim.

E5: Porque com o tempo houve correspondência.

E2: Sim, ele seria o resultado.

E1: Informação deve gerar o processo. Tipo uma foto.

[...]

E1: Eu tenho a impressão que nesse caso existem duas informações. Por exemplo, o caso do fogo. Se você coloca a mão em alguma coisa quente, tem a correspondência entre a coisa quente e o impulso que ela gera, e tem a informação que vai correr só no sistema nervoso, que é a informação do estímulo e a ação que você tem que fazer, que no caso é o arco reflexo. Eu tenho a impressão que nesse caso, a gente tem duas informações, porque são duas correspondências, né? Tem a correspondência entre o objeto que gera o estímulo, e o estímulo e a ação consecutiva.

E4: Mas eu entendo que parece muito mais ser uma correspondência química mesmo. Porque a gente sente calor, acho que não é assim que a gente pensa, recebe a informação e processa. Penso que já responde no ato, me parece mais uma coisa química.

[...]

E1: Mas aí eu não sei se é uma correspondência química.

E2: Químico, químico, não sei.

E1: Não tem uma reação química acontecendo no arco reflexo?

E2: Eu acho que é fisiológica, né?

E5: Ou física, também, né? O impulso elétrico... acho que é um conjunto.

E2: É um conjunto. É um negócio fisiológico, é um mecanismo complexo.

P: É uma emergência.

[...]

E4: Volta na discussão que a gente estava fazendo pensando se toda informação vai fazer com que aconteça uma ação. No caso, essa informação provoca uma reação.

P: Vocês acham que toda informação requer uma ação? O que seria gerar uma ação?

E5: A correspondência já não é uma ação?

E1: O que é uma ação nesse caso? Nesse caso fica óbvio que a ação seja o movimento, mas quando eu olho a árvore, todas as informações que vêm da árvore geram uma ação, porque se a ação for qualquer coisa que seja modificada, que seja por exemplo, um processo psicológico, aí tudo bem. Têm sinapses acontecendo por causa daquele objeto. Agora, se a ação tem que ser alguma coisa macro, física, aí não. Porque poderia ser qualquer processo derivado dessa relação.

E5: Então é a correspondência.

[...]

E1: Se ele se repete várias vezes, obrigatoriamente se torna uma informação?

E2: Não sei se precisa se repetir várias vezes.

E1: Por que isso gera outros problemas, por exemplo: quantas vezes?

E2: Acho que não precisa acontecer várias vezes, é só ter alguma coisa estabelecida, sabe? Para criar outros elementos da tabela periódica, aqueles últimos criados em laboratório. Quantas vezes eles foram criados? Não sei, mas basta que uma vez ele aconteça que eu tenho

estabelecido que algo foi comprovado. Vai ficar uma informação ali, sabe? Não sei se precisa ter algo repetido, desde que seja bem estabelecida.

E4: Acho que essa quantidade de vezes também para ser uma informação também depende do receptor e envolve as experiências.

P: O que você quer dizer com receptor?

E4: Eu fiquei pensando que quando eu olhei para a árvore, eu estava recebendo aquela informação e aí eu pensei em algum outro animal vendo ela como obstáculo, ele é o receptor porque ele está interagindo e está recebendo essa informação, mas também está percebendo por que tem a correspondência formulando essa informação, processando, né?

E1: Mas aí é mais de uma informação, né? Você olhando a árvore e olhando outras árvores são informações diferentes.

E4: São.

E1: Derivadas do mesmo objeto.

E4: Mas o que a gente tem em comum é a correspondência.

E1: Sim.

P: Quando a gente fala em informação genética, vocês acham que existe receptor?

E4: A gente já discutiu isso um dia.

E1: A gente tinha chegado a uma conclusão ao nível genético, não tinha?

E2: Sobre informação sim, mas a gente não estabeleceu quem era o receptor, quem era o emissor de alguma coisa. Cada um deu um palpite.

E1: É que com essa discussão de correlação, para mim, a informação genética são várias coisas. Porque depende de que nível a gente está falando, né? Se tem a informação genética a nível de códon se transformando em aminoácido, isso é uma correspondência, é uma informação. Se você for falar de proteína, e disser que tem tal códon, então tem tal proteína. Isso é uma informação também. E aí tal proteína vai desencadear tal efeito fisiológico que é mais uma

informação, porque é mais uma correspondência. Então, para mim, informação genética gera várias informações depois dessa discussão.

[...]

E1: Será que isso que a gente está chamando de informação não é uma metonímia?

P: Por quê?

E1: Porque a gente está chamando de informação uma coisa que na verdade são várias informações. O que a gente está fazendo é associar uma parte que seria o sono e a produção dos hormônios, com isso estamos representando, na verdade, um monte de processos que acontecem no meio termo.

E2: Sim.

E1: Então é uma representação da parte que seria sono ou a condição de dormir e o todo que seriam todos esses processos.

E5: Mas isso só acontece quando estamos falando de fenômenos biológicos? Por exemplo, nos fenômenos biológicos, a informação sempre vai ser uma sequência de correspondências. Porque várias coisas dependem para acontecer. Nunca uma coisa só vai influenciar isso, são várias coisas.

E1: É... então a gente sempre está caindo em uma metonímia, né?

E2: Até mesmo quando a gente fala que na ausência de luz, ocorre a produção de melatonina. Estamos comendo um pedaço muito grande, tem toda uma cadeia de informações até uma coisa realmente ser correspondida a outra.

E1: Se a gente chegar na correspondência pura, em uma correspondência, é um negócio mais intra possível. Aí podemos chamar de uma informação, mas tudo além disso é uma metonímia.

E2: É um nível de organização tão distinto do outro que quase não tem relação se você pegar isolado. Se eu falar que a ausência de luz vai modificar alguma composição dentro do meu olho, aí se eu for lá e analisar só essa composição, não está diretamente relacionado com a metonímia, sabe? Está dentro de um grande processo, então eu preciso da emergência de todas essas informações para que aconteça essa correspondência em um nível maior.

P: Eu não sei se eu diria que é uma metonímia ou se é uma mudança de nível hierárquico.

E1: Mas metonímia não pode ser mudança de nível hierárquico? Se a gente usar um nível superior para representar nível inferior. Acontece em clados, por exemplo.

E4: Eu acho que desde o começo a grande questão foi a associação de informação com a informação na área de comunicação. Aí na Biologia tem muito disso, né? Por exemplo, receptor, quando falamos de síntese proteica, falamos a “leitura” dos códons, deixa a gente muito presa e quanto maior de algo muito micro, de questões micro. Quando isso está presente na tentativa de definir, eu sempre chego na questão de receptor, quase que como uma carta. A carta é uma informação, alguém escreve, alguém recebe e diante daquilo pode ou não sentir algum efeito.

ENCONTRO 15 – 30/JAN/2023: TRANSCRIÇÃO DA GRAVAÇÃO

O pesquisador havia apresentado aos estudantes o caso da planta Boquila trifoliata a partir do livro “A Revolução das Plantas” de Stefano Mancuso.

P: O que vocês acham que acontece para que essa planta consiga mimetizar o hospedeiro?

E2: É muito complexo pois ela não está se alterando inteira: cada ramo está se alterando de forma individual, mas é o mesmo organismo.

E1: Como ela identifica o formato da folha que ela tem que ficar? Nossa...

E6: A única coisa que eu pensei foi tentativa e erro, mas eu acho que não seria nada viável, no caso da planta, né? Acho que demoraria muito para ter vários tamanhos, formas e cores.

E1: Mas é que são plantas diferentes, né? Se fosse tentativa e erro teria que ser muitas tentativas.

P: E como ela saberia que acertou?

E1: Não sei.

E6: Se a taxa de herbivoria fosse menor, não sei. Mas acho que não faz sentido, né?

E1: Mas ela tem que ter algum tipo de parasitismo, sei lá. Ela tem que interferir na outra planta para ter alguma informação sobre as sequências de bases que dizem respeito ao formato foliar.

E5: Ela não tem olho. Não dá pra ela reconhecer.

E1: É, ela não vai olhar a folha.

P: E como aconteceria esse processo de acessar a informação da outra planta?

E5: Eu só penso em parasitismo. Ela entrando no meio da outra..., mas ela não é.

E1: É, teria que ter alguma forma de ela ter acesso ao material genético dela. Não sei, pela seiva, não sei.

E2: Ela pode ir pela raiz, se a raiz dela entrar em contato com a raiz da planta vizinha. Ela também pode fazer por meio do caule, mas eu acho mais provável pela raiz.

E5: Será que tem fungo no meio? Fazendo a comunicação?

E2: Mas ainda assim ela ia ter que pegar a parte específica da folha, sabe? Porque ela não mimetiza o caule, as outras coisas. Ela mimetiza A folha. É muito específico.

