

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA CELULAR, EMBRIOLOGIA E GENÉTICA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – LICENCIATURA NOTURNO

Jamel Martins

Antagonismos entre Teorias de Vida de Lynn Margulis e Richard Dawkins

Florianópolis

2024

Jamel Martins

Antagonismos entre Teorias de Vida de Lynn Margulis e Richard Dawkins

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Biológicas – Licenciatura Noturno do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Drº. João Vicente Alfaya dos Santos

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra

Martins, Jamel

Antagonismos entre Teorias de Vida de Lynn Margulis e Richard Dawkins / Jamel Martins ; orientador, João Vicente Alfaya dos Santos, 2024.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Biologia evolutiva. 3. Vida.
4. Richard Dawkins. 5. Lynn Margulis. I. Santos, João
Vicente Alfaya dos . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

Jamel Martins

Antagonismos entre Teorias de Vida de Lynn Margulis e Richard Dawkins

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Ciências Biológicas e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas – Licenciatura Noturno.

Florianópolis, 08 de Outubro de 2024.

Prof. Daniela Cristina De Toni, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. João Vicente Alfaya dos Santos, Dr.
Orientador
Prefeitura Municipal de Florianópolis

Prof. Andrea Rita Marrero, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Norma Machado da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha mãe, nobre mulher e Professora Irene Aguiar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr^o João Vicente Alfaya dos Santos pela paciência, dedicação e conhecimento que compartilhou comigo. Agradeço às Professoras Dr^a Norma Machado da Silva, Dr^a Yara Costa Netto Muniz e Dr^a Andrea Rita Marrero pela dedicação, ensinamentos, cuidado e atenção aos alunos trabalhadores. Agradeço a todos os professores do Centro de Ciências Biológicas da UFSC por terem proporcionado à comunidade um curso noturno. Aos meus pais que me proporcionaram a possibilidade de estudar sempre, sem uma mãe professora talvez eu não tivesse as mesmas oportunidades.

Agradecimentos ao grande amigo Dr^o Rubian Diego Andrade, pela paciência, amizade e incentivo, parafraseando Carl Sagan, “diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você”, irmão de coração.

Por fim, minha gratidão aos amigos do curso: Abdeir Jóia Crispim, Alanna Maylle Cararo Luiz, Adriana Catarina Werlang, Ana Louise Duarte, Daniela Alves Cardoso, Gabriela Melo da Silva, Laís Furtado Niwa, Melina da Silva Floriani, Tâmela Zamboni Madaloz, Tamyres de Fátima dos Santos, e os demais colegas, jovens que me ensinaram o valor de estudar e aprender em grupo, e viver um pouco mais a minha juventude tardia. Como dizia Thoreau: “A felicidade só pode ser verdadeira quando compartilhada.”

“Tudo no mundo começou com um sim. Uma molécula disse sim a outra molécula e nasceu a vida. Mas antes da pré-história havia a pré-história da pré-história e havia o nunca e havia o sim. Sempre houve. Não sei o quê, mas sei que o universo jamais começou” (Clarice Lispector, 1977).

RESUMO

Lynn Margulis e Richard Dawkins são dois biólogos com pensamentos antagônicos, em relação a conceitos importantes sobre biologia evolutiva. Ambos são reconhecidos no meio acadêmico e possuem grande importância para a divulgação científica. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo sobre aspectos que envolvam conceituação de vida, genética evolutiva e seus desdobramentos, comparando a obra de Lynn Margulis com a de Richard Dawkins, seus principais pontos de simetria, semelhanças ou contrastes. Através de consultas bibliográficas foi realizada uma pesquisa acerca dos principais trabalhos de Lynn Margulis e Richard Dawkins, especificamente os livros 'O que é Vida?' e 'O planeta simbiótico' de Margulis, e 'O gene egoísta' e 'Fenótipo Estendido' de Dawkins. Filósofos da Ciência como Ernst Mayr e o Biólogo Stephen Jay Gould foram consultados acerca do tema conceituação de Vida, trazendo boas análises e direcionando o pensamento referente a construção de uma metodologia adequada e suficiente capaz de definir a Vida e/ou o processo da Vida. A Teoria Endossimbiótica (Margulis) foi analisada como ponto de partida das ideias de sua autora acerca da Vida, enquanto Dawkins teve suas obras analisadas através de seu ponto de vista genocêntrico e neodarwinista. Assim, este trabalho considera, situa e compara as teorias de ambos cientistas no que concerne a questões que envolvam conceituação de Vida e Biologia evolutiva.

Palavras-chave: Biologia evolutiva. Lynn Margulis. Richard Dawkins. Simbiogênese. Vida.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
2. EXECUÇÃO.....	15
2.1 Metodologia Proposta – Material e Métodos.....	15
2.2.1 Levantamento Bibliográfico.....	15
3.DESENVOLVIMENTO.....	16
3.1 A importância do tema Definição de Vida para a Biologia Teórica, e a dificuldade em conceituá-la.....	16
3.2 Lynn Margulis: A Vida como um fenômeno complexo.....	20
3.2.1 A Teoria da Origem Simbiogenética ou Teoria da Endossimbiose Sequencial (SET).....	23
3.2.2 Simbiogênese.....	28
3.3 Definições de Vida para Richard Dawkins.....	30
3.4 A descoberta dos íntrons e suas implicações sobre a Teoria do Gene.....	38
3.5 Transferência Horizontal de Genes e suas implicações para o Neodarwinismo.....	40
3.6 Divergências entre Margulis e Dawkins quanto a questões relacionadas a Biologia.....	43
3.6.1 Quadro comparativo: Divergências entre Margulis e Dawkins relacionadas a conceitos de Vida.....	43

3.7 Aproximações entre Margulis e Dawkins quanto a questões relacionadas a Biologia.....	46
3.8 Desdobramentos das Teorias de Dawkins e Margulis na atualidade.....	47
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A contribuição para a Biologia Evolutiva de Lynn Margulis e Richard Dawkins

Lynn Margulis (1938-2011) foi uma bióloga de grande destaque, principalmente devido a sua descoberta sobre a endossimbiose, teoria que descreve a origem das células monocarióticas como consequência de sucessivas incorporações simbiogênicas¹ de diferentes células procarióticas, a qual ajudou a mudar a compreensão dos cientistas sobre a origem e a diversificação dos organismos vivos na Terra, como destaca Gomes (2024).

A cientista escreveu um artigo intitulado “A Origem da Mitose nas Células”, o qual foi publicado em 1967 no *Journal of Theoretical Biology*. O artigo no início obteve muitas críticas, pois para a maioria dos biólogos, a teoria de Margulis se chocava com o neodarwinismo. Atualmente, o artigo de Margulis é uma importante referência para a biologia celular e a própria teoria evolutiva, fundamentais para a biologia dos séculos XX e XXI, representando uma mudança radical na compreensão da evolução das espécies, de acordo com Toledo (2020).

Um dos principais pontos que a diferenciava dos demais biólogos é o fato de que, enquanto os últimos enfatizavam o papel da competição no processo evolutivo, Margulis destacou a cooperação, superando uma crença errônea de que a evolução se tratava apenas da sobrevivência do “mais forte”.

Lynn Margulis abordou alguns conceitos alternativos a definições ultrapassadas na Biologia, as quais estendem-se ao campo histórico, filosófico e cultural, não permanecendo apenas no âmbito das ciências naturais (biológicas e físico-química). Torna-se importante permitir a aproximação entre o conhecimento biológico científico e os demais campos de modo a ampliar a compreensão da definição de vida, pois o conhecimento a respeito da vida é ao mesmo tempo produção científica e histórico-cultural, áreas onde a contribuição da autora se faz presente.

¹Simbiogênicas: Qualidade relacionada ao substantivo simbiogênese, que é a Teoria Evolucionista que explica como indivíduos de diferentes espécies se unem para formar um novo indivíduo.

Margulis possui diversos conceitos interessantes sobre vida, os quais envolvem questões sobre simbiose, mutualidade, cooperação: “A vida na Terra não é uma hierarquia criada, mas uma holarquia² emergente, surgida da sinergia auto-induzida da combinação, da interação e da recombinação” (MARGULIS; SAGAN, 2002 p.24). Tais conceitos tornaram a cientista pioneira em uma nova linha de pensamento científico- biológico, na qual a simbiose ou cooperação seria como uma “regra básica da vida”.

Clinton Richard Dawkins, escritor britânico nascido no Quênia em 1941, é um biólogo evolutivo, etólogo, e divulgador da ciência. Dentre vários livros escreveu “O Gene Egoísta”, em 1976. Dawkins é conhecido através de seus trabalhos sobre etologia, e principalmente sobre genética evolutiva, nos quais sempre destaca bem seus ideais científicos, que na percepção de alguns leitores leigos soa como uma visão niilista - doutrina filosófica que atinge as mais variadas esferas do mundo contemporâneo, e sua principal característica é uma visão cética radical e sobretudo pessimista em relação às interpretações da realidade, trazendo o conceito de aniquilamento, não existência de valores e convicções na natureza.

Talvez a grande contribuição de Dawkins para a divulgação científica, em uma época em que o criacionismo tinha forte influência na sociedade em geral, foi o livro “O Gene Egoísta”, em que ele não tem a pretensão de ser um teórico inovador, mas sim um filósofo da ciência, que encontrou um novo jeito de olhar e interpretar a biologia a partir da genética de populações, e transferir esse conhecimento ao público.

Em “O Gene Egoísta”, Dawkins não ocupou suas páginas em defender Darwin nem nos convencer de que a vida não tem sentido, mas sim apresentar e divulgar a quase qualquer tipo de leitor os avanços das últimas décadas sobre biologia evolutiva, os quais haviam transcorrido de forma despercebida das pessoas em geral. De certa forma o autor expandiu o significado de seleção natural a nível dos genes, o que foi inovador para a época.

No livro de Dawkins, nos deparamos com trechos como:

“Os genes competem diretamente pela sobrevivência com os seus alelos no *pool* gênico, pois esses alelos são seus rivais na conquista do mesmo *locus* no cromossomo das gerações futuras. Todo gene que

² Holarquia é um termo utilizado para descrever uma relação entre hólons, unidades que são completas, mas ao mesmo tempo são parte de um todo maior.

se comporte de forma a aumentar as próprias chances de sobrevivência no *pool* de genes, à custa de seus alelos, tenderá, por definição, a sobreviver. O gene é a unidade básica do egoísmo” (DAWKINS, 1976 p. 91).

Este último trecho citado trata-se de um exemplo de como Dawkins se preocupou em situar cientificamente alguns termos básicos como “competição, genes e egoísmo”, porém, o autor não se preocupa simplesmente em trazer significado semântico destas palavras ao público leigo, e sim em adaptar os conceitos sobre seleção natural e competição a nível genético.

De qualquer forma, Dawkins apresentou para um público leigo conceitos sobre biologia evolutiva, deixando claro que não se trata de “apenas uma teoria” vislumbrada por ele, mas sim de ressignificar e traduzir para as pessoas os avanços científicos que já vinham fazendo parte de suas vidas até então.

Por outro lado, Margulis abordou o fenômeno vida de uma forma muito abrangente, explicando ao leitor a complexidade bioquímica existente e correlacionando ela com possíveis significados da vida.

Então, de modo diferente de Dawkins, Margulis parece possuir uma abordagem mais interdisciplinar, menos mecanicista, mais focada no “como” do que no “o quê”, ou seja, com foco no comportamento das moléculas químicas ao invés dos componentes químicos ou moléculas em si.

O trecho abaixo ilustra essa metodologia:

“A vida é a representação, a “presentificação” de químicas passadas, de um ambiente pretérito da Terra primitiva que, em virtude da vida persiste na Terra moderna. É a encapsulação aquosa do espaço-tempo delimitada por uma membrana. A morte faz parte da vida porque até a matéria agonizante, uma vez reproduzida, resgata complexos sistemas químicos e estruturas dissipativas fluorescentes do equilíbrio termodinâmico. A vida é um eixo de crescente sensibilidade e complexidade, num universo de matéria-mãe que, comparada a ela, parece embotada e insensível. Ela tem que se manter, contrariando a tendência universal do calor a se dissipar com o correr do tempo” (MARGULIS, 2002, p.97).

A autora explica com profundidade o que seria a vida de acordo com conceitos científicos, utilizando como pano de fundo a Teoria Evolutiva, pois na visão de Margulis a Evolução seria a grande mentora de todos os processos que englobam a

vida. Além de permitir uma visão ampla do histórico dos conceitos de vida ao longo da história da humanidade, pode-se perceber que é característico da autora criar reflexões ou mais dúvidas sobre o assunto, proporcionando uma brecha no sentido de cada leitor criar um significado para o tema “vida”.

Emmeche e El-Hani (2005) apontam algumas condições necessárias a uma boa definição de vida que, segundo eles, deve atender a quatro requisitos: lidar com a vida como um fenômeno universal; ser coerente com a compreensão geral dos sistemas vivos baseada na pesquisa biológica; apresentar o que se pode chamar de elegância conceitual e capacidade de organização cognitiva, e ser suficientemente específica para distinguir sistemas vivos de coisas que obviamente não são vivas.