E1: E a mesma planta consegue fazer isso em folhas diferentes.

P: Quando pensamos na definição de informação, a gente consegue aplicar a definição de informação nesse caso?

E1: A correspondência seria o formato foliar, né?

E5: É algo que aconteceu pela primeira vez. Então não está definido historicamente. Então entra? Ou não?

E1: Mas a capacidade dela de fazer isso é estabelecida historicamente, né?

E5: É verdade, a gente que não sabia.

E1: É.

P: A *Boquila* é um organismo capaz de construir essa correspondência.

Pesquisador fornece mais informações sobre o caso: hipóteses das substâncias voláteis e da transferência horizontal de genes.

P: Vocês acham que isso ajuda a entender?

E1: Ajuda porque a gente consegue entender com ela tem acesso ao material genético da outra planta.

E6: São hipóteses muito diferentes, né?

E1: Elas não podem ser coexistentes?

P: Podem. Mas as substâncias voláteis, são substâncias que a hospedeira produz, não são os ácidos nucleicos da planta.

E1: Mas então como isso ajuda ela a saber o formato foliar?

P: É a pergunta que fica.

E2: Mas se elas forem coexistentes, é como se fosse uma outra informação que ela vai ter sobre a planta hospedeira, sabe?

E1: Mas o tipo de substância volátil que ela produz tem correlação com o formato foliar dela? Se não tiver, não vejo como isso ajuda.

E5: Tem que ser muito específico, né? Porque se outra planta também liberar as mesmas substâncias voláteis, isso não poderia confundir?

P: Ou às vezes é a quantidade ou a combinação, né?

E2: Mas eu gosto da hipótese das bactérias.

E5: É. Acho mais segura.

E1: Mas fiquei pensando que talvez em outras espécies de lianas, isso aconteça também, porque não é possível que a bactéria só faça isso na *Boquila*. Então talvez deva acontecer isso com outras plantas, mas só a *Boquila* tenha a capacidade de interpretar essa informação, com todos os problemas que essa frase tem e daí modifica a folha dela.

Pesquisador comenta sobre estudo que identificou a mimese da planta crescendo sobre plantas artificiais.

E5: Ela vê, ela enxerga.

E1: Agora tudo que eu sei que eu já sabia, eu não sei.

E2: Então não tem relação com o gene da hospedeira. Ela faz isso sozinha. É como um camaleão imitando a cor das coisas.

E1: Mas o camaleão vê as cores.

E2: Mas ele não precisa ter acesso ao gene da coisa para mudar a cor. Ele tem uma outra forma de percepção.

E1: Cor é algo muito menos complicado que mudar a morfologia.

E2: Mas se você muda a sua cor, para a mudar a morfologia deve ser mais ou menos o mesmo processo. Como que ela sabe qual é a cor de uma planta de plástico? Presumindo que ela sabe.

E6: Será que é a temperatura, a luminosidade?

E1: Mas para uma mesma temperatura, existem muitas plantas que vão ter a morfologia diferente.

E6: Eu estou querendo dizer que desencadeia ela a passar a imitar as outras plantas. Porque se ela imita até uma planta de plástico, não é possível que essa característica passou despercebida sendo uma trepadeira, especialmente.

E1: Se ela imita plantas de plástico, ela imita outras coisas de plástico? Porque é um objeto artificial.

E2: Pode ser pela questão do formato, sei lá.

P: Aparentemente ela imita padrões de folha.

E1: Mas como que ela sabe que é uma folha?

E2: Será que é por conta da luz?

E5: Eu pensei nisso, de como o sol passa.

E2: É, sei lá, ela tenta se adaptar. É porque ela não está vendo.

E6: Talvez seja uma questão física da luz sendo refletida. Quando é verde, talvez o verde seja uma...

E5: Mas e a forma?

E1: É, porque pelo visto, ela não muda de cor. As folhas de plástico são as vermelhas ali.

E2: Será que a primeira folha que estava ali na hospedeira se adapta a luminosidade certa e aí as outras que passam a crescer naquela planta hospedeira passam a reconhecer. Porque ela não cresce todas as folhas de uma vez só. Vai ter que ter uma primeira que vai se modificar. Mesmo assim, com base na luz parece muito difícil.

E1: Porque ela não se enrola na folha, ela se enrola no caule. Ela não tem nenhum acesso à folha.

E2: Ela não tem um acesso de toque, mas ela tem acesso aos outros sentidos. Eu acho que o som não entra muito. As hipóteses que a gente tinha até agora foram descartadas. Só falta a luz mesmo porque é a única que continua a mesma em todos os casos.

E1: Estou em um beco sem saída.

Pesquisador apresenta estudo que resgata a teoria de a Boquila ter ocelos.

E1: Porque ocelo é algo que a gente vê em planária, sabe?

E2: Mas é que esse ocelo não é o mesmo ocelo da planária.

E1: A percepção é a mesma. A planária não enxerga, ela só percebe claro e escuro.

E2: Eu quis dizer que são células diferentes. Mas a questão é que ela consegue, né? Consegue perceber luz e sombra para além da fotossíntese. Talvez seja assim que ela reconhece o formato da folha hospedeira, pela relação de luz e sombra.

E5: Então ela fica embaixo e ela percebe?

E1: Tem as folhas que não são miméticas, dava pra ver no outro esquema. Só as folhas de cima são miméticas.

E5: Então as debaixo reconhecem?

E2: Não, é ao contrário. As miméticas são de cima.

P: Mesmo que ela perceba a luz, como ela reproduz o padrão?

E1: Pelo padrão de luz, alguma coisa muda na organização da sequência genética e ela vai expressar um fenótipo do formato da folha. Mas como?

E2: Será que os diferentes formatos de folha são diferentes níveis. Como se cada tipo de folha tivesse uma interação diferente com a luz. E essa planta consegue perceber o nível de conhecimento que a folha tem com a luz? E aí ela vai desencadeando reações dentro dela que vão alterar a produção de proteínas. Mas ainda assim me parece algo tão complexo.

E5: Será que ela tem proteínas que reconhecem? Mas como essas proteínas iriam pegar o DNA?

E1: Muda a organização celular da folha de acordo com a luz porque a folha é feita de células e as células têm uma organização específica na folha para ter esse formato. Aí quando ela percebe a luz, ela vai mudar a organização celular dela de alguma forma. É a única coisa que eu consigo pensar.

E5: Mas para mudar a organização dela, não tem que ir direto no DNA? Porque aí vai ter que chegar na produção.

E1: Tem.

E2: Aquele negócio de plasticidade fenotípica altera a expressão de genes também, não altera? Sem alterar o DNA.

E1: É uma possibilidade.

E2: Talvez quando ela receba uma quantidade X de luz, ela desencadeia uma plasticidade semelhante à da folha que ela está reconhecendo. Mas aí então a informação seria a correspondência entre a luz e a morfologia? A luz que ela recebe e a morfologia que ela promove?

E1: Sim.

P: Por que vocês mencionaram o DNA? Que informação o DNA tem?

E1: Quais aminoácidos e quais proteínas vão ser produzidas.

P: E de que forma isso impacta na construção de uma morfologia semelhante à da planta hospedeira?

E5: Eu nem entendi a pergunta.

P: De que forma a informação que existe no DNA é relevante para construir uma folha igual à da hospedeira.

E5: Porque é o DNA que vai comandar a reprodução das folhas. Não sei. Essa coisa para o caminho inverso. Geralmente é uma lógica muito tradicional, o DNA produz as proteínas necessárias para fazer as novas folhas, que são parecidas com as do hospedeiro. Parece que ela tem um caminho inverso. Uma proteína manda uma informação para o DNA. Mas é impossível isso.

E2: O que eu estou pensando é que eu lembro que uma vez a gente viu que se você coloca um tratamento específico no ovo da galinha enquanto ela ainda está se desenvolvendo, ao invés de criar um bico, ela produz um dente. Tem partes do DNA que não são lidas para produzir o bico. Então, se você faz ele ler, cria um dente ao invés de um bico. Mas não sei, seria como se estivesse selecionando partes da leitura do DNA. Eu não mudo ele, mas no decorrer eu vou ler uma parte específica, mas talvez a luz fizesse com que ela lesse ponto que normalmente ela não leria. Então ela tem a capacidade de modificar, ela só não tem o gatilho que faça ela modificar. Talvez as outras plantas também tenham, ela só não acontece naturalmente.

P: Como um DNA começa a produzir proteínas?

E1: Quando ele é aberto, a polimerase abre a fita, aí vai o RNA e o ribossomo que vai ler e produzir o aminoácido.

P: E como que sabe que precisa?

E1: Tem a ver com éxons e íntrons, não tem?

E2: Não. Os éxons e íntrons são apenas regiões que codificam e não codificam.