De acordo com os requisitos listados por Emmeche e El-Hani, pretende-se fazer uma análise sobre os antagonismos dos conceitos de vida pelos cientistas Lynn Margulis e Richard Dawkins, e organizar tais definições, pois ambos foram importantes para a Biologia e divulgação científica nos séculos XX e XXI.

1.1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

O tema ‘Teorias de Vida’ foi escolhido devido a uma motivação pessoal, interesse particular no assunto, enquanto Lynn Margulis foi escolhida devido ao meu interesse em trabalhar sobre uma cientista do gênero feminino e sua importância dentro das Ciências Biológicas. Por incrível que pareça, mesmo dentro da Biologia acadêmica, muitas pessoas desconhecem a figura e o trabalho de Lynn Margulis. Richard Dawkins entrou como “contraponto”, devido ao fato de ser considerado um cientista com ideias complementares e ao mesmo tempo contrastantes com relação à definição de Vida de Margulis.

A pesquisa de ideias conceituais sobre o que é vida e seus desdobramentos para a Biologia, baseadas na cooperação ou competição entre os organismos, pode trazer congruências e contestações com relação a ideias conceituais sobre genética e biologia evolutiva.

Este estudo pode trazer uma compreensão sobre os fundamentos da Biologia, pois a vida como cooperação ou competição se encontra nas bases de teorias da

ecologia, microbiologia, imunologia e evolução, além de ser uma ferramenta importante para a divulgação da ciência, de maneira a suprir uma “carência científica” que existe entre a população brasileira em geral nestes assuntos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão narrativa através de análises comparativas a respeito dos conceitos dos cientistas Lynn Margulis e Richard Dawkins, que envolvam a compreensão de vida e seus desdobramentos, assim como de suas teorias evolutivas e dos fundamentos envolvidos nas suas conceituações.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar como os cientistas Lynn Margulis e Richard Dawkins abordam o tema da definição de vida.
- Apontar aproximações e distanciamentos das teorias dos dois cientistas acerca da vida e da evolução.
- Aprofundar a análise epistemológica do problema de definir ‘vida’, explorando a compreensão de como definições são construídas dentro de paradigmas científicos.

2. EXECUÇÃO

2.1 Metodologia Proposta – Material e Métodos

Para realização deste trabalho foram consultadas as obras ‘O que é vida?’ e ‘Planeta Simbiótico’ de Lynn Margulis, ‘O Gene egoísta’ e ‘Extended Phenotype’ de Richard Dawkins. As obras foram lidas e fichadas, considerando os argumentos em torno da compreensão de vida dos autores.

Bibliografia secundária foi consultada para dar suporte às análises feitas, através de buscas no Repositório Institucional da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), Google Acadêmico, utilizando as palavras-chave ‘Definição de Vida’, ‘Richard Dawkins’, ‘Lynn Margulis’, ‘Teoria Endossimbiose’, ‘Gene Egoísta’, ‘Neodarwinismo’ e ‘Fenótipo Estendido’. Foram selecionadas dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos e capítulos de livros, de forma a organizar os conceitos encontrados e subsidiar o desenvolvimento do texto, sendo muitos textos da área da Filosofia da Ciência e outros sobre Biologia.

A metodologia foi dividida nas seguintes etapas:

- a) Identificação do tema
- b) Planejamento e cronograma
- c) Definição dos Objetivos
- d) Busca e seleção das fontes
- e) Organização das informações (artigos, dissertações, livros) relevantes
- f) Leitura crítica das obras e fichamentos das principais obras
- g) Escrita do texto
- h) Registro das referências.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 A importância do tema Definição de Vida para a Biologia Teórica, e a dificuldade em conceituá-la

Nesta seção apresentaremos um panorama das tentativas de conceituação de Vida. Veremos que, embora se trate da categoria central da biologia e do seu objeto de estudo por excelência, há uma enorme dificuldade em conceituá-la.

As Ciências Biológicas desde seu surgimento aos dias atuais, não conseguiram unificar, de forma concisa e satisfatória, o conceito ou definição de seu objeto de estudo, a vida. Por outro lado, são diversos os cientistas e de diversas áreas que tentaram construir uma definição de vida, seja na química, física, filosofia ou Biologia.

De acordo com Coutinho (2005), talvez o mais antigo em tentar uma definição de vida, e documentar este material, tenha sido Aristóteles, em seu tratado denominado “Da Alma”. Neste trabalho, Aristóteles cria uma forma de caracterizar a vida que permanece atualmente, consistindo em definir Vida a partir de uma lista de propriedades dos seres vivos que os distinguem dos demais seres. “Entre os corpos naturais, alguns têm vida, outros não. Por vida entendo [os processos] de auto-nutrição, crescimento e decadência. Infere-se que todo corpo natural dotado de vida é uma substância no sentido de um composto” (ARISTÓTELES, 2012, p. 54).

De acordo com Correa *et al.* (2008, p. 24), para Aristóteles, todos os seres contêm dois princípios: a matéria e a forma, que podem ser compreendidos como inseparáveis. Entretanto, a matéria ainda que necessite da forma, continua existindo na ausência dela. E, também, a forma para sua existência, requer não qualquer tipo de matéria, mas a matéria de uma determinada espécie. Enquanto “matéria” é, em geral, o potencial, “forma” é o corpo “em ação”. Em suma, na obra ‘Da Alma’ Aristóteles diz que “a vida é aquilo pelo qual um ser se nutre, cresce e perece por si mesmo” (ARISTÓTELES, 2012).

Já Stedile (2015, p. 64) define vida com o seguinte conceito:

“Vida é qualquer sistema autônomo com capacidade de evolução em aberto e que apresente moléculas aperiódicas, inseridas no sistema de forma hábil em

desenvolver relações de semiose³ entre seus componentes e com o ambiente.” O autor trata o tema ‘conceituação de vida’ através de uma abordagem articulada entre Neodarwinismo, Autopoiese e Biossemiótica, trazendo imensa contribuição ao tema. Ele chega à conclusão de que algumas considerações para esse conceito são as seguintes:

1- Não basta apenas existir o sistema autônomo ou alguma molécula aperiódica para ser considerado vida, ambas características devem dialogar, o sistema autônomo reconhece e cria vínculos com essas moléculas, que por sua vez gravam e processam informações, formando um código de produção e desenvolvimento das estruturas no organismo.

2- A semiose deve ser criada pelo próprio sistema, o que necessita de um “codemaker”. Assim, a vida artificial não pode ser considerada vida, a princípio, pois os códigos são feitos e criados por um “codemaker” de fora do sistema, os humanos.

3- Alguns processos físico-químicos que pareçam colocar em dúvida a teoria da Autopoiese são claramente classificados como não vida, como exemplo o fogo, pois conseguem aguentar o decaimento termodinâmico por alguns momentos, não possuem uma molécula aperiódica inserida em seu sistema, promovendo a percepção do ambiente.

4- Os vírus são considerados seres vivos, pois possuem seu sistema autônomo, mesmo não conseguindo se auto-replicarem sozinhos, encontrando um jeito de não sucumbir ao decaimento (cristalização). Os vírus possuem genoma, que é uma molécula aperiódica e ainda possuem certas especificidades de infecção, sendo que um vírus não infecta qualquer coisa ou qualquer organismo. Essa infecção espécie-específica pode ser um indício de uma sensibilidade ou cognição primitiva, segundo o autor. O fato de eles não conseguirem se reproduzir e nem se alimentarem sozinhos, necessitando de uma célula, apenas aponta para um caso extremo de parasitismo. Além disso, os vírus possuem linhagens, respondem à seleção natural e também evoluem ao decorrer das gerações.

A visão mais tradicional e utilizada entre os biólogos sobre a definição de vida, atualmente, talvez seja a de Ernst Mayr, renomado Biólogo Evolutivo.

³Processo de significação e de produção de significados. Processo capaz de produzir e gerar signos, partindo da premissa de que há uma relação recíproca entre significado e significante.

De acordo com Mayr (1982): “Tentativas foram feitas repetidamente para definir “vida”. Esses esforços são um tanto fúteis, visto que agora está inteiramente claro que não há uma substância, um objeto ou uma força especial que possa ser identificada com a vida”.

Porém, Mayr reconhece a possibilidade de definir-se o “processo da vida”:

“O processo da vida, contudo, pode ser definido. Não há dúvida de que os organismos vivos possuem certos atributos que não são encontrados da mesma maneira em objetos inanimados. Diferentes autores salientaram diferentes características, mas não pude encontrar na literatura uma lista adequada de tais propriedades” (MAYR, 1982).

El-Hani e Videira (2005), analisam o trabalho de Mayr, apresentando uma lista de oito propriedades definidoras do processo da vida, reconhecendo que ela é provavelmente incompleta e um pouco redundante, porém ilustrando os tipos de características que diferenciam os organismos vivos da matéria inanimada.

Segundo os autores, esta lista inclui **complexidade e organização, singularidade química** (propriedades extraordinárias observadas nas moléculas de elevado peso molecular, macromoléculas que compõem os seres vivos, mas não são normalmente encontradas na matéria inanimada), **qualidade** (o mundo físico é somente quantificado, enquanto o biológico possui qualidades, diferenças individuais, sistemas de comunicação, interações em ecossistemas), **individualidade e variabilidade, presença de um programa genético, natureza histórica, seleção natural, e indeterminação** (emergência de qualidades novas e imprevisíveis nos níveis hierárquicos que constituem a matéria viva).

Para Mayr, segundo El-Hani e Videira (2005), definir Vida seria especificar de maneira essencialista, uma única propriedade ou definição, porém como a Vida se trata de um fenômeno, essa tentativa de reduzi-la a um conceito seria inútil, pois que não há entre os biólogos uma única propriedade, substância ou força que caracterize a vida em seu “espírito”. Por outro lado, Mayr considera possível definir a Vida como um processo, através de uma lista de propriedades qualitativas.

Para El-Hani e Videira (2005), a lista de propriedades apresentada por Mayr não escapa aos problemas anteriormente citados, pois não fica clara qual a vantagem de tentar definir-se o “processo da Vida”, em lugar da “Vida” em si.

Sendo assim, El-Hani e Videira, 2005, explicam através das afirmações abaixo, o problema da definição de Vida para Mayr e sua visão tradicional sobre a definição da Vida:

1- A Vida como tal não pode ser definida, por este motivo, uma definição clara não é encontrada.

2- A questão da definição de Vida não é importante para a Biologia.

3- O processo da Vida pode ser definido ou distinguido dos processos inorgânicos através de uma lista de propriedades características.

4- É difícil delimitar esse conjunto de propriedades, porém os seres vivos podem não apresentar todas as propriedades citadas, de modo que a lista não corresponde a um conjunto de propriedades necessárias e suficientes, admitindo que a fronteira entre processos vivos e não-vivos não seja rigidamente demarcada (como por exemplo o caso dos vírus).

5- Embora a Vida seja um fenômeno físico, a Biologia lida com sistemas de muita complexidade que não podemos na prática reduzi-la à física. Se as propriedades principais dos processos vivos forem listadas, será inevitável incluir propriedades exclusivamente biológicas, como auto-reprodução, metabolismo e seleção natural.

Os autores El-Hani e Videira (2005), não esgotam a discussão sobre o tema definição de Vida com base na obra e pensamento de Ernst Mayr, mas vão além da visão tradicional e adentram no tema através do conhecimento de outros biólogos, como exemplo John Maynard Smith (1986), que, segundo eles, transcende a visão tradicional em uma tentativa de formular uma definição geral de Vida a partir de dois critérios: 1- Metabolismo; e 2- Funções, discutindo a interdependência desses dois critérios e sua relação com a evolução biológica. Maynard Smith seria responsável por relacionar os aspectos de uma lista de propriedades com um paradigma⁴ específico da Biologia, a Biologia evolutiva Neodarwinista, em vez de simplesmente compor uma lista de propriedades.

⁴Um exemplo que serve como modelo; padrão.

El-Hani e Videira (2005) escrevem que para Maynard Smith, a Vida pode ser definida pela presença de propriedades necessárias para garantir a evolução por seleção natural, sendo que entidades que possuam propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas, enquanto entidades que não apresentem uma ou mais destas propriedades não são.

Como foi visto, a visão tradicional sobre a definição de Vida acarreta uma compreensão essencialista e reducionista das definições, e definir Vida acaba parecendo uma tarefa não relevante para a pesquisa científica. Contudo, é tarefa da Filosofia da Ciência transformar teorias científicas em conceitos estruturados, obter um conjunto de proposições, leis teóricas ou princípios, os quais podem fornecer modelos de problemas verdadeiros e soluções aceitáveis para a comunidade de pesquisadores em Biologia. Assim, “definir um conceito como parte de um paradigma implica inseri-lo em uma rede de conceitos que se sustentam mutuamente e conferem significado uns aos outros” (EI-HANI; VIDEIRA, 2005, p.40).

Para El-Hani e Videira (2005), o conceito que está sendo definido adquire um significado específico, em virtude de suas conexões com os demais conceitos na rede, que não é apenas uma rede linguística, mas também uma rede de práticas teóricas, experimentais e comunicativas, sendo assim essa rede de conceitos não pretende capturar a realidade essencial do que está sendo definido (a Vida).

De acordo com o exposto acima, percebemos o quão importante pode ser definir o que é Vida para a Biologia e Filosofia da Ciência. Este assunto faz parte do cotidiano, da importância que é dada aos seres vivos e sobre a discussão sobre ética no estudo e em experimentações com seres vivos, além de uma questão fundamental para a humanidade a ser respondida: “Quem somos nós?”.

3.2 Lynn Margulis: A Vida como um fenômeno complexo

Lynn Margulis nasceu em Chicago (cidade no Estado de Illinois, nos Estados Unidos) em 5 de março de 1938. Estudou na Universidade de Chicago, onde se licenciou com 18 anos. Se formou no mestrado de Genética e Zoologia na Universidade do Wisconsin e posteriormente no doutorado em Genética na

Universidade da Califórnia. Antes de se instalar definitivamente na Universidade de Massachusetts, trabalhou 22 anos na Universidade de Boston (capital de Massachusetts).

Em sua Teoria da Endossimbiose e abordagem à simbiogênese, Margulis and Sagan (2002) desafiou a visão tradicional de que os genes são as unidades básicas da vida, argumentando que a vida não é uma propriedade dos genes em si, mas um fenômeno que surge de sistemas complexos de interações entre organismos e suas partes, incluindo os genes. Margulis (2001) propôs que a vida não pode ser reduzida a unidades genéticas isoladas, mas sim um fenômeno que ocorre devido a simbiose e cooperação entre diferentes organismos e partes celulares, enfatizando que a diversidade e complexidade da vida são provenientes da interação entre organismos e a colaboração entre eles, sendo a cooperação o sujeito principal, capaz de criar diversidade e manter ecossistemas.

Para Margulis and Sagan (2002), os genes desempenham um papel importante na evolução e na determinação das características dos organismos, mas a vida em si é o resultado de uma teia de interações simbióticas em todos os níveis Biológicos, desde o molecular até o nível de organismos multicelulares. Portanto, a evolução não é meramente a seleção de genes individuais, mas a seleção de sistemas simbióticos que incluem uma variedade de componentes genéticos e não genéticos. A ideia central de Lynn Margulis, é a de que a Vida não é exclusivamente uma propriedade dos genes, mas ela nasce de interações complexas entre organismos e suas partes, incluindo genes, organelas e outros componentes celulares, enfatizando a importância da simbiose e da cooperação na evolução.

Em suas obras “Planeta Simbiótico” e “O que é Vida?”, apresentou algumas definições de Vida, e seu foco estava nas interações simbióticas, na evolução das células e na relação entre diferentes níveis de organização dos seres vivos. A busca por uma definição universal de Vida é um desafio complexo na Biologia e na Filosofia, sendo que muitos cientistas têm abordagens diferentes para essa questão. Em vez de propor uma definição abrangente, Margulis concentrou-se em explicar como a Vida evolui e como as diferentes formas de Vida interagem entre si. Margulis não forneceu

uma única definição de Vida, mas várias, enfatizando a importância da vida bacteriana, considerando esta como mais primitiva, porém primordial para gerar todos os tipos de vida atuais.

“Uma resposta legítima à pergunta “o que é vida?” é “bactéria”. Qualquer organismo, não sendo em si uma bactéria viva, é descendente - de um modo ou de outro - de alguma bactéria, ou, mais provavelmente, de fusões de vários tipos de bactérias. As bactérias povoaram o planeta no começo e nunca abriram mão desse controle” (MARGULIS, 2001 p. 103).

Além de sua importância ancestral, Margulis (2001) enfatiza a capacidade das bactérias de realizarem todo tipo de transformação metabólica do planeta, retirando a ênfase criada sob senso comum de que bactérias existem somente como patógenos, e sim como agentes transformadores da vida. Mais adiante, a autora expõe mais uma definição de vida: “A vida é o estranho fruto novo de indivíduos que evoluíram por simbiose” (MARGULIS AND SAGAN. 2002, P.154).

Suas contribuições à Biologia revolucionaram a compreensão da evolução, enfatizando a importância da simbiose e da cooperação, o que fica claro após a leitura de suas obras ‘Planeta Simbiótico’ e ‘O que é Vida?’. Margulis desenvolveu suas ideias por meio de extensa pesquisa e observação, comparando características de organelas celulares com organismos procariontes independentes, criando a Teoria da Endossimbiose, o núcleo central de seu trabalho. Ao longo do tempo, a Teoria da Endossimbiose ganhou aceitação e influenciou a compreensão da evolução das células eucarióticas, desafiando a visão tradicional de que a evolução ocorre principalmente por meio de mutações genéticas aleatórias e seleção natural, comprovando que as interações simbióticas têm um papel importante na diversidade da Vida.

Para Margulis and Sagan (2002), a Vida é distinta do não-vivo não pela existência ou agrupamento de componentes químicos, mas sim pelo comportamento destes componentes, sendo a evolução a grande mentora de todos os processos que englobam a vida. Como desdobramento de seus estudos sobre a Vida, Margulis foi também uma grande defensora da Teoria de Gaia, de autoria do cientista britânico James Lovelock, que determina que a Terra é ela própria um sistema que se

autorregula para se perpetuar. Lovelock chegou a argumentar que a Terra era de fato um organismo vivo, em seu livro “Planeta Simbiótico”, Margulis e seu filho Dorion Sagan explicam a teoria de Lovelock, no último capítulo do livro, intitulado “Gaia”. A autora também apresenta, em sua obra “O que é Vida?”, definições de Vida que abarcam o conceito de Autopoiese, o qual foi criado na década de 1970 pelos Biólogos e Filósofos chilenos Francisco Varela e Humberto Maturana para designar a capacidade dos seres vivos de produzirem a si próprios.

3.2.1 A Teoria da Origem Simbiogenética ou Teoria da Endossimbiose Sequencial (SET):

Margulis (2001) explica que se trata de uma teoria na qual se postula que o surgimento de células eucarióticas se deu pela ingestão de um organismo procarionte aeróbico por um organismo procarionte anaeróbico. Apresentou em 1967, um trabalho que trata pela primeira vez a Teoria da Endossimbiose, uma teoria unificadora sobre a origem das células eucarióticas. As mitocôndrias teriam surgido após um ancestral das células eucariontes fagocitar um procarionte ancestral aeróbico. O procarionte não foi digerido pela célula, mas passou a viver em simbiose com ela. Os cloroplastos seriam organelas derivadas da interação entre um organismo procarionte ancestral aeróbico e um organismo eucarionte unicelular anaeróbico.

A Teoria da Endossimbiose, de acordo com Margulis (2001), propõe que algumas organelas, como mitocôndrias e cloroplastos, no início da vida na Terra, eram procariontes (bactérias) de vida livre, que foram englobados por outros seres unicelulares maiores, e em vez de serem digeridos ou destruídos, estabeleceram relações simbióticas benéficas, originando células eucarióticas. As células hospedeiras forneceram proteção e nutrientes, enquanto os organismos simbióticos forneceram funções essenciais, como a produção de energia (mitocôndrias) ou a capacidade de realizar fotossíntese (cloroplastos). Margulis em seu livro ‘Symbiosis in Cell Evolution: Life and Its Environment on the Early Earth’, escrito em 1981,

considerou e organizou evidências celulares, bioquímicas e paleontológicas da teoria para suportá-la, bem como sugeriu meios pelos quais ela poderia ser testada experimentalmente. Também discutiu os mecanismos pelos quais a endossimbiose poderia ocorrer e suas implicações para a evolução celular.

Alguns dos métodos utilizados para suportar e demonstrar as evidências foram:

► **Comparação de Estruturas Celulares:** A cientista comparou as estruturas celulares de organismos procariontes (como bactérias) com as organelas eucarióticas (mitocôndrias e cloroplastos). Ela notou semelhanças entre essas estruturas, sugerindo uma origem comum.

► **Estudos de DNA e RNA:** Margulis e outros pesquisadores examinaram o DNA e o RNA das mitocôndrias e cloroplastos, bem como de bactérias modernas. Eles descobriram que essas organelas possuem seu próprio material genético, semelhante ao de bactérias, e que esse material genético é mais parecido com o de certas bactérias do que com o DNA nuclear da célula hospedeira.

► **Observação de Processos Evolutivos:** Margulis estudou processos evolutivos em ação, como simbiose e endossimbiose em organismos modernos. Ela argumentou que esses processos poderiam explicar como as mitocôndrias e os cloroplastos foram incorporados por células eucarióticas ancestrais.

► **Experimentos de Hibridização:** Margulis e outros pesquisadores realizaram experimentos de hibridização, nos quais eles fundiram células de diferentes espécies para observar se ocorria a formação de simbiontes. Esses experimentos forneceram evidências de que a simbiose entre diferentes organismos poderia ocorrer.

► **Estudos Fósseis:** Embora não haja fósseis diretos das etapas iniciais da endossimbiose, Margulis e outros pesquisadores estudaram evidências

indiretas, como a presença de organismos fósseis que mostram características intermediárias entre procariontes e eucariontes.

Essas são algumas das abordagens que Margulis utilizou para apoiar sua teoria da endossimbiose. Seu trabalho pioneiro e suas contribuições significativas ajudaram a estabelecer a endossimbiose como uma explicação plausível para a origem das mitocôndrias e dos cloroplastos nas células eucarióticas.

Em complemento a Teoria da Endossimbiose, a qual foi publicada no artigo "The Origin of Mitosing Eukaryotic Cells" (1967) onde Margulis propôs a teoria da endossimbiose para explicar a origem das células eucarióticas, em 1976 Margulis apresenta um artigo que trata sobre simbioses (*Genetic and evolutionary consequences of symbiosis*). Neste artigo, simbioses estáveis permanentes, principalmente microbianas, são analisadas como fenômenos parassexuais⁵ do ponto de vista evolutivo. São analisadas associações que surgiram pela evolução convergente: Formas fotossintéticas móveis, complexos fixadores de nitrogênio e complexos de digestão de madeira, e assim por diante. São discutidos exemplos de muitos níveis: gênico, produto gênico, metabólito, comportamental e os métodos pelos quais eles podem ser distinguidos. É revista a literatura relativa a um grande número de associações simbiotes.

Em 1985, Margulis expõe a Teoria Endossimbiótica Sequencial (SET), trazendo evidências convincentes, sugerindo que tanto as mitocôndrias quanto os plastídeos se originaram por simbiose com um terceiro tipo de micróbio, provavelmente uma arqueobactéria semelhante ao *Thermoplasma*, ancestral do "núcleo-citoplasma" (núcleo + citoplasma de uma célula). Neste trabalho é desenvolvida a ideia de que a simbiose tem sido importante na origem das espécies e dos táxons superiores.

⁵Processo peculiar que ocorre em fungos e procariontes, se trata de mecanismos não sexuais de transferência de material genético, sem meiose ou sequer desenvolvimento de estruturas sexuais.

Segundo a Teoria Endossimbiótica Sequencial, a célula eucariótica típica teria surgido sequencialmente, em três etapas principais:

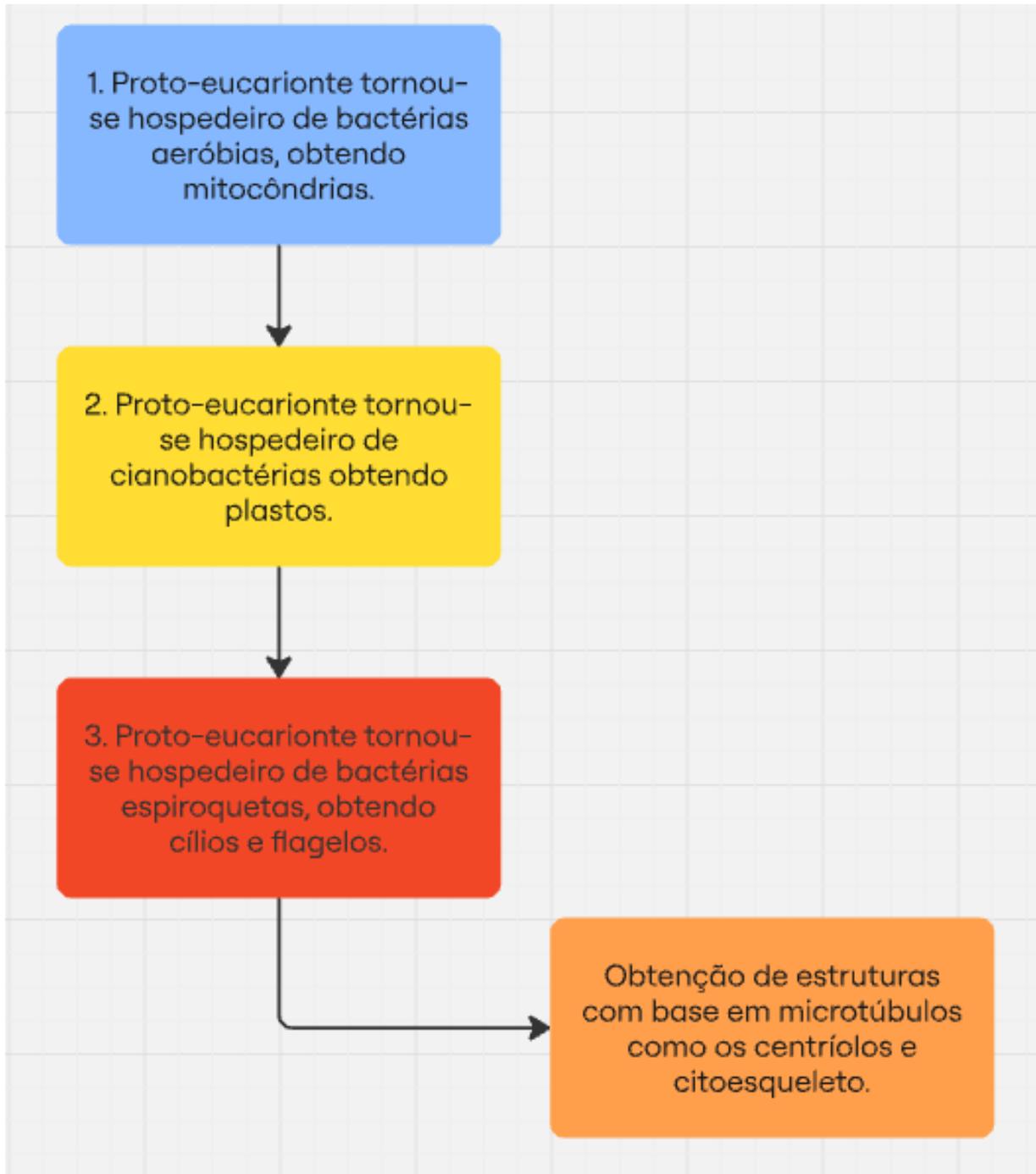


Fig.1. Sequência da origem da célula eucariótica segundo a Teoria Endossimbiótica Sequencial. Fonte: Elaborado pela autora.