E6: Acho que são questões fixadas. São correspondências fixadas que parecem pra gente impossível. Como chegou a esse ponto? Acho que é mais simples do que isso. Porque se não tivesse sido assim, não estaria aqui. Eu estava pensando se existe uma vantagem adaptativa em se parecer com as outras plantas, talvez não seja algo tão chocante quanto parece em um primeiro momento. “Como pode a planta, se a planta não enxerga?”. Se a gente pensar em um animal, ele enxerga, mas ele não pensa “vou ficar parecido”. Então, se a gente pensar pela lógica de fixação adaptativa de seleção natural, talvez faça algum sentido. Então ela tem a capacidade de perceber o quão homogêneo, pela questão da luz, especialmente, pela existência desses pequenos ocelos, ela teria a capacidade de perceber quão homogêneo está ou não aquele ambiente. E aí, por uma vantagem adaptativa, por uma característica fixada por seleção natural, tivesse os pontos de desencadeamento de busca dessa característica homogênea. E aí não parece tão impossível assim. Continua sendo incrível, parece apenas uma característica muito derivada.

P: Mas como articulamos esta a característica que é um produto histórico, com a fisiologia?

E6: Parece que a gente precisaria de algumas etapas, né? É a mesma dificuldade de pensar na construção de um olho. Cada etapa precisa ser vantajosa por si. Então talvez inicialmente uma planta com uma plasticidade fenotípica grande é vantajosa. E aí dentro dessa plasticidade, torna-se vantajoso ela tender a essa uniformidade, essa homogeneidade.

P: Mas só se mantêm características que são vantajosas?

E6: Não. Então, isso era uma coisa que eu estava pensando no início. É que a gente já assume que é uma vantagem, né? Mas e se não for vantajoso? Talvez seja apenas uma deriva, algo nesse sentido. Mas é que acaba respondendo, né? De qualquer forma como que a gente vai articular ser vantajoso com o desencadeamento da produção das proteínas, da construção.

E5: Eu acho que tem alguma coisa que sai do ocelo e vai até o DNA e escolhe. Ai, todas as palavras parecem erradas. Mas, como se escolhesse a parte que vai ler, mas não sei como funcionaria esse mecanismo. Como essa informação segue daí para ir para o DNA ou para onde fosse acontecer a reprodução para ser novas folhas.

E6: Talvez sejam estruturas análogas também com animais porque se eu não estiver enganado, eu acho que movimentos como o nastismo, eu acho, por trás tem uma dinâmica bem semelhante à dinâmica do sistema nervoso de bomba de sódio e potássio, essas coisas. Então talvez seja também análogo.

P: Como os vasos sanguíneos crescem no corpo? De forma exploratória. De acordo com as informações que estão no ambiente. Isso muda algumas coisas de perspectiva. As informações das características dos organismos estão no DNA?

E6: Eu acho que o DNA nesse caso não deve ser tão relevante. Se a questão fosse o DNA, eu acho que seria menos incrível do que parece ser. Outras plantas já mimetizam a cor, ou o formato, ou o tamanho, ou um ou outro, mas ela faz os três ao mesmo tempo. O segredo não é o que ela tem para construir, mas o produto final do que ela faz. Penso eu que não é uma questão de genes diferentes para ter uma planta com mais ou menos clorofila que mude a cor. Também não me parece que existam genes que façam a planta mais lanceolada ou menos.

E2: Eu acho que o DNA é importante. É que, nesse caso, a gente sempre acaba vendo o DNA como se fosse o principal. Como se fosse ele que está mandando em tudo e nesse caso a gente tira ele desse papel de protagonista. Ele é importante, mas ele não é o cara que está mandando ali. Ele não é a fonte primordial de toda a informação do organismo.

E1: Por causa dos vasos sanguíneos, por exemplo, é um sinal químico que vai fazer com que o vaso cresça naquela direção, né? Aí talvez seja a mesma coisa. Não é o DNA, mas um sinal químico que vai moldar a formação do órgão.

[...]

E2: Eu lembro vagamente de genética, da caixinha de ferramentas.

E1: Do gene Hox.

E2: Sim, do gene Hox, que ele vai determinar o plano anterior e posterior do corpo. Mas acaba aí.

P: Nesse caso da *Boquila*, os genes parecem uma caixa de ferramentas, né?

E2: Sim. É que se trata de um caso bem atípico, mas as outras plantas também fazem isso. Aquelas plantas que na sombra deixam a folha bem mais larga do que no sol. Poxa, quantas células ela não teve que produzir a mais, quantas vezes não teve que aumentar o volume da célula para poder expandir daquele jeito?

E1: É que nesse caso eu acho que a gente realmente dá muito mais importância para o DNA do que ele realmente tem. Porque se você for ver bem, os processos em que o DNA vai atuar, são os mesmos para produzir uma forma de folha ou outra, no caso, o que está acontecendo é que a organização do que vem depois é diferente. Assim como os vasos sanguíneos, o DNA que faz o vaso sanguíneo crescer, não vai mudar, o que vai mudar é a organização do vaso sanguíneo para onde e a direção em que vai crescer. O papel do DNA termina antes disso.

E2: Esse negócio de angiogênese tem muito de hormonal também, né? É como um sinal químico forte como quando começa a desenvolver um tumor, ele libera um sinal químico que atrai os vasos e começa a irrigar mais aquela área. Tem mais células naquela região e começa a atrair mais vasos. O sinal seria do ambiente químico. Se fosse uma coisa visual talvez isso não fosse diferente, mas ainda teria um sinal ambiental bem forte.

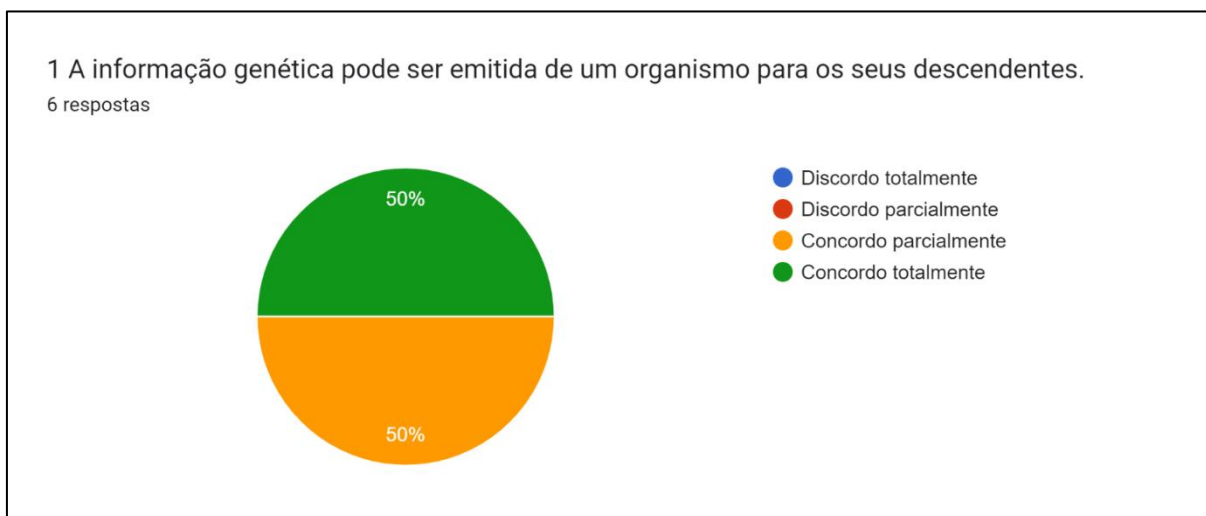
P: Vocês acham que a definição de informação ajudou a entender o fenômeno?

E2: É que eu acho bom que agora, quando eu uso a palavra informação, eu realmente procuro a correspondência, porque, antes, eu jogava informação ali e estava bom. Tipo “ela pega informação do formato da folha e modifica”. Para mim, estaria bom assim, mas agora eu penso

na correspondência ao que exatamente estou me referindo quando eu uso a palavra informação e aí isso me ajuda bastante porque parece que dá uma dimensão mais clara do processo, sabe?