Como uma constatação empírica de sua Teoria, Margulis destaca que:

“Células verdes grandes e emparelhadas precederam as plantas: elas já estavam plenamente formadas nas algas verdes, ancestrais das plantas que viviam na água. O fato de que os organismos nucleados evoluíram por incorporação é mais bem notado em plantas porque com suas grandes e belas células a integridade das organelas que as compõem é facilmente observada” (MARGULIS, 2001 p. 38).

De acordo com Margulis (2001), essa simbiose ocorreu a partir do momento que a atmosfera começou a apresentar uma concentração substancial de oxigênio (O₂) e organismos aeróbios com uma maior produção de energia surgiram na Terra. O evento de endocitose dos cloroplastos deve ter ocorrido mais tardiamente que o das mitocôndrias e deve ter ocorrido separadamente pelo menos três vezes, explicando a grande variedade de pigmentos e propriedades existentes nos diversos cloroplastos de plantas e algas.

As mitocôndrias são provavelmente derivadas de um tipo de bactéria fotossintetizante que perdeu a sua capacidade de realizar fotossíntese e ficou apenas com a sua cadeia respiratória. A bactéria endocitada receberia nutrientes da célula que a englobou e ao mesmo tempo daria energia para esta, exemplificando neste caso a relação simbiótica.

Algumas das evidências empíricas da teoria da origem endossimbionte das mitocôndrias e cloroplastos, de acordo com Margulis e Sagan (2002), estão descritas abaixo:

- O DNA das mitocôndrias e cloroplastos é diferente do que existe no núcleo celular e em quantidades semelhantes às das bactérias.
- O código genético que as mitocôndrias utilizam é diferente do código da célula eucariótica hospedeira e semelhante ao das bactérias e Arquea.
- Mitocôndrias e cloroplastos são delimitados por duas ou mais membranas e a mais interna possui diferenças na composição em relação às demais membranas da célula e semelhanças com a dos procariontes.
- Cloroplastos e mitocôndrias se formam por fissão binária, assim como é comum nas bactérias.

- Os cloroplastos, estruturalmente e bioquimicamente, possuem semelhanças com as cianobactérias, como por exemplo a presença de tilacoides e alguns tipos de pigmentos.
- Análises filogenéticas de bactérias, cloroplastos e genomas eucarióticos sugerem que os cloroplastos estão relacionados com as cianobactérias.
- Cloroplastos e mitocôndrias possuem genomas pequenos se comparados com outros organismos, o que pode indicar aumento da dependência destas organelas em relação ao organismo hospedeiro.
- A sequência do DNA de algumas espécies sugere que o núcleo celular possui genes que podem ter vindo do cloroplasto.
- Grupos de protistas possuem cloroplastos, apesar de que na maioria das vezes estes mesmos grupos são filogeneticamente mais próximos com organismos que não possuem cloroplastos, sugerindo a possibilidade de que se os cloroplastos tiveram origem em células endossimbiontes, este processo surgiu inúmeras vezes, o que se costuma denominar “endossimbiose secundária”.

Sendo assim, Margulis apresentou várias evidências para apoiar a sua Teoria da Endossimbiose, principalmente as semelhanças entre as mitocôndrias e bactérias, com DNA próprio, além da semelhança entre a membrana externa da mitocôndria e a membrana de algumas bactérias. A Teoria da Endossimbiose teve impacto significativo na Teoria da Evolução, pois indicou que a diversidade da Vida e a complexidade das células eucarióticas surgiram, em parte, devido a associações simbióticas antigas. Esta teoria ajudou a explicar como as células eucarióticas evoluíram a partir de células procariontes mais simples.

3.2.2 Simbiogênese

A Teoria da simbiogênese, de acordo com Margulis (2001), explica como indivíduos de diferentes espécies se unem para formar um novo indivíduo, ou seja, se trata de uma teoria evolucionista. Diferente da simbiose, a simbiogênese é um termo criado para designar novos seres ou órgãos que surgem a partir da simbiose.

A Teoria da Simbiogênese e a Teoria da Endossimbiose são conceitos relacionados, mas diferem em alguns aspectos importantes:

a) **Teoria da Endossimbiose** sugere que organelas específicas, como mitocôndrias e cloroplastos, tiveram origem a partir de organismos independentes que foram englobados por células hospedeiras e estabeleceram relações simbióticas. Essas organelas eram originalmente organismos procariontes que evoluíram para se tornar parte das células eucarióticas. O foco da Teoria da Endossimbiose está nas organelas, se concentrando em sua origem e evolução.

b) **A Teoria da Simbiogênese**, de acordo com Margulis (2001), trata de um conceito mais amplo que se estende além das organelas, sugerindo que a simbiose (relação mutualística entre diferentes organismos) desempenhou um papel fundamental na evolução da vida em geral. Esta teoria aborda a simbiose em vários níveis, desde interações entre moléculas, como o RNA e proteínas, até a simbiose entre organismos multicelulares.

O foco da Teoria da Simbiogênese, de acordo com Margulis (2001), se encontra na cooperação, enfatizando sua importância e interdependência entre diferentes formas de vida na evolução, argumentando que a Vida complexa e diversa surgiu em parte devido a associações mutualísticas. Portanto, a principal diferença entre as duas teorias está no escopo e no foco. A Teoria da Endossimbiose é uma parte específica da Teoria da Simbiogênese, concentrando-se na origem das organelas por meio da simbiose entre procariontes. A Teoria da Simbiogênese é mais abrangente, explorando a simbiose como um princípio geral na evolução e destacando a importância da cooperação e da interação entre diferentes formas de Vida em todos os domínios Biológicos.

Nesta seção foi escrito um pequeno resumo das duas teorias principais de Lynn Margulis, explicando conceitos fundamentais que percorrem todo o trabalho e linha de raciocínio da cientista acerca de sua percepção sobre a Vida. A partir disto, podemos seguir adiante conhecendo um cientista contemporâneo de Margulis, mas com ideias bem diferentes.

3.3 Definições de Vida para Richard Dawkins:

Clinton Richard Dawkins, escritor britânico nascido no Quênia em 1941, é um biólogo evolutivo, etólogo, e divulgador da ciência. É membro de um grupo de professores de alto nível do New College da Universidade de Oxford. Dentre vários livros escreveu “O Gene Egoísta”, em 1976, popularizando a visão da evolução centrada nos genes. Em 1982, introduziu a ideia de fenótipo estendido na biologia evolutiva, a qual define que os efeitos fenotípicos de um gene não são necessariamente limitados a um organismo, mas também ao meio ambiente e a cultura, através do modo como o gene manipula o comportamento do organismo. Dawkins também é conhecido por seus trabalhos sobre etologia, e, dentro da biologia evolutiva, por suas críticas ao criacionismo e ao design inteligente (uma corrente de pensamento que nega as ideias evolucionistas com relação à vida na Terra).

Dawkins é conhecido por divulgar uma visão neodarwinista da Vida, onde a “Vida para esse paradigma é basicamente a seleção natural de entidades que conseguem se auto-copiar, passar e herdar informações ideais para sobrevivência de sua futura linhagem” (STEDILE, 2015, p.11). Para Dawkins, os organismos são “máquinas de sobrevivência” dos genes, tais organismos servem apenas para garantir a auto-replicação dos genes. Dawkins se concentra principalmente na seleção natural e na teoria genealógica da seleção, que destaca o papel fundamental dos genes na evolução.

Em 1976, Dawkins publicou “O Gene Egoísta”, sendo o tema central a ideia de que os genes são as principais unidades de seleção na evolução, sendo os organismos máquinas que existem para servir aos interesses dos genes. Na obra, Dawkins explora como o aparente altruísmo de organismos, principalmente parentes entre si, pode ser explicado pela seleção de genes. Nesta obra Dawkins explica a origem e a evolução da Vida sob a perspectiva central dos genes.

Richard Dawkins (2007) cunhou o termo ‘gene egoísta’, que pode ser considerado como expressão síntese da “revolução egoísta”, a qual consistia em atribuir funções biológicas aos genes, até então mal apontadas na seleção natural, no comportamento das espécies e em características geneticamente determinadas, sendo liderada por alguns autores neodarwinistas como George Williams e William

Hamilton, nas décadas de 60 e 70 do século passado. Dawkins foi o principal responsável por enunciar novos princípios para o “ultradarwinismo” (a explicação de todo comportamento através dos princípios darwinistas), principalmente pelo fato de que a seleção natural não tinha como efeito fazer a triagem dos indivíduos, mas sim dos genes, de acordo com Vieira e Chaves (2009). Segundo os autores, na perspectiva de Dawkins, os genes seriam o verdadeiro “alvo” da evolução, sendo os organismos pouco mais do que “máquinas a serviço das replicações gênicas”. No Brasil, o livro “O Gene Egoísta” foi editado em 1979, sendo reimpresso até os dias atuais.

O livro ‘O Gene Egoísta’ possui onze capítulos, os quais tentam explicar a importância do darwinismo para o estudo do comportamento social e examinar a *biologia do altruísmo e do egoísmo*. “Para desenvolver o raciocínio do gene egoísta, Dawkins define altruísmo como um ato no qual se tende aumentar a probabilidade do altruísta morrer e do favorecido sobreviver” (VIEIRA & CHAVES, 2009, p.2). É fundamental perceber que Dawkins tenta nos mostrar com diversos exemplos, que atos de aparente altruísmo na realidade são de egoísmo disfarçado, e para provar, ele traz diversos exemplos com base em observações etológicas, como por exemplo o caso das abelhas, aparentemente um grupo altruísta:

“O comportamento de aferroar (das abelhas operárias) é uma defesa muito eficaz contra ladrões de mel. Mas, as abelhas que aferroam são combatentes kamikazes. No ato de picar, órgãos internos vitais são geralmente arrancados do corpo e a abelha morre logo em seguida. Sua missão suicida talvez tenha salvo os estoques vitais de alimento da colônia, mas ela própria não pode usufruir os benefícios. Pela nossa definição este é um ato de comportamento altruísta. Lembre-se que não estamos falando de motivos conscientes. Eles podem ou não estar presentes, tanto aqui como nos exemplos de egoísmo, mas são irrelevantes para nossa definição” (DAWKINS, 2007, p.44-45).

Dawkins (2007) segue a explicação sobre o comportamento aparentemente altruísta das abelhas como insetos sociais. Para o autor, o comportamento kamikaze e outras formas de altruísmo entre as operárias não parecem tão surpreendentes quando descobrimos que elas são estéreis, sendo que uma abelha operária não produz seus próprios descendentes. Sendo assim, para Dawkins (2007), os esforços da abelha operária são dirigidos à preservação de seus genes cuidando de parentes

que não são sua prole, e a morte de uma única operária estéril não prejudicaria seus genes, assim como o desprender de uma folha para os genes de uma árvore.

Richard Dawkins escreve outros exemplos bastante convincentes, principalmente para um público leigo em Biologia, até chegar na questão humana. Em sua obra, 'O Gene Egoísta', Dawkins dedica um capítulo com exemplos etológicos sobre cuidado parental, trazendo situações muito interessantes. Em um destes exemplos, Dawkins afirma: "O que nos interessa no momento é saber se seria vantajoso para uma mãe investir desigualmente nos seus filhos, isto é, se seria proveitoso que ela tivesse filhos prediletos" DAWKINS (2007, p. 229).

Segundo Dawkins (2007), não existe razão genética para que uma mãe tenha filhos prediletos, pois seu grau de parentesco em relação a todos os filhos é o mesmo. A melhor estratégia seria investir igualmente no maior número de filhos que ela possa criar, até que eles sejam adultos, porém, alguns indivíduos representam um investimento melhor do que outros, sendo que uma cria pequena e debilitada carrega a mesma quantidade de genes maternos que seus irmãos mais robustos, entretanto sua expectativa de vida é menor, ou em outras palavras, ela necessita mais do que sua respectiva fração de investimento parental para ter a mesma probabilidade de sobreviver que seus irmãos.

De acordo com Dawkins (2007), a depender das circunstâncias, pode ser mais vantajoso para a mãe recusar a alimentação de uma cria mal desenvolvida e distribuir a porção que seria investida a ela entre seus irmãos. Até mesmo poderia a mãe dar a cria mal desenvolvida para seus outros filhotes comerem, ou ela própria, com fim de ter uma utilização em sua produção de leite. Além de algumas aves, o autor cita este caso como algo corriqueiro entre os porcos.

O autor segue analisando o dilema de aves-fêmeas, entre "escolher" uma cria mais jovem ou mais velha, a depender das condições físicas de cada um e previsões sobre probabilidades de sobrevivência. Por exemplo, a "escolha" dependerá se o filho mais novo realmente está condenado a morrer, e se o mais velho já está suficientemente saudável e maduro para sobreviver. Salvando o filho mais novo, por exemplo, terá que investir recursos preciosos até que ele atinja a idade do irmão mais velho, porém, caso o mais velho venha a morrer, ela arrisca a perder uma proporção maior de investimento parental envolvido.

Em todos estes casos, cabe à ave-mãe ponderar onde seguir investindo recursos para o desenvolvimento dos filhotes. Em determinados casos, torna-se mais vantajoso investir nos netos ou sobrinhos, segundo Dawkins (2007), neste caso com possibilidade de extrair desse investimento um proveito duas vezes maior do que um filho faria.

Chegando neste ponto, Dawkins aborda o fenômeno da menopausa, o que ele chama de “o término um tanto abrupto da fertilidade da mulher na meia-idade”. (DAWKINS, 2007, p.231). Para Dawkins (2007), existe uma diferença entre a mudança abrupta de fertilidade nas mulheres e entre a mudança gradual dos homens. O autor escreve que isto leva a pensar que existe algo “geneticamente deliberado” na menopausa, sendo ela uma adaptação, pois caso a mulher continuasse tendo filhos até sua exaustão, com o passar dos anos seria cada vez menos provável que seus filhos sobrevivessem.

Segundo Dawkins (2007), uma explicação possível para a evolução da menopausa nas fêmeas seria a de que caso uma mulher tivesse um filho e um neto nascidos no mesmo dia, a expectativa do neto seria maior, entrando aí um gene para investir preferencialmente nos netos (a avó também é aparentada com os netos, mesmo que o grau de parentesco seja 50% menor do que em relação aos filhos). Segundo o autor, “um gene como esse é transportado por apenas um em cada quatro netos, enquanto o ‘gene rival’ é transportado por um em cada dois filhos, mas a maior expectativa de vida dos netos supera a importância disso, e o gene do ‘altruísmo dirigido aos netos’ prevalece no *pool* gênico” (DAWKINS, 2007, p. 232).

Para Dawkins (2007), uma mulher não poderia investir totalmente nos netos se continuasse a ter filhos, por isto, os genes para que ela se torne reprodutivamente infértil ao chegar à meia-idade ficaram mais numerosos, pois foram transportados pelos corpos dos netos, os quais sobreviveram graças ao ‘altruísmo’ das avós. Já os machos, não passam por esta mesma situação, devido ao fato de que eles não investem tanto quanto as fêmeas em cada filho individual, para eles, desde que possam produzir filhos com uma mulher jovem, valerá mais a pena investir nos filhos do que nos netos.

Se levada ao pé da letra, a teoria do Gene Egoísta pode chegar a um debate recorrente nas análises sociobiológicas, como exemplo a violência desencadeada nas

relações intraespecíficas. De acordo com Dawkins (2007), a lógica exposta no livro 'O Gene Egoísta', uma *máquina de sobrevivência* deveria exterminar seus rivais, porém tal comportamento assim como o canibalismo não é visto com frequência na natureza. O possível motivo seria o de que tal tipo de comportamento não seria benéfico para a manutenção dos genes de determinada espécie.

Dawkins aborda o conceito de EEE (Estratégia Evolutivamente Estável), conceito construído pelo geneticista britânico John Maynard Smith, sendo definida como:

“Uma estratégia que se adotada pela maioria dos membros de uma população, não poderá ser sobrepujada por uma estratégia alternativa... ..Outra maneira de expressá-la é dizer que a melhor estratégia para um indivíduo depende do que a maioria da população está fazendo... ..uma vez que a EEE é alcançada ela se manterá: a seleção punirá os desvios” (DAWKINS, 2007, p.94-95).

Dawkins (2007) escreve que os modelos de EEE são especialmente úteis para analisar numerosos problemas, o que possibilitou amplo desenvolvimento da ecologia comportamental e sociobiologia. Segundo ele, embora possamos observar agressividade e violência na natureza, grande parte dos animais desenvolvem estratégias evolutivas em que as lutas raramente são fatais, pois que caso fossem, resultaria em grande prejuízo para uma espécie.

Sendo assim, Vieira e Chaves (2009), dizem que através das estratégias discutidas em 'O Gene Egoísta', é possível descobrir que o conflito direto não é uma estratégia evolutivamente estável para as espécies. Desta forma, o conceito de “reciprocidade” surge como uma possibilidade de estratégia estável, pois que na maioria das situações observadas na natureza, o nível de agressão de um indivíduo é diretamente proporcional ao comportamento da maior parte dos indivíduos, e não de casos isolados, ou seja, um indivíduo se torna violento com outro somente se for vítima deste, e não se torna violento com todos.

Ainda analisando a obra de Dawkins, o mesmo aborda alguns temas sociais como o racismo por exemplo, atribuindo a teoria do Gene Egoísta como uma possibilidade para tal comportamento humano:

“É possível imaginar o preconceito racial como uma generalização irracional de uma tendência de seleção de parentesco a identificar-se com indivíduos fisicamente semelhantes e a ser desagradável a indivíduos de aparência diferente” (DAWKINS, 2007, p.125).

Tal afirmação não traz uma explicação sistêmica, mais uma vez parecendo que Dawkins se refere ao termo “Gene Egoísta” de forma bastante literal.

De acordo com Vieira e Chaves (2009), o conceito articulado por Dawkins é instrumental e considerado obsoleto por muitos geneticistas contemporâneos, pois considera-se atualmente que o axioma *um gene, uma proteína* não faz mais sentido. A complexidade dos organismos estaria relacionada à dinamicidade dos genes que, de maneira sofisticada, poderiam produzir diversas proteínas através de um mecanismo denominado *splicing* alternativo. Segundo os autores, não parece correto pensar que com um genoma de 25000 genes, por exemplo, existirá um gene para cada comportamento ou mesmo grupos de genes que de maneira determinista acarretam comportamentos específicos. Isto sugere um enfoque reducionista no estudo dos seres vivos.

Na obra “Fenótipo Estendido”, de 1982, Dawkins expande a sua ideia fundamental do “gene egoísta”, a qual havia apresentado em seu livro anterior, de mesmo nome. Porém, em “Fenótipo Estendido”, Dawkins (1982), argumenta que a evolução não deve ser vista apenas como a seleção de genes individuais, mas também como a seleção de traços e comportamentos que podem ser transmitidos culturalmente de uma geração para a próxima.

A ideia central de “Fenótipo Estendido”, de acordo com Dawkins (2007), é que organismos não são apenas veículos para a reprodução de genes, assim como estava subentendido na obra anterior, mas que também podem ser vistos como “máquinas” que constroem e mantêm seus ambientes de maneiras que beneficiam a sobrevivência e a reprodução dos genes. Dawkins criou o termo “fenótipo estendido” para se referir a traços ou comportamentos que afetam o sucesso reprodutivo dos genes, mesmo que não sejam diretamente codificados pelos genes.

A obra “O Fenótipo Estendido” explora como a evolução não se limita à seleção de genes, mas também inclui a seleção de traços e comportamentos que podem ser transmitidos culturalmente, e a cultura em si influencia a transmissão de informações e comportamentos que afetam a aptidão dos genes (sem serem

diretamente codificados pelos genes). Para elucidar suas ideias, Dawkins (1982), traz uma variedade de exemplos, desde ninhos de pássaros e teias de aranhas até os comportamentos sociais em humanos, argumentando que esses traços complexos podem ser vistos como extensões dos genes que permitem que os próprios genes se beneficiem de maneiras novas e diferentes.

Assim, organismos e cultura apresentam papéis importantes na evolução e na transmissão de informações genéticas e culturais, por traços culturais entende-se tecnologia, comunicação, comportamento social, desempenhando um papel importante na evolução ao serem transmitidos de uma geração para a próxima. É importante salientar que mesmo incluindo o fator cultural como importante contribuição para a evolução, Dawkins continua afirmando que os genes manipulam o indivíduo de maneira a criar e manter culturas que contribuam para a sobrevivência e reprodução genética.

Araújo (2021) expõe que no livro 'O Fenótipo Estendido', Dawkins apresenta o conceito biológico de mesmo nome, onde a ideia principal é que fenótipos não deveriam estar limitados apenas a efeitos no corpo do indivíduo que possui determinado gene. Sendo assim, Dawkins propõe que o efeito de um gene pode ter efeitos no ambiente que um organismo habita, através de alterações em seu comportamento. Araújo (2021), explica que Dawkins sugere três formas de fenótipo estendido:

“A primeira é a capacidade de indivíduos modificarem o seu ambiente, através de estruturas físicas. Estariam nesta categoria os ninhos de pássaros, teias de aranha, entre outros. A segunda seria a capacidade de manipular outros organismos. Diversos parasitas apresentam a capacidade de influenciar o comportamento de seus hospedeiros, de maneira a aumentar o seu *fitness*. Por exemplo, fungos do gênero *Cordyceps* manipulam o comportamento de formigas, que se posicionam de forma a facilitar a dispersão de seus esporos. A terceira forma de fenótipo estendido seria uma ação executada à distância do parasita em seu hospedeiro. Um exemplo seria o comportamento de filhotes de cucos, cuja mãe deposita o ovo em ninhos de outras espécies de pássaros que passam a alimentá-los. Argumenta-se que o comportamento de tais indivíduos favorece a replicação de genes que promovem estas ações, mesmo que estas não estejam diretamente relacionadas a características do corpo do animal que as executa” (ARAÚJO, 2021, p.12).

Sendo assim, tanto “O Gene Egoísta” como “Fenótipo Estendido” possuem como tema central a Teoria da Evolução de Darwin e os meios através dos quais ela ocorre, porém oferecem perspectivas diferentes sobre como a evolução funciona. O primeiro livro foca na importância dos genes, enquanto o segundo amplia esta visão para incluir o impacto da cultura e do comportamento na evolução. Ambos os livros são influentes e continuam a ser discutidos na comunidade científica.

A principal crítica com relação a obra “O Gene Egoísta” seria que sua ideia central é considerada reducionista. Reduccionismo pode muitas vezes, resultar em erros, pois não leva em conta a complexidade dos processos biológicos e suas interações, e, apesar de Dawkins diversas vezes expressar que o termo “Gene Egoísta” não deve ser tratado de forma literal, seus exemplos atribuem comportamentos humanos exclusivamente aos genes que determinado indivíduo possui. Este mesmo reducionismo pode acarretar confusão quanto a definição de situações como guerras, a exploração de trabalho no sistema capitalista, preconceitos de gênero e xenofobia, que são problemas sociais complexos e não possuem fundamentação biológica.

Embora não tenha escrito exatamente com estas palavras, é conclusivo após as leituras realizadas que Dawkins possui como definição de Vida a existência na Terra de mera maquinaria de sobrevivência que os genes construíram para se preservar ao longo de gerações, com foco na questão bioquímica, pois, para o cientista, os seres vivos, por exemplo os animais, são quase idênticos em sua composição química.

Devido ao fato de que cada ser vivo tem um código genético diferente, mas que sempre é construído com as mesmas moléculas, faz Dawkins crer que as moléculas de DNA sejam algum tipo de “força” ou “inteligência” por trás da existência da Vida, e nós temos como missão espalhar estas moléculas, pois somos máquinas de sobrevivência para o mesmo tipo de replicador, as moléculas de DNA. Então, de acordo com Dawkins, é possível entender que a vida seria uma mera interação físico-química entre moléculas guiada por alguma força subjacente às moléculas de DNA.

É importante salientar que os alelos são versões alternativas de um gene que ocupam a mesma posição em cromossomos homólogos, sendo que cada indivíduo

herda dois alelos de cada gene, um do pai e outro da mãe, assim, os alelos podem ser dominantes ou recessivos. O conjunto de alelos que um indivíduo possui para um gene específico é chamado de genótipo. O fenótipo é a manifestação física ou funcional desse genótipo. Portanto, a combinação dos alelos (genótipo) resulta na expressão de características visíveis (fenótipo). Dawkins em sua obra 'O gene egoísta' não se refere aos alelos como determinantes da manifestação de características fenotípicas, atribuindo esta função diretamente aos genes.