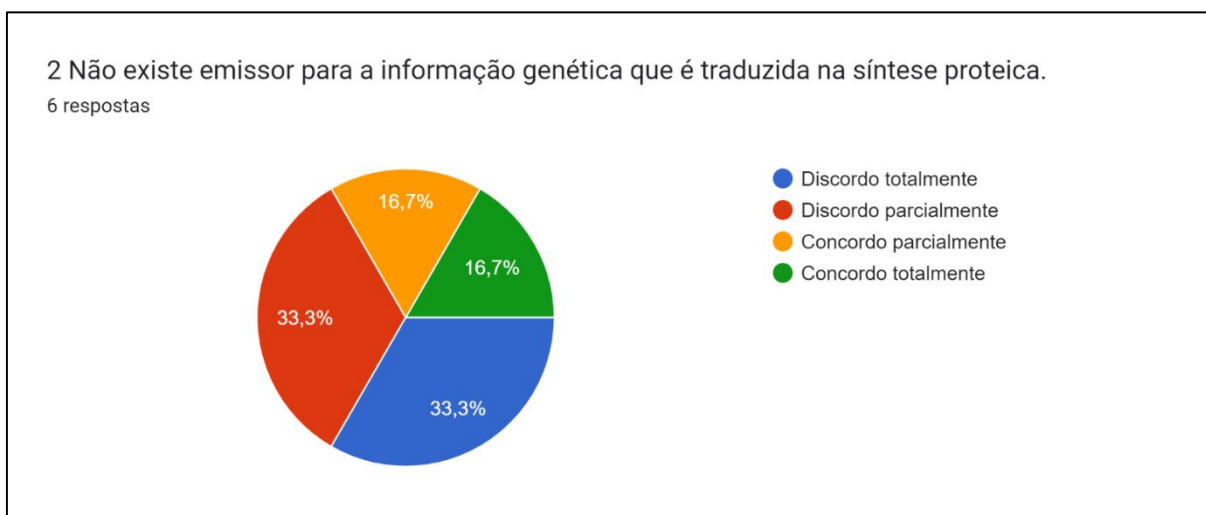
RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO FINAL

Gráfico 2. Respostas para a pergunta 1 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 3. Respostas para a pergunta 2 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Acredito que haja mais de um emissor, como o DNA e as outras estruturas que são responsáveis por reconhecer a necessidade de síntese de uma determinada proteína.

Por tratar-se de uma relação de correspondência, a informação genética seria uma "via de mão dupla" não há um emissor e um receptor, mas sim uma relação mutua de correspondências.

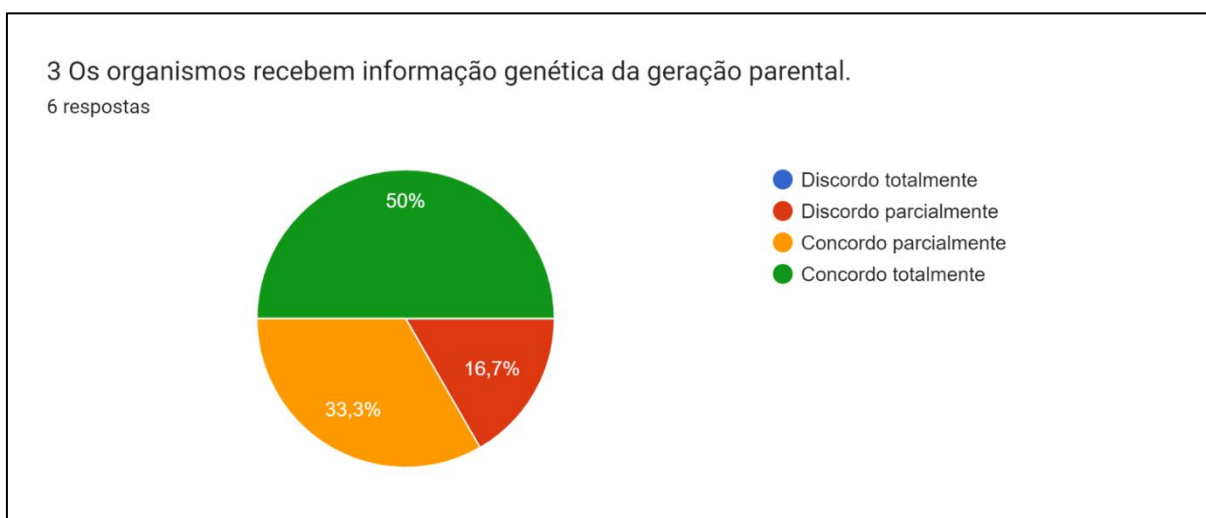
Assumindo ser a informação genética nesse caso o conteúdo da fita de RNAm, faz sentido pensar que existe sim o emissor, no caso a fita de DNA predecessora. Por outro lado, se

considerarmos a informação na verdade a correspondência previsível entre códons e aminoácidos, o emissor passa a ser a própria fita de RNAm. Em todo caso, há um emissor.

É possível relativizar quem é o emissor e receptor de uma informação genética. Poder-se-ia dizer que o emissor é, possivelmente, a própria fita de DNA.

A informação genética é "emitida" pelos ácidos nucleicos para o ribossomo.

Gráfico 4. Respostas para a pergunta 3 do questionário final.

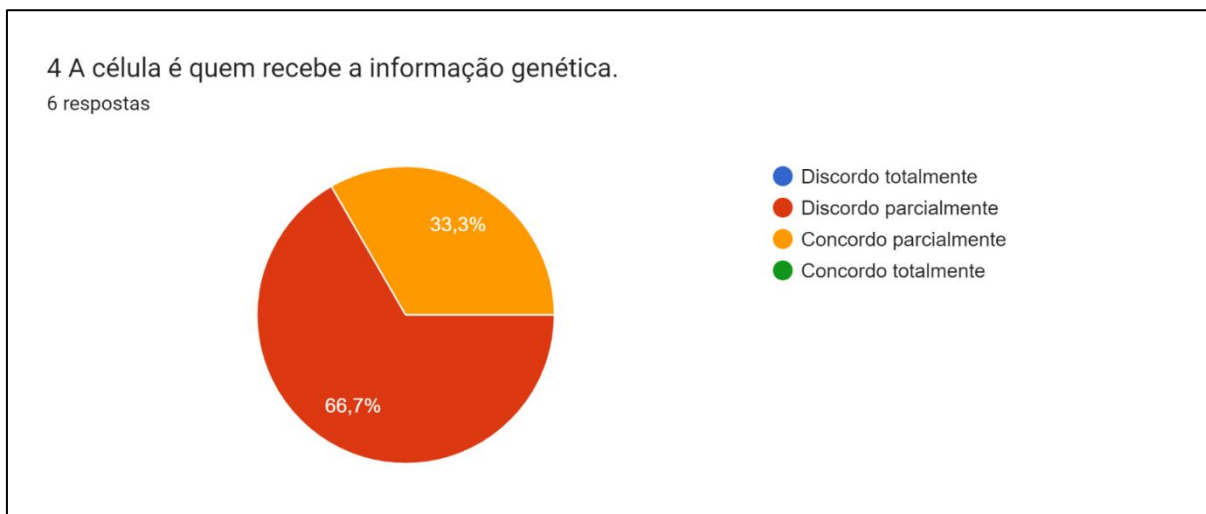


Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

A frase utiliza uma figura de linguagem: metonímia. Os organismos recebem da geração parietal o material genético que carregam, no entanto, a informação genética diz respeito a relação de correspondência que ocorre na "leitura" desse material pelo organismo em contato com o ambiente.

Gráfico 5. Respostas para a pergunta 4 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Talvez dizer "a célula" seja muito abrangente, algumas estruturas da célula recebem informação e, isto impacta no funcionamento de toda a célula. Acredito que tenha estruturas extracelulares que também recebam e transportem informação genética.

É preciso mais contexto para a frase. A informação genética começa nos níveis moleculares ("mais baixos") mas emerge e seus resultados podem "ser visto" nos níveis mais complexos, como por exemplo nas relações de correspondência que ocorrem na célula, o que nos leva a falsa impressão de que a célula "recebe" informação genética.

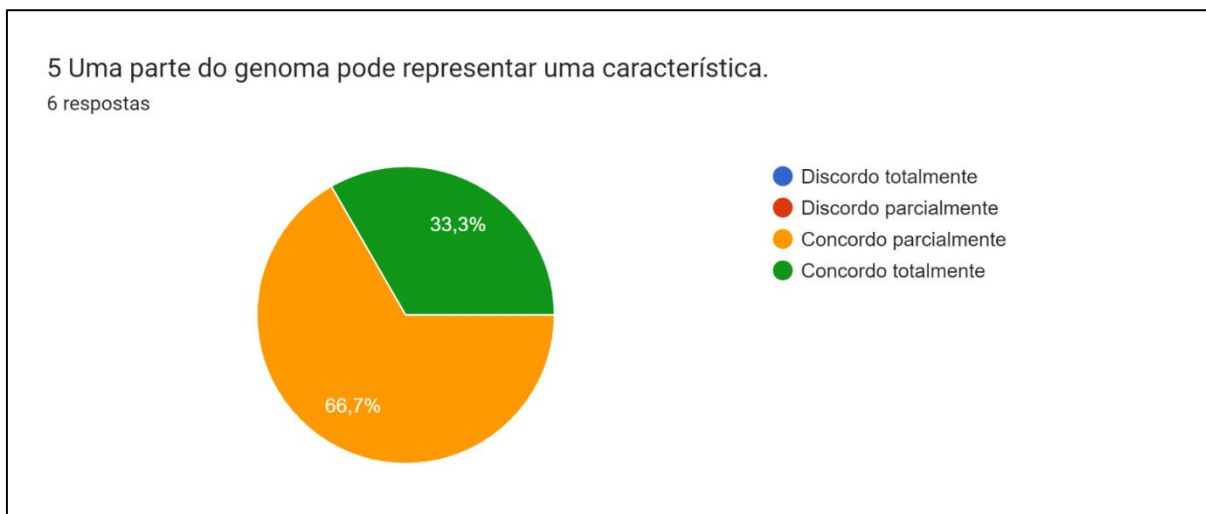
As informações genéticas ficam armazenadas no genoma. Sendo apenas uma parte da célula.