Nesta seção abordamos possíveis definições de Vida para Richard Dawkins, de acordo com suas principais obras. Na próxima, serão descritas descobertas e suas implicações sobre a Teoria do Gene Egoísta.

3.4 A descoberta dos íntrons e suas implicações sobre a teoria do gene:

Íntrons são segmentos de DNA que fazem parte dos genes eucarióticos, e também estão presentes no RNA mensageiro (temporariamente), sendo retirados durante o processamento dessa molécula, e portanto não codificam proteínas. Eles são partes não codificantes do DNA que são transcritas para RNA mensageiro (mRNA) junto aos éxons, que são as partes do DNA que codificam para proteínas. Após a transcrição, os íntrons são removidos do mRNA por um processo chamado *splicing*, enquanto os éxons são unidos para formar o mRNA 'maduro', que é então transportado para o citoplasma para a síntese de proteínas.

A descoberta dos íntrons veio a trazer um debate sobre natureza *versus* cultura. De acordo com WAIZBORT & SOLHA (2006), ao longo do ano de 1977 os genes interrompidos foram descobertos, sendo o conceito de gene ainda alvo de constantes reformulações.

Segundo Mayr (1998), quando Nirenberg e Matthaei descobriram e desvendaram o código genético em 1961, acreditava-se que o último grande problema da Biologia Molecular estava resolvido, porém desde então vieram novas descobertas, que significam desde aspectos pertinentes a fisiologia do gene e também de importância evolutiva.

A definição do “gene molecular clássico”, afirma que o gene “é um trecho de DNA que codifica uma cadeia de polipeptídeos que torna uma proteína funcional” (Stotz, Griffiths & Knight, 2006, p.4). Porém, de acordo com Waizbort & Solha (2006), no ano de 1978 o Professor de Biologia Molecular da Universidade de Harvard, Walter Gilbert, afirmou em um artigo na revista *Nature*, periódico de divulgação científica do Reino Unido, que a imagem da organização dos genes nos organismos superiores havia passado por uma recente revolução, se referindo a descoberta dos genes interrompidos.

Waizbort & Solha (2006) indicam que começaram a ser documentados a partir de 1977, genes que apresentam inserções de trechos de DNA que não encontram correspondência no RNA mensageiro que especifica os aminoácidos na proteína, sinalizando a existência de mecanismos genéticos que fazem a célula mais dinâmica e complexa do que se suspeitava antes. Sendo que todos os organismos eucariontes contém íntrons em pelo menos alguns de seus genes, embora este número tenha variação de organismo para organismo. Por exemplo, os genes humanos, são processados alternativamente em cerca de 40 a 60%.

Sendo assim, a compreensão hegemônica durante muito tempo considerava que o fluxo de informações seguia unidirecionalmente do DNA para o RNA e deste para a proteína. Tal formulação ficou considerada como o dogma central da biologia molecular. Maynard Smith (2001), aponta que o termo “dogma” dentro das Ciências Biológicas, se referindo ao “Dogma Central” de Francis Crick (o fluxo de informações genéticas segue unidirecionalmente do DNA para o RNA e daí para as proteínas).

As pesquisas acima mencionadas, portanto, apontam que nas últimas décadas a Biologia Molecular foi responsável por muitas descobertas, entre elas os íntrons, que acarretaram uma mudança na visão do gene clássico imposto por Francis Crick, o que também afetou a visão do gene como principal vetor da evolução.

Sobre natureza *versus* cultura, WAIZBORT e SOLHA (2006) indicam que a relação entre íntrons e cultura não é direta, pois os íntrons são elementos genéticos que estão relacionados principalmente à biologia molecular e à genética. No entanto, podemos explorar uma analogia figurativa para entender como os íntrons podem se relacionar com a cultura.

Ainda de acordo com WAIZBORT e SOLHA (2006), assim como os íntrons são segmentos de DNA que não codificam para proteínas, existem elementos "não codificantes" na cultura, como tradições, valores, crenças e rituais, que não têm uma função direta de produção ou manutenção de recursos, mas que desempenham um papel importante na estrutura e dinâmica da sociedade humana. Da mesma forma que os íntrons podem influenciar a expressão de genes codificantes, esses elementos não codificantes da cultura podem influenciar o comportamento humano, as interações sociais e as práticas culturais. Por exemplo, tradições familiares ou rituais religiosos podem não ter uma função direta de sobrevivência ou reprodução, mas podem desempenhar um papel significativo na coesão social, identidade cultural e transmissão de conhecimento entre gerações. Assim como os íntrons podem ter efeitos regulatórios sobre a expressão gênica, elementos não codificantes da cultura podem influenciar a dinâmica social e o comportamento humano de maneiras complexas e multifacetadas.

Portanto, embora a relação entre íntrons e cultura não seja direta, podemos usar uma analogia figurativa para destacar a importância dos elementos não codificantes tanto na biologia quanto na cultura humana.

3.5 A Transferência Horizontal de Genes e suas implicações para o neodarwinismo:

A transferência horizontal de genes (THG)⁶, de acordo com FERREIRA (2015), foi descoberta em 1959 no Japão, quando Denise Cohen infectou uma cepa de *E. coli* com o fago P2⁷ e recuperou um fago com uma especificidade imunitária diferente derivado de um fago incompleto ou defeituoso.

A THG é um processo pelo qual os genes são transferidos entre organismos de diferentes espécies, em contraste com a transferência vertical de genes, que ocorre de pais para filhos. A THG é mais comumente observada em bactérias e outros micro-

⁶Transferência horizontal de genes ou transferência lateral de genes, é um processo em que um organismo transfere material genético para outra célula que não é sua descendente.

⁷ Fago P2 ou bacteriófago P2, nome científico *Peduvirus P2* é um bacteriófago que infecta *Escherichia Coli*.

organismos, onde os genes podem ser transferidos através de processos como conjugação bacteriana, transdução e transformação⁸.

A relação da transferência horizontal de genes com o ultradarwinismo ou neodarwinismo está na influência que esse processo tem na evolução das espécies e nos modelos tradicionais de evolução propostos por Darwin e seus seguidores, sendo que o ultradarwinismo ou neodarwinismo se baseia principalmente na seleção natural como o principal motor da evolução. De acordo com essa visão, as mudanças evolutivas ocorrem através da seleção de variações genéticas existentes dentro de uma população, resultando em mudanças adaptativas ao longo do tempo.

A transferência horizontal de genes desafia diretamente a ideia de que a evolução ocorre exclusivamente por meio da seleção natural e mutação em uma linhagem contínua de descendentes. Em vez disso, ela introduz a possibilidade de que organismos possam adquirir genes de outras espécies, independentemente de sua ascendência direta. Isso pode levar a mudanças evolutivas rápidas e inesperadas em uma população.

Portanto, a THG desafia alguns aspectos do neodarwinismo ao ampliar a fonte potencial de variação genética além das mutações aleatórias e da recombinação genética. Isso implica que a evolução não é estritamente dependente de uma linhagem contínua de descendentes, mas pode ser influenciada por interações genéticas entre diferentes espécies.

No entanto, é importante notar que a THG não invalida a teoria da seleção natural, mas sim destaca a complexidade da evolução e a variedade de mecanismos pelos quais ela pode ocorrer. Portanto, enquanto desafia certos aspectos do neodarwinismo, a THG também enriquece a compreensão da evolução e da diversidade biológica.

⁸Conjugação bacteriana, transdução e transformação: Em conjugação, o DNA é transferido entre as bactérias através de um tubo entre as células. Em transdução, o DNA é acidentalmente transportado de uma bactéria para outra por um vírus. Em transformação, uma bactéria absorve um pedaço de DNA disperso no seu ambiente.

Dawkins (2007) não demonstra sua teoria focando na transferência horizontal de genes. Sua abordagem tradicionalmente se concentra na seleção natural e na evolução através da descendência com modificação.

A relação entre a THG e os íntrons não é direta. No entanto, em alguns casos, a THG pode afetar a estrutura genômica, incluindo a presença ou ausência de íntrons em genes. Por exemplo, um gene que sofre THG de uma espécie para outra pode adquirir ou perder íntrons, dependendo do contexto e das pressões seletivas. Assim, embora não haja uma ligação intrínseca entre a THG e os íntrons, a THG pode influenciar a estrutura genômica de maneiras que eventualmente afetam a presença ou ausência de íntrons em genes específicos.

Já Margulis (2001), reconhece que a transferência horizontal de genes entre as bactérias ocorre continuamente, e muitas bactérias chegam a trocar até quinze por cento de todo o seu material genético todos os dias. Quando uma bactéria se vê ameaçada, ela espalha pelo ambiente o seu DNA, e todas as que estão em torno o recolhem; num período de poucos meses, ele se espalha pelo mundo inteiro.

Segundo Capra (2001), uma vez que todas as linhagens bacterianas têm o poder de intercambiar dessa maneira suas características hereditárias, alguns microbiólogos afirmam que as bactérias não podem, a rigor, ser classificadas em espécies. Em outras palavras, todas as bactérias fazem parte de uma única teia vital microscópica.

3.6 Divergências entre Margulis e Dawkins quanto a questões relacionadas a Biologia:

Nesta seção sintetizaremos algumas das diferenças conceituais entre Lynn Margulis e Richard Dawkins. O acento nas diferenças, antes de ter a pretensão de ranquear ou excluir a abordagem de algum autor, tem o fito de caracterizar diferentes formas como a biologia pode ser abordada e a compreensão de vida enriquecida.

3.6.1 Quadro comparativo: Divergências entre Margulis e Dawkins relacionadas a conceitos de Vida:	
<p>▶ Para Margulis, os organismos devem ser entendidos e classificados com base em toda a sua biologia, não apenas em genética.</p>	<p>▶ Dawkins enfatiza uma concepção informacional (geneticamente falando) da Vida, ou seja, para Dawkins a informação genética sempre será o fator preponderante a determinar a evolução de um indivíduo e sua interação com os demais seres vivos.</p>
<p>▶ Para Margulis, Vida é um conceito complexo e dependendo da maneira em que é analisada, pode ter diferentes respostas.</p>	<p>▶ Para Dawkins, os genes são as unidades básicas da Vida, e também a Vida existe graças aos genes, pois estes seriam as unidades fundamentais da seleção natural e da evolução (DAWKINS, 2007).</p>

<p>➤ Margulis não compara áreas científicas, em nenhum momento ela descreve a Biologia como uma ciência maior do que a Antropologia ou outra ciência humana, e não descredibiliza o que outras ciências construíram conceitualmente a respeito da Vida.</p>	<p>➤ Dawkins diz que “muitos antropólogos sociais preocupam-se com a questão do parentesco nas sociedades que estudam. Eles não se referem ao parentesco genético verdadeiro, mas às ideias subjetivas e culturais do parentesco” (DAWKINS, 2007, p. 201). O autor afirma a sua opinião a respeito da antropologia, e não cita nenhum autor ou trecho de obra antropológica ilustrando a situação.</p>
<p>➤ Lynn Margulis quando se refere a Vida, cita cientistas de outras áreas diferentes das dela, não abordando temas que estejam fora de sua competência, concentrando suas pesquisas nas Ciências Biológicas.</p>	<p>➤ Dawkins alinha teorias biológicas a teorias sociais, e fica perceptível que estas últimas não são de sua “alçada”, não apresentando estudos sobre cultura e sociedade, o autor não parece presumir a complexidade deste tipo de estudos.</p>
<p>➤ Margulis escreve: “Gaia é uma série de ecossistemas em interação do que um único ser vivo, e como fisiologia reguladora de Gaia ela transcende todos os organismos individuais”. (Margulis, 2001, p.114), mencionando a Teoria de Gaia de James Lovelock.</p>	<p>➤ Dawkins rejeita a ideia de um sistema planetário unificado que não evoluiu por meio da seleção natural com outros sistemas planetários, portanto rejeita a Teoria de Gaia.</p>

<p>➤ Margulis atribui formas de consciência no modo em como a vida interage entre si, de maneira geral através da simbiose ou cooperação.</p>	<p>➤ Dawkins parece ter uma finalidade em fazer comparações entre as máquinas gênicas (seres vivos) e computadores eletrônicos comparando-os entre si, conjecturando se as máquinas artificiais seriam dotadas de intencionalidade ou consciência, porém, este sentido se perde devido ao fato do autor atribuir a “consciência” e intencionalidade aos genes, e não as máquinas gênicas em si.</p>
<p>➤ Margulis aponta a simbiose e cooperação como verdadeiras impulsionadoras da Vida.</p>	<p>➤ Para Dawkins, genes são as unidades essenciais que impulsionam a diversidade e a complexidade de Vida na Terra.</p>
<p>➤ Margulis não utiliza analogias com comportamentos humanos para apresentar sua teoria, pois ela aborda diferentes visões de diferentes áreas da ciência, filosofia e antropologia.</p>	<p>➤ Dawkins relaciona o conceito de gene com a questão do egoísmo, e, apesar de utilizar o termo egoísmo como analogia, esta não parece parte de uma teoria científica, assemelhando-se mais ao modo como os genes se comportam na natureza, baseada em comportamento humano.</p>

3.7 Aproximações entre Margulis e Dawkins quanto a questões relacionadas a Biologia

Como forma de complementar a seção anterior, veremos agora as possíveis afinidades entre os dois autores que são objeto deste estudo.

- Margulis (2002 p. 95) afirma: “O RNA é um grande candidato à condição de supermolécula da vida primitiva. Trabalhando em si mesmo enquanto crescia, é possível que ele tenha gerado uma mescla de possibilidades em expansão. Capaz de se replicar e mutar, agindo como enzima e como gene, o RNA executa operações que formam novas quantidades dele mesmo.” Aqui a autora reconhece a molécula de RNA como uma das mais importantes na questão sobre a definição de Vida. Assim como Dawkins fala sobre o RNA como a molécula replicadora de informações, possibilitando o processo da Vida.
- Ambos concordam em que sistemas químicos se transformaram em sistemas biológicos.
- Ambos mencionam a importância do sexo como função da diversidade gênica.
- Dawkins admite que os genes também se encontram suscetíveis a imprevisibilidade da Vida, e que os seres vivos possuem capacidade de aprender, sendo que o gene não seria a única causa de toda a complexidade da Vida, pois a aprendizagem, experiência e as influências ambientais entram no desenvolvimento do comportamento, assim como Margulis de forma geral em suas obras.
- Ambos concordam que o RNA provavelmente veio antes do DNA na história da Vida, pois o RNA pode reproduzir-se com eficiência e de forma auto-catalítica, pode acelerar reações químicas e se replicar.

3.8 Desdobramentos das Teorias de Dawkins e Margulis na atualidade

Para alguns cientistas contemporâneos, a importância do gene como um conceito central que explica as atividades biológicas está superado, sendo que tal conceito não reflete mais o estágio atual das pesquisas no campo da Biologia Molecular, de acordo com Keller (2000).

No caso dos seres humanos, caberia aqui a discussão sobre quais fatores determinariam seu comportamento, a natureza (genes) ou a cultura (ambiente, experiências, construção material repassada através das gerações). Waizbort e Solha (2006) apontam que os geneticistas e evolucionistas afirmam que o comportamento humano possui um importante componente genético, porém o conceito de gene possui mais de um significado, segundo os pesquisadores, mesmo o comportamento humano possuindo um importante componente genético que o influencia, o conceito de herdabilidade é mal compreendido dentro da biologia evolutiva, pois segundo os autores: “Ele é uma média populacional, sem sentido para qualquer pessoa individual” (WAIZBORT E SOLHA, 2006, p.290). Os autores comentam que é importante considerar a hipótese de que o ambiente é que cria a identidade pessoal de cada indivíduo.

“Paradoxalmente, portanto, as características menos herdáveis da natureza humana podem ser as mais geneticamente determinadas. Assim também com a inteligência. Não seria certo dizer que a inteligência de Hermia é causada pelos seus genes: é óbvio que não se pode tornar inteligente sem comida, sem cuidado parental, sem aprendizagem ou sem livros. Entretanto, em uma amostra de pessoas que possuem todas essas vantagens, a variação entre os que vão bem nas provas e aqueles que não vão pode ser uma questão de genes. Nesse sentido, a variação na inteligência pode ser genética. Por acidente geográfico, classe ou dinheiro, a maioria das escolas têm alunos com um background similar” (WAIZBORT E SOLHA, 2006, p.291).

O que Waizbort e Solha (2006) quiseram explicar por meio deste exemplo é que a herdabilidade é uma medida do que está variando, e não do que é determinante. De acordo com a visão deles, o papel da hereditariedade genética só é válido quando se minimiza as diferenças nas influências ambientais, em uma verdadeira

meritocracia, onde todos têm oportunidades e treinamentos iguais, os melhores atletas serão aqueles com os melhores genes, porém no tipo oposto de sociedade, onde poucos possuem alimentação e chance de treino suficientes, o ambiente e a oportunidade vão determinar quem vence, neste caso, pouco influencia a herdabilidade genética.

Por outro lado, de acordo com Ridley (2003), um gene pode ser definido como: a) um arquivo hereditário mendeliano para determinado traço físico ou comportamental; b) um carreador de doença/saúde; c) uma informação compartilhada entre diferentes espécies de seres vivos; d) uma receita química para sintetizar proteínas; e) um comutador molecular para ligar/desligar outros genes; f) uma unidade de seleção natural; e g) um dispositivo para extrair informação do ambiente. Waizbort & Solha (2006) consideram a respeito, que cada uma destas definições está relacionada a descobertas feitas ao longo do desenvolvimento da história da genética, e isoladas, não conseguem explicar o que é o gene.

Stephen Jay Gould (2002) sistematiza a crítica ao selecionismo gênico de Dawkins em sete argumentos, dos quais, três são importantes mencionar. Gould explica que Dawkins utiliza critérios de **fidelidade, imortalidade e prioridade ancestral**, no livro 'O Gene Egoísta', como forma de equivalência com virtudes morais e culturais e não por serem critérios necessários para o debate sobre níveis de seleção (genes, indivíduos ou grupos). Estes critérios seriam explicados da seguinte forma:

- a) **Fidelidade:** Este critério questiona a suposição de que os genes são os únicos agentes de seleção na evolução. Dawkins, em 'O Gene Egoísta', enfatiza que a unidade fundamental de seleção é o gene, e os organismos são meros veículos para a perpetuação desses genes. Gould argumenta que essa visão é muito simplista. Ele sugere que os organismos também desempenham um papel importante na seleção natural, não apenas como veículos passivos para os genes, mas como entidades que interagem ativamente com o ambiente e afetam sua própria sobrevivência e reprodução. Gould critica a fidelidade excessiva a uma visão exclusivamente gene-cêntrica da evolução.

- b) **Imortalidade:** Dawkins argumenta que os genes são "egoístas" e buscam perpetuar-se indefinidamente no tempo. No entanto, Gould questiona essa ideia de imortalidade genética. Ele argumenta que a imortalidade é um conceito problemático, pois nenhum gene permanece inalterado ao longo do tempo. Mutação, deriva genética e extinção são fenômenos comuns que afetam a persistência de genes específicos. Além disso, a seleção natural age em diferentes escalas de tempo e em diferentes contextos ambientais, o que pode influenciar quais genes são favorecidos em uma população. Portanto, Gould contesta a noção de que os genes são imortais e inabaláveis.
- c) **Prioridade Ancestral:** Dawkins sugere que os genes que têm sucesso em se replicar e persistir na população são "vencedores" na competição evolutiva. No entanto, Gould argumenta que a noção de "vencedor" é relativa e depende do contexto histórico e ambiental. Ele introduz o conceito de "prioridade ancestral", sugerindo que alguns genes persistem não porque são intrinsecamente superiores, mas simplesmente porque estão presentes há muito tempo na linhagem evolutiva. Esses genes podem ser adaptativos ou não, mas sua longa história de existência lhes dá uma vantagem competitiva simplesmente por estarem lá há mais tempo. Portanto, Gould desafia a ideia de que a persistência de um gene em uma população é sempre um reflexo de sua superioridade adaptativa.

Esses três critérios são parte das críticas de Gould ao selecionismo gênico de Dawkins, enfatizando uma visão mais complexa da evolução que leva em consideração não apenas os genes, mas também os organismos e o contexto histórico e ambiental em que a evolução ocorre.

Na visão de Gould (2002), Dawkins teria confundido o fato dos genes terem surgido anteriormente aos organismos na história evolutiva, supondo que isto por si só determinaria que organismos sejam dominados por genes. Para Gould, o surgimento de organismos e grupos envolve a manifestação de propriedades emergentes, que não podem ser reduzidas às interações entre as unidades de mais baixo nível (genes), que deram origem aos organismos de mais alto nível. De acordo com Gould, "Unidades de mais alto nível se tornam, por definição, um agente

independente em seu próprio direito, e não um “escravo” passivo de seus constituintes controladores” (GOULD, 2002, p. 618).

Além disto, para Bueno (2008), Gould (2002) afirma que as condições de hereditariedade e persistência são necessárias para um indivíduo ser considerado uma entidade evolutiva, mas não são suficientes, sendo necessário que este também atue de forma coesa e direta com o ambiente.

Isso contrasta com a visão do gene como o principal agente de seleção na teoria do gene egoísta de Richard Dawkins, que postula que os genes são "egoístas" e buscam perpetuar-se indefinidamente no tempo, baseando-se em sua aptidão adaptativa e capacidade de se replicar. Segundo Gould, a persistência de um gene em uma população não é uma garantia de sua superioridade adaptativa, mas pode ser influenciada por fatores históricos e aleatórios, além de pressões seletivas.

Portanto, de acordo com o critério de prioridade ancestral de Gould, o gene não manifesta necessariamente esse critério, já que sua persistência em uma população pode ser mais atribuída à sua história evolutiva do que à sua eficácia adaptativa.

Segundo Bueno (2008), as afirmações de Gould foram corroboradas por diversos cientistas, e a visão genecêntrica de Dawkins foi superada.

De qualquer forma, as contribuições de Dawkins foram imensas no sentido de criar um debate em volta do tema “unidades de seleção” ou evolução. De acordo com Gould (2002), o erro de Dawkins (o ponto de vista genecêntrico) se tornou muito frutífero, pois forçou os cientistas da época a reconceitualizar todo o domínio da causalidade evolutiva, gerando imenso movimento entre filósofos e biólogos.

Araújo (2021) comenta um conceito importante no processo de seleção natural, o *fitness*, que se trata de uma medida da capacidade de um indivíduo de sobreviver e se reproduzir, determinando a dimensão da sua contribuição genética para a geração seguinte. “Se um alelo incrementa o *fitness* de um indivíduo mais do que outros alelos, então a cada geração este tende a se tornar mais comum em uma população” (ARAÚJO, 2021, p. 11).

Araújo (2021) explana um debate acerca do nível em que a seleção natural atua. Segundo Dawkins, a seleção também ocorre a nível do gene, onde os

organismos são apenas meios para promover a replicação de outros genes iguais. Mas a seleção pode também ocorrer ao nível de indivíduo. Neste caso, cada indivíduo possui características que afetam a competitividade com relação aos indivíduos de mesma espécie. Já a seleção no nível de grupos de espécies, as interações e a divisão de tarefas aumentam o *fitness* de uma população inteira, mesmo em detrimento de alguns indivíduos, e a competição ocorre entre grupos diferentes.

Ainda de acordo com Araújo (2021), o geneticista William Donald Hamilton, em 1964, propôs que uma variação da seleção em grupo que busca explicar o dilema do altruísmo, a seleção de parentesco, explicaria o surgimento destes comportamentos.

Na seleção em grupo, uma ação que diminui o *fitness* do indivíduo que a executa poderia promover um aumento de *fitness* em indivíduos com suficiente grau de parentesco. “Dessa forma, argumenta-se que, considerando que parentes próximos possuem uma probabilidade relativamente alta de compartilhar cópias de alguns de seus próprios genes, ao longo de várias gerações a presença deste gene pode se tornar maior na população” (ARAÚJO, 2021, p. 12).

Sendo assim, o conceito de *fitness* explicaria o surgimento de comportamentos altruístas, que dependendo do grau de parentesco entre o executor e o beneficiário do ato altruísta, aumentaria as chances de determinado gene aumentar a sua presença em uma população. Para Dawkins (1982), a base desta teoria seria o fato de que existindo genes que promovam a produção de fenótipos estendidos em um ambiente, a ação causada pela presença dele afetaria não apenas o indivíduo que o possui ou ocupa, mas todo o ambiente ao seu redor (grupos sociais ou populações).

Para Araújo (2021), indivíduos suficientemente similares são capazes de utilizar os fenótipos estendidos uns dos outros, e o uso deles confere um incremento no *fitness*, mesmo que eles não sejam os produtores do fenótipo estendido em questão. Araújo (2021) aponta uma possível explicação para o comportamento de habitar um local com maior densidade populacional, uma vez que o uso compartilhado de fenótipos estendidos leva a uma maior eficiência reprodutiva. Se os indivíduos estão geneticamente adaptados para o uso dos fenótipos estendidos construídos por indivíduos similares, não há necessidade de que haja parentesco entre eles, o que faz

com que esta teoria não seja simplesmente categorizada como um tipo de seleção de parentesco.

Tradicionalmente, a teoria evolutiva focava na seleção de características de organismos individuais, ou seja, a seleção natural agia no nível do gene, do organismo e, por vezes, na espécie. No entanto, a seleção natural pode operar em diferentes níveis hierárquicos, o que levou à ideia de que a evolução pode ocorrer em níveis acima do nível do organismo individual.

A conexão entre o conceito de *fitness* estendido e o conceito de nível de seleção biológica reside no reconhecimento de que os efeitos do comportamento ou características de um organismo podem ter consequências não apenas para sua própria vantagem adaptativa, mas também para a vantagem de outros indivíduos ou grupos. Isso significa que a seleção natural pode agir não apenas no nível do organismo individual, mas também nos grupos sociais ou em unidades de seleção maiores.