Em geral, os fenômenos em que faz sentido aplicar o termo informação genética ocorrem dentro das células.

A informação genética não precisa estar restrita a nível celular, já que pode afetar em nível de organela, tecidual, de órgãos, etc.

não a célula em si que recebe a informação genética, mas os mecanismos em seu interior.

Gráfico 6. Respostas para a pergunta 5 do questionário final.

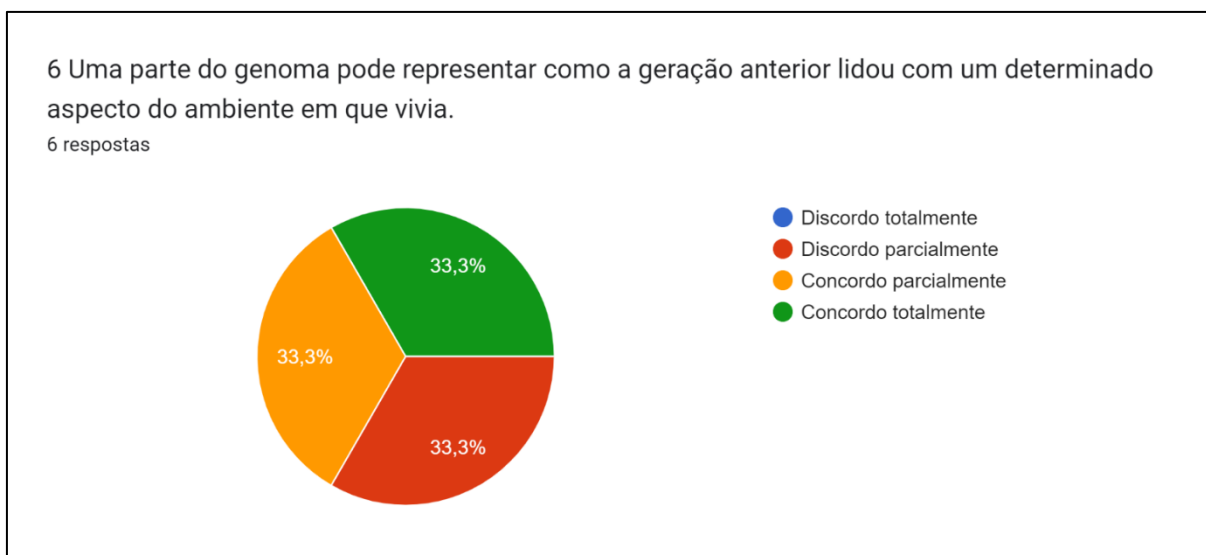


Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Uma parte de um genoma pode representar uma ou mais características, bem como inibir determinadas atividades metabólicas, entre outras possibilidades.

Gráfico 7. Respostas para a pergunta 6 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

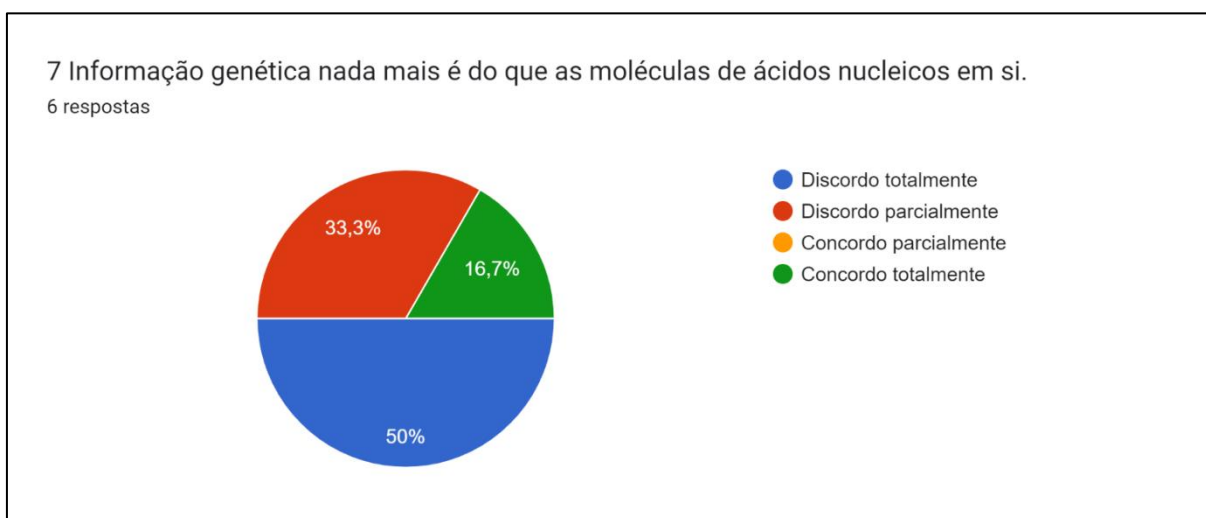
Justificativas:

O tempo entre uma geração e outra não é suficiente para determinar uma característica que reflète exatamente na forma como seus progenitores lidaram com um aspecto do ambiente em que viviam. Essa representação genômica ocorre em níveis populacionais no tempo entre muitas gerações.

Entendo não haver correspondência viável/durável passível de análise nesse sentido estrito no que se refere ao menos ao genoma em termos de constituição nucleotídica. Talvez em termos epigenéticos isso faria sentido.

Para fatores ambientais de um indivíduo serem repassados aos seus descendentes, é necessário que haja mutações em células germinativas e que estas sejam transmitidas.

Gráfico 8. Respostas para a pergunta 7 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Informação genética vai muito além do DNA/RNA sozinhos, também é uma relação de correspondência entre o ambiente e as demais estruturas do corpo com os ácidos nucleicos.

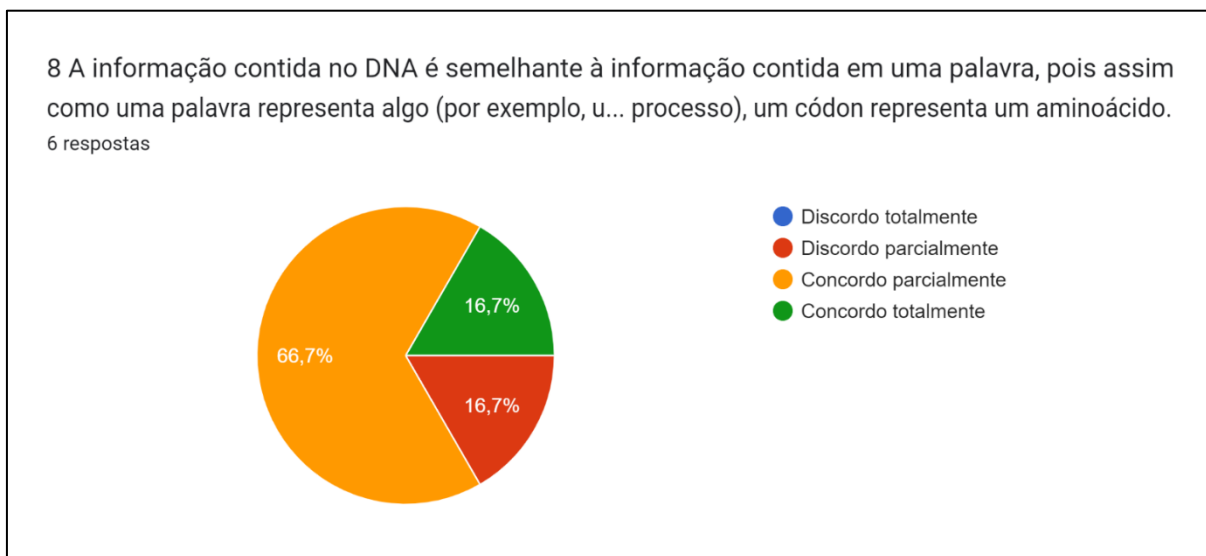
As moléculas de ácidos nucleicos são apenas matéria, a informação acontece quando há uma interação (em questão de correspondência) entre diferentes conjuntos, exemplo: síntese de aminoácidos.

Embora muito frequentemente este seja um dos significados atribuídos ao termo, não configuram simplesmente sinônimos, possuindo "informação genética" significados variados, distintos e por vezes contraditórios.

Informação genética também inclui as moléculas de ácidos nucleicos, mas pode ser entendido como todo esse processo, desde a sequência de nucleotídeos até os processos transcricionais e traducionais.

a informação genética não é somente o ácido nucleico, mas sua interação com os mecanismos celulares.

Gráfico 9. Respostas para a pergunta 8 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

As informações são diferentes, pois não existe intenção, por exemplo, no processo de leitura de um códon, em contrapartida, existe intenção ao ler uma palavra.

A metáfora é válida para entender a relação de correspondência entre os códigos (palavras e códons) e o que resulta da sua leitura (signos e aminoácidos, respectivamente). No entanto, a natureza desses dois processos é diferente e precisaria ser evidenciada.

Gráfico 10. Respostas para a pergunta 9 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Ao falar "há um parceiro sexual em potencial neste ambiente" dá a entender que o organismo busca um parceiro intencionalmente e não é isto que ocorre.

Ter significado presume que houve cognição naquela correspondência, quando na verdade não houve. É apenas uma cadeia de correspondências (que ocorre entre organismo-ambiente e entre o organismo-organismo) que emergem em uma resposta ao estímulo (um comportamento) dando uma visão personificada de que aquilo possui significado para o animal.

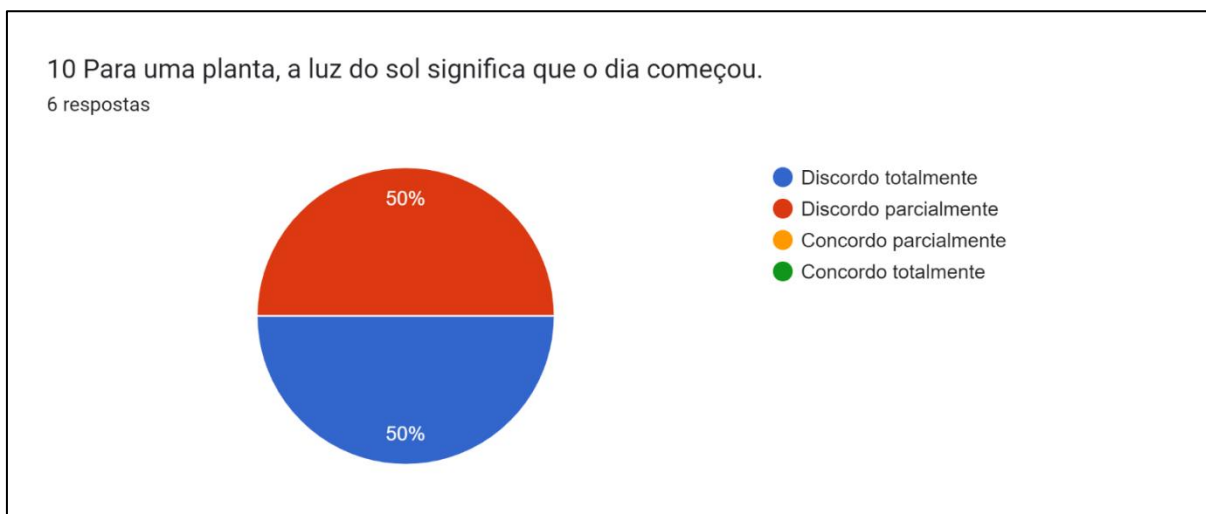
Os feromônios são uma via de comunicação química. Mas não exclusivamente sexual.

Embora possa ser considerada uma síntese razoável em determinado contexto, considero a assertiva simultaneamente simplista em relação ao fenômeno biológico em si, e antropomórfica, conferindo ao ser em questão uma complexidade de raciocínio/entendimento incompatível.

Um organismo não tem consciência de que um determinado feromônio possui determinado significado. O que gera a reação de busca de parceiro sexual são processos contingentes, com processos evolutivos envolvidos.

Essa é uma possibilidade, mas o feromônio pode gerar reações fisiológicas que expressem não só isso, mas também outras interações, como a existência de uma potencial ameaça.

Gráfico 11. Respostas para a pergunta 10 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Acho que a palavra "significa" pode dar a entender que a planta tem a intenção de perceber se é dia ou noite.

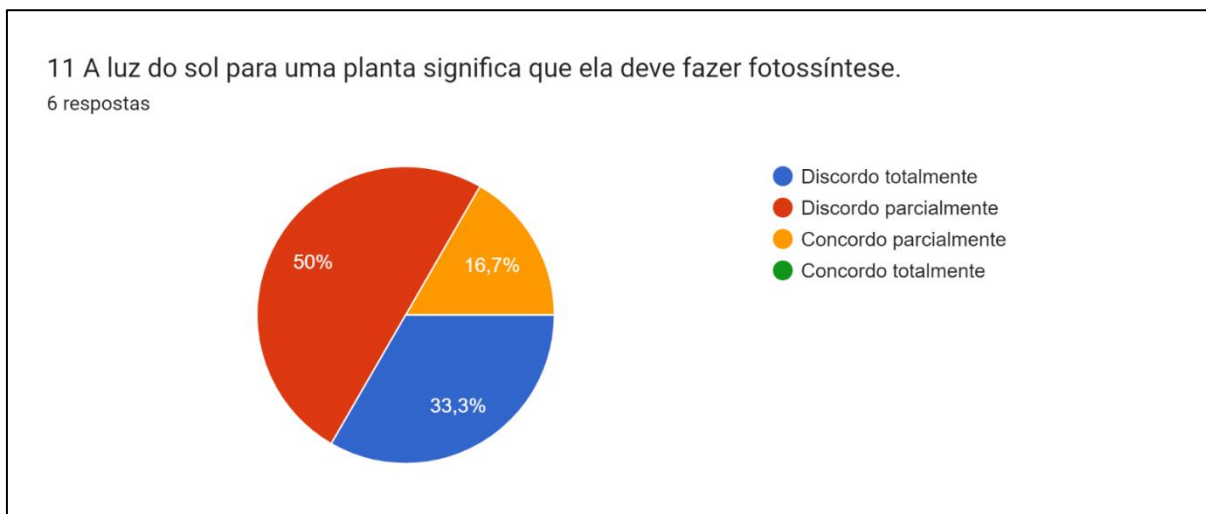
É uma visão personificada da relação que existe entre a presença de luz, a planta e a concepção de dia. (Vale a justificativa do caso 9)

Embora possa ser considerada uma síntese razoável em determinado contexto, considero a assertiva simultaneamente simplista em relação ao fenômeno biológico em si, e antropomórfica, conferindo ao ser em questão uma complexidade de raciocínio/entendimento incompatível.

Mesma explicação da questão 9.

Há outras reações fisiológicas da planta que começam antes da luz do sol que podem estar relacionadas a outros fatores, como temperatura e umidade.

Gráfico 12. Respostas para a pergunta 11 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Acho que a palavra "significa" pode dar a entender que a planta tem a intenção de percepção.

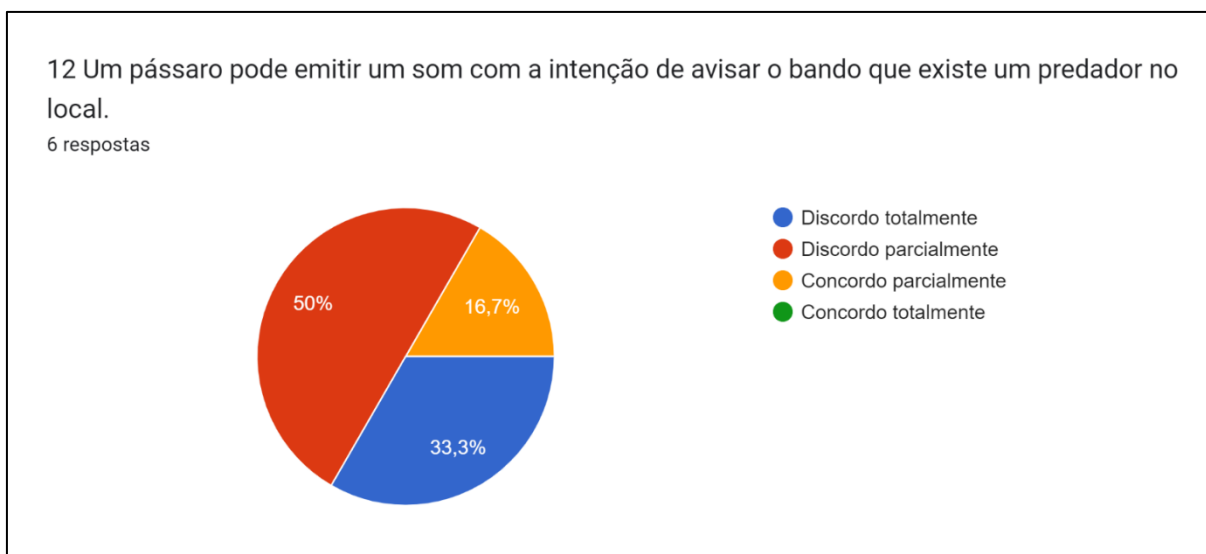
É apenas uma cadeia de correspondências que emergem em uma resposta ao estímulo da luz, não há significado para a planta. (Vale a justificativa da questão 9).

O processo de fotossíntese quando a planta entra em contato com a luz solar. Não é tido como um “dever”.

Embora possa ser considerada uma síntese razoável em determinado contexto, considero a assertiva simultaneamente simplista em relação ao fenômeno biológico em si, e antropomórfica, conferindo ao ser em questão uma complexidade de raciocínio/entendimento incompatível.

Mesma explicação das duas questões anteriores.

Gráfico 13. Respostas para a pergunta 12 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Não existe intenção nas ações de um pássaro.

Não é algo intencional. Para significado e intenção, vale a justificativa do caso 9.

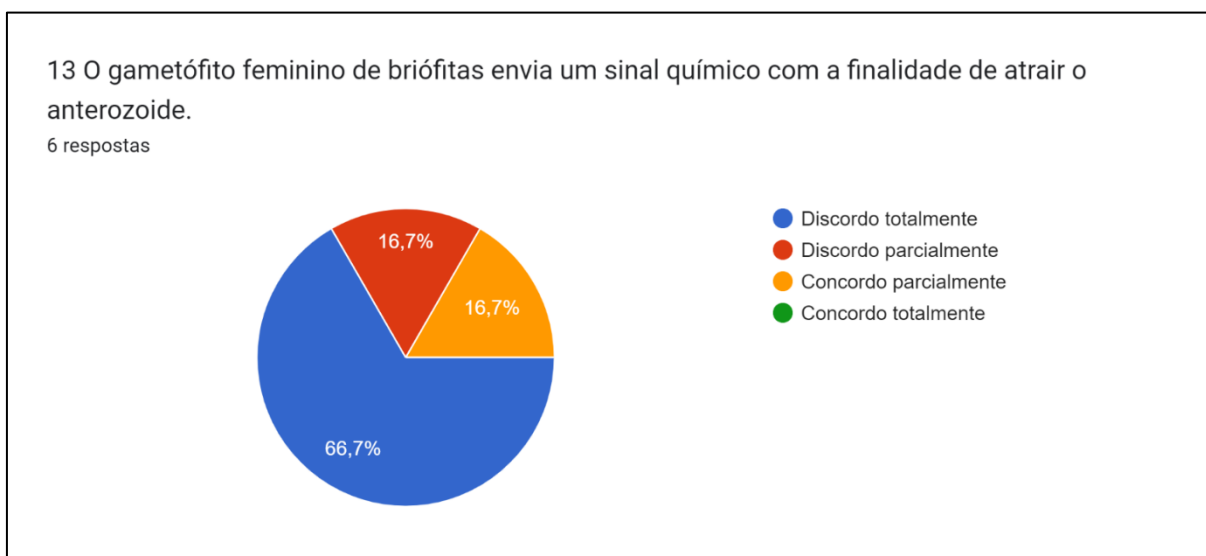
Não se sabe se há intenção no avisar. Ou se são comportamentos que permitem que a espécie perpetue e assim são reproduzidos.

Embora possa ser considerada uma síntese razoável em determinado contexto, considero a assertiva simultaneamente simplista em relação ao fenômeno biológico em si, e antropomórfica, conferindo ao ser em questão uma complexidade de raciocínio/entendimento incompatível.

Mesma explicação das três questões anteriores.

Animais não possuem intenção, mas o som da ave pode ser um instinto relacionado à existência de uma potencial ameaça no local, que pode desencadear reações fisiológicas e neurológicas no organismo.

Gráfico 14. Respostas para a pergunta 13 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

A palavra finalidade dá ideia de intencionalidade

Não é bem uma finalidade, algo com intencionalidade. Mas se com finalidade pensarmos em algo que resulta do olhar do ser humano sobre um processo de correspondências entre sinal e anterozoide, a frase está aceitável.

Não há intenção no envio de sinal.

Embora possa ser considerada uma síntese razoável em determinado contexto, considero a assertiva simultaneamente simplista em relação ao fenômeno biológico em si, e antropomórfica, conferindo ao ser em questão uma complexidade de raciocínio/entendimento incompatível.

Mesma explicação das quatro questões anteriores. Os processos evolutivos não envolvem intenção, são processos contingenciais.

não há finalidade nos processos naturais, mas sim uma correspondência química e fisiológica entre as duas estruturas.

Gráfico 15. Respostas para a pergunta 14 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

A palavra "interpretada" pode causar distorções. Deixar claro que não há um processo cognitivo naquela resposta.

Na linha das respostas anteriores, termos como "interpretar", "entender", "finalidade", "intenção" só me parecem fazer sentido em termos gerais quando temos humanos envolvidos. Sendo assim, penso que frases como essa estariam mais corretas se tais termos fossem evitados. Exemplo: "Uma molécula de toxina pode desencadear uma resposta defensiva por parte de uma célula".

as reações da célula à molécula de toxina podem ser as mesmas que teria em um ambiente inóspito, mas a palavra "interpretar" sugere uma personificação da célula, podendo levar a um erro conceitual.

Gráfico 16. Respostas para a pergunta 15 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

São necessárias mais informações, além do genoma, para prever a morfologia, fisiologia e comportamento como as questões sociais, econômicas, religiosas, ambientais, etc.

Não há como prever com exatidão. O genoma de um organismo é fundamental para a construção de sua morfologia, fisiologia e comportamento, mas todas essas características sofrem alterações durante a interação do organismo com o ambiente.

O organismo pode apresentar características morfológicas, fisiológicas e comportamentais para além do genoma, não sendo possível prever totalmente e com precisão baseado apenas no código genético.

Apenas o genoma não é o suficiente para prevermos todos os processos emergentes que surgem pelas interações entre células, tecidos, órgãos e sistemas, além de influências ambientais.

Conhecendo o genoma de um organismo, é possível prever como será sua estrutura morfológica e fisiológica, mas além de não ser possível prever seu comportamento, a sua constituição de fato não será determinada apenas pelo genoma, pois sofre influência do ambiente também, por exemplo.

Gráfico 17. Respostas para a pergunta 16 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

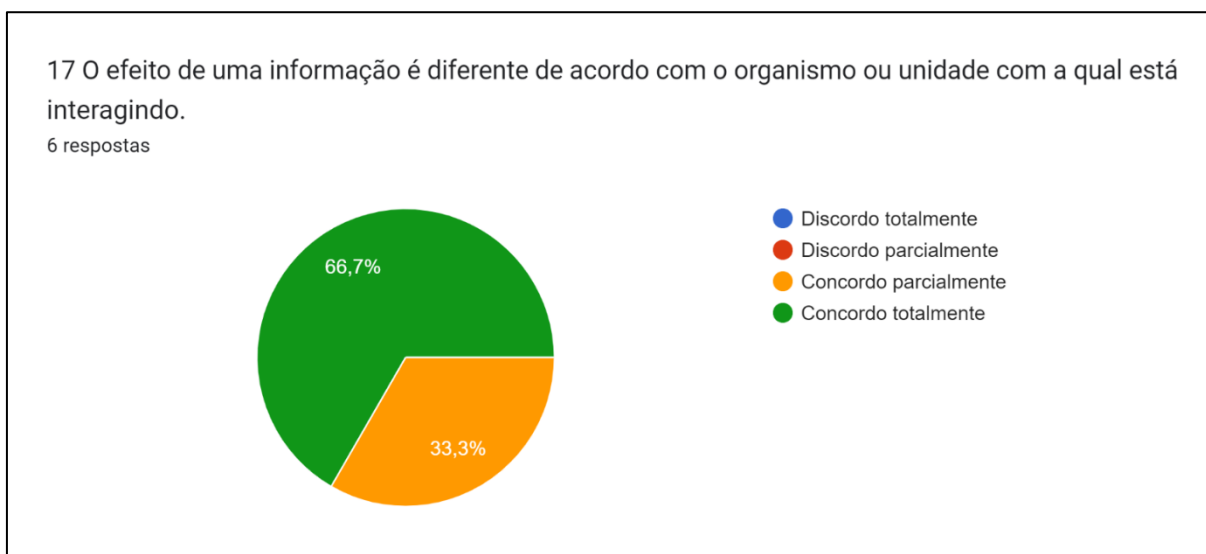
Se há informação, há correspondência. Sendo assim, toda informação é "processada" pelo organismo, no entanto, as respostas a essa correspondência podem ser muito variáveis. Ser ou não relevante ao fitness depende da resposta, do ambiente, do tamanho populacional, do tempo filogenético e de outros fatores.

Há informações que são processadas mesmo que não haja uma relevância.

Existem diversos exemplos de características presentes em seres vivos que não parecem desempenhar função relevante ou contribuir com o fitness. Sendo assim, entendo que a lógica se mantém a nível de informação, falando de maneira mais abrangente.

A existência do osso cóccix não é importante para o fitness dos seres humanos, por exemplo, mesmo assim, a informação genética que provocou sua formação durante o processo embrionário humano foi processada.

Se uma informação não for relevante para o fitness do organismo, ela pode ser mantida pela deriva genética, não sendo obrigatoriamente eliminada nas gerações seguintes.

Gráfico 18. Respostas para a pergunta 17 do questionário final.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 19. Respostas para a pergunta 18 do questionário final.

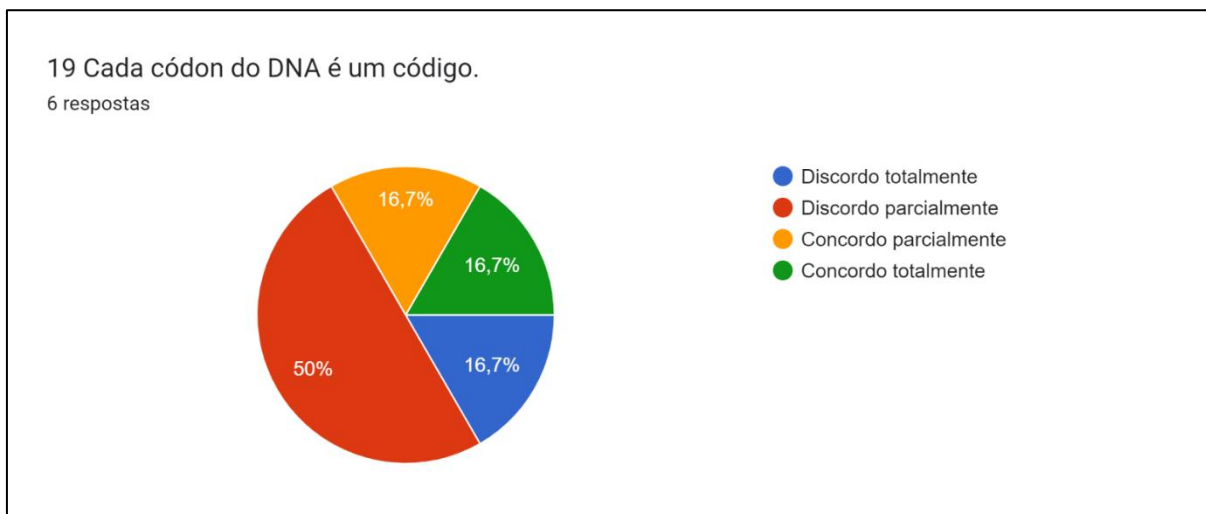
Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Pensando em códigos como sinônimo de códons, é válido destacar que não apenas de regiões codificantes é formado o DNA.

Considerando que dizermos apenas "código" é algo muito genérico, poderíamos entender a sequência de nucleotídeos como um código. Contudo, vale a ressalva que não estamos falando de código genético.

Gráfico 20. Respostas para a pergunta 19 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

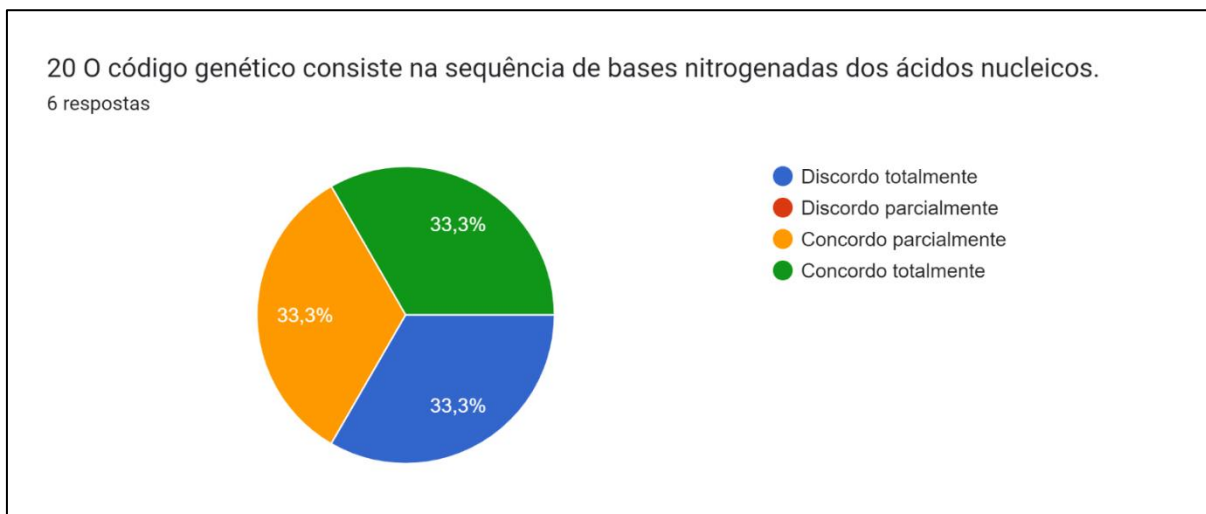
Justificativas:

O códon é uma parte que compõe o código genético.

Penso fazer mais sentido se enxergarmos cada códon como uma unidade de correspondência dentro de um código genético.

Cada base nitrogenada pode ser interpretada como um código na formulação de códons, assim como cada códon pode ser interpretado como um código para a formação das proteínas.

Gráfico 21. Respostas para a pergunta 20 do questionário final.



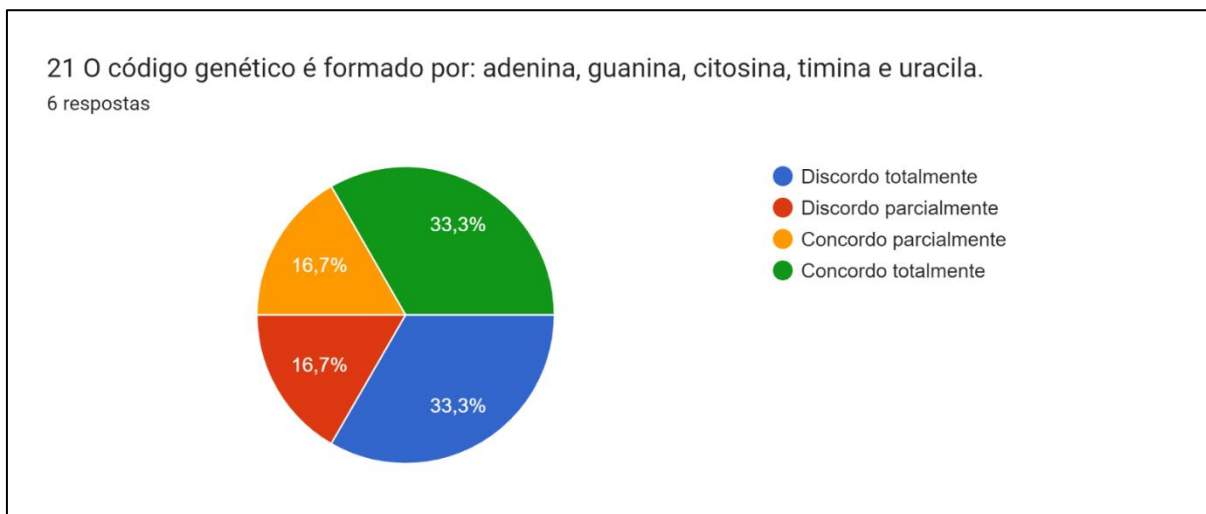
Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Entendo que "código genético" se refere à correspondência entre os possíveis códons e suas respectivas combinações de aminoácidos.

O código genético refere-se à correspondência de códons (ou anticódons) com determinado aminoácido.

Gráfico 22. Respostas para a pergunta 21 do questionário final.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Justificativas:

Acredito que os açúcares e o grupo fosfato também sejam parte do código genético.

Esses são apenas as bases nitrogenadas constituintes dos nucleotídeos e consequentemente dos ácidos nucléicos. O código genético se refere à correspondência entre códons e aminoácidos para construção de peptídeos.

Mesma explicação da questão anterior.