A seleção natural pode favorecer características ou comportamentos que beneficiem o grupo ou a população em detrimento do indivíduo, resultando em uma adaptação no nível do grupo. Diante do exposto, fica compreendido que em uma situação de competição entre grupos, um grupo de indivíduos que possua a capacidade de compartilhar ou aproveitar fenótipos estendidos abandonados teria vantagem sobre outro grupo sem esta capacidade.

Portanto, o conceito de *fitness* estendido contribui para a compreensão dos processos evolutivos em diferentes níveis de organização, destacando a importância das interações sociais e ecológicas na evolução das espécies. Isso tem implicações significativas para a compreensão da complexidade dos sistemas biológicos e a diversidade de estratégias evolutivas que podem surgir em diferentes contextos ecológicos.

Por outro lado, Lynn Margulis influenciou outros cientistas a respeito de temas como autopoiese, a exemplo de Fritjof Capra, pois a autora é amplamente citada nos trabalhos de Capra, principalmente na obra 'As conexões Ocultas', onde Capra cita e

comenta sobre a obra de Margulis, a respeito da autogeração das células, metabolismo e analogias com ecossistemas:

“Mas o que dizer acerca da evolução das diversas formas biológicas, da enorme variedade de seres vivos que habitam o mundo visível? Se as mutações aleatórias não são para elas um mecanismo evolutivo eficiente, e se elas não trocam genes como fazem as bactérias, como evoluíram as formas superiores de vida? Essa pergunta foi respondida por Lynn Margulis com a hipótese de um terceiro caminho da evolução - a evolução pela simbiose - que tem implicações profundas para todos os ramos da biologia” (CAPRA, 2001, p. 36).

Capra resume de forma investigativa e atual o tema da simbiose, primeiramente explicando a Teoria da Endossimbiose e da Simbiogênese, após correlacionando-as com outras descobertas microbiológicas e genéticas, além da ‘Ecologia Profunda’.

Segundo Capra (2001), o mapeamento do genoma humano mostrou que muitos genes humanos se originaram das bactérias, dando mais uma confirmação à teoria da simbiogênese, proposta por Lynn Margulis e reafirmada por Capra em diversos momentos, como exemplo:

“Em seu conjunto, esses avanços da genética e da microbiologia representam uma admirável mudança conceitual no contexto da teoria da evolução - uma mudança da insistência neodarwinista no "acaso" e na "necessidade" para uma visão sistêmica na qual a mudança evolutiva é entendida como uma manifestação da auto-organização da vida, ou que a concepção sistêmica da vida também identifica a atividade auto-organizadora dos organismos com a cognição” (CAPRA, 2001, p.166).

Para Capra (2001), isso significa que a evolução deve ser compreendida como um processo cognitivo, e vai além do determinismo genético, pois para ele, a estabilidade dos genes, que são as “unidades de hereditariedade”, do organismo, não é uma propriedade intrínseca do DNA, mas nasce espontaneamente de uma dinâmica complexa de processos celulares, pois a cadeia linear proposta pelo Dogma Central de Francis Crick é, de fato, “simplista demais para descrever os processos reais que resultam na síntese de proteínas. E a discrepância entre a estrutura teórica e a realidade biológica torna-se ainda maior quando a seqüência [sic] linear é resumida

somente em seus dois extremos, de modo que o Dogma Central passe a ser a afirmação: "Os genes determinam o comportamento" (CAPRA, 2001 p.167).

Assim sendo, através das palavras de Capra, percebe-se a importância do trabalho da microbióloga Lynn Margulis, que se estende à microbiologia de maneira geral, influenciando a ecologia, genética e classificação biológica, esta última representada pelo cientista Carl Woese, microbiologista norte-americano, conhecido por definir os Archaea em 1977, pela análise filogenética do RNA ribossômico 16S.

4. Considerações Finais

Este trabalho buscou analisar sistematicamente os antagonismos sobre a dinâmica da Vida de acordo com os cientistas Lynn Margulis e Richard Dawkins, por serem dois Biólogos influentes e com abordagens distintas com relação ao tema.

Verificou-se que Dawkins trata o gene como a entidade biológica mais relevante para a evolução das espécies, considerando a interação entre diversos níveis biológicos como fator significativo, apesar de sua obra “O Gene Egoísta” possuir um caráter reducionista, focando no gene como principal motor da evolução Biológica. Dawkins (1982) aponta que a forma e comportamento de um organismo podem ser em certo sentido, codificados nos genes.

Muitos cientistas encaram a visão genecêntrica de Dawkins de forma literal, pois seus textos têm muitas analogias e expressões teleológicas, ou seja, como se o comportamento dos genes tivesse alguma finalidade, o que aparenta antropomorfizar os genes. Apesar disto, Dawkins declara que é um “defensor da Teoria Darwinista”, reforçando a evolução biológica como um fenômeno dirigido por leis da natureza, sem propósito algum. Apesar destes apontamentos, Dawkins é um importante divulgador científico, e suas teorias são debatidas até os dias de hoje.

Dawkins (1982) reconhece que existem processos de coevolução entre comportamento, cultura e evolução biológica, como por exemplo, em algumas populações humanas, a capacidade de digerir lactose permanece ativa na vida adulta, devido a um processo de seleção natural que ocorreu em populações onde o leite de animais domesticados como vacas, cabras e ovelhas, tornando-se uma parte importante da dieta devido à domesticação de animais, sendo esta teoria baseada em princípios de Biologia Evolutiva, e levando em consideração mudanças genéticas em populações humanas em resposta a pressões seletivas.

Por outro lado, Lynn Margulis possui uma abordagem diferente de Dawkins, apontando em suas obras a importância da mudança de visão de paradigmas associados à Ciência. Ela retrata a pesquisa científica de maneira provocativa, muitas vezes deixando mais perguntas do que respostas, ficando a cargo do leitor a

finalização de uma definição de Vida. Suas obras “O que é Vida?” e “Planeta Simbiótico”, são intensas em material científico e histórico acerca de definições de Vida e diversidade natural. A autora possui uma abordagem bastante interdisciplinar, o que demonstra um caminho possível de fazer divulgação científica e novas descobertas. O trabalho de Margulis continua a provocar os cientistas a enxergar a vida e as interações entre os seres vivos sob a influência da simbiose, destacando a importância da cooperação para a evolução e diversidade da Vida.

A obra de Margulis trata tanto sobre a origem de novas formas de Vida, como também a manutenção e processos relacionados desta. Suas descobertas serviram para sustentar a teoria da Simbiogênese e seu papel cooperativo na formação e manutenção da Vida. Por outro lado, Dawkins aborda o tema origem da Vida no livro ‘O gene egoísta’, quando se refere a origem do RNA, porém o livro se concentra em explicar a manutenção da Vida e quais processos envolvidos na evolução.

Para a Biologia, a importância de se discutir os antagonismos entre cooperação e competição no âmbito do ser orgânico envolvem principalmente ecologia de populações, o ramo da ecologia que estuda as interações entre os organismos de uma mesma espécie em um determinado *habitat*. Nesse contexto, a cooperação e a competição desempenham papéis fundamentais na estrutura e dinâmica das populações.

Algumas maneiras pelas quais esses processos são importantes, são a competição por recursos, que são limitados, como alimentos, espaço, água e parceiros reprodutivos. Essa competição pode moldar a distribuição e a abundância das espécies em um ambiente, influenciando quem prospera e quem não.

A cooperação na obtenção de recursos também se mostra importante, para algumas espécies, os indivíduos podem cooperar na caça por alimentos, na construção de abrigos ou na proteção mútua contra predadores. Essa cooperação pode aumentar a eficiência na obtenção de recursos e melhorar as chances de sobrevivência e reprodução.

É importante a relação competição *versus* cooperação também para a questão da regulação populacional: A competição pode desempenhar um papel na regulação do tamanho da população, limitando o crescimento populacional excessivo. Quando os recursos são escassos, a competição pode levar à redução da taxa de natalidade, aumento da taxa de mortalidade ou migração dos indivíduos para outras áreas.

Tanto a cooperação quanto a competição podem moldar a evolução das espécies, influenciando a dinâmica evolutiva. A cooperação entre os membros de uma população pode levar ao desenvolvimento de comportamentos altruístas ou estratégias de cooperação recíproca, enquanto a competição pode impulsionar a evolução de características que conferem vantagens competitivas, como adaptações para explorar recursos de forma mais eficiente ou defender territórios.

A interação entre cooperação e competição pode contribuir para a manutenção da diversidade biológica em um ecossistema. A competição pode limitar o domínio de uma única espécie, permitindo que outras espécies coexistam em diferentes nichos ecológicos. Enquanto isso, a cooperação entre espécies pode promover a coexistência e a dependência mútua, aumentando a estabilidade do ecossistema.

Em resumo, a cooperação e a competição são componentes essenciais da ecologia de populações, influenciando a distribuição, abundância, dinâmica populacional e evolução das espécies em um ambiente. Compreender esses processos é fundamental para entender a ecologia e a conservação da biodiversidade. Além do mais, o dilema cooperação *versus* competição dentro da pesquisa Biológica nos faz sempre lembrar que a natureza é como ela é, e não como gostaríamos que fosse.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Guilherme Fernandes de. **Uma Plataforma de Simulação de Cenários Evolutivos Biológicos Aplicada à Teoria do *Fitness* Estendido**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/45706/1/Plataformasimulacaocenarios_Araujo_2021.pdf. Acesso em: 06 nov. 2023.

ARISTÓTELES. **Da alma**. Tradução do grego, textos adicionais e notas de Edson BINI. São Paulo: Edipro, 2012. 144p.

ARISTÓTELES. **Da Alma (De Anima)**. Tradução. Carlos Humberto Gomes. Lisboa: Edições 70, 2001, 134 p.

BARAVALLE, Lorenzo. As muitas faces do altruísmo: Pressões seletivas e grupos humanos. **Scientia: Studia**, São Paulo, v.12, n.1, p.97-120, 2014.

BUENO, Maria Rita Spina. **Níveis de Seleção: Uma Avaliação a partir da Teoria do Gene Egoísta**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8133/tde-03092009-145224/publico/MARIA_RITA_SPINA_BUENO.pdf. Acesso em: 05 nov. 2023.

CAPRA, Fritjof. **As Conexões Ocultas**. São Paulo: Cultrix, 2001. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/108466/mod_resource/content/3/FritjofCapra_Asconexesocultas.pdf. Acesso em: 31 mar. 2024.

CARVALHO, R. R. The substantial feature of living organisms in Aristotle. **Transformação**. Marília, v. 43, n. 2, p. 281-294, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/trans/a/SgRrQ9QZ3tCsxwwXQ3wSMty/#>. Acesso em: 06 ago. 2023.

CAVA, Antonio Solé, SILVA, Edson Pereira, LOBO-HADJU, Gisele. **Evolução. Volume 1**. 2010. Cederj - Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/012016/1456fc814f212981d26910ce17ee4111.pdf>
Acesso em: 01 out. 2023.

CORREA, André Luis, SILVA, Paloma Rodrigues; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Aspectos históricos e filosóficos do conceito de vida: contribuições para o ensino de biologia. Filosofia e História da Biologia**. Vol. 3, p. 21-40, 2008. Disponível em: <http://www.abfhib.org/FHB/FHB-03/FHB-v03-02-Andre-Correa-et-al.pdf>
Acesso em: 01 out. 2023.

COUTINHO, Francisco Ângelo. **Construção de um perfil conceitual de vida**. Belo Horizonte: Faculdade de Educação, UFMG, 2005. Tese (Doutoramento em Educação) . Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-85RHZ8/1/2000000085.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

DAWKINS, Richard. **O Gene Egoísta**. Tradução de Rejane Rubino. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

DAWKINS, Richard. **O Fenótipo Extendido: O Longo Alcance do Gene**. Oxford University Press, 1982. Disponível em: <https://doceru.com/doc/1cx5n5n>. Acesso em: 31 out. 2023.

EMMECHE; EL-HANI, Charbel Niño; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (orgs.). **O que é vida? Para entender a biologia do século XXI**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará/Faperj, 2005. Disponível em: <http://www.afhic.com/wp-content/uploads/2019/01/o-que-%C3%A9-vida.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.

FERREIRA, Matheus Fernandes. **Transferência Horizontal de Genes: Avaliando Padrões**. São Gabriel, 2015. Universidade Federal do Pampa. Disponível em:

<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/468/1/Transfer%C3%A0ncia%20horizontal%20de%20genes%20%20%20avaliando%20padr%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

GERSCHENFELD, Ana. **Lynn Margulis: A cientista que mudou as regras de evolução da vida**. Disponível em: https://www.edge.org/Press/P2ObituaryMargulis-2011_11_28.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

GOMES, Juliana. DNA de cientista: Lynn Margulis. Blog meu DNA, 2024. Disponível em: <https://blog.meudna.com/dna-de-cientista-lynn-margulis/>. Acesso em: 31 out. 2023.

GOULD, Stephen Jay. **Caring Groups and Selfish Genes**. Conceptual Issues in Evolutionary Biology. London: MIT/Cambridge, 1984, pp. 119-124.

GOULD, Stephen Jay. “**Species as Individuals in the Hierarchical Theory of Selection**” in **The Structure of Evolutionary Biology**. Cambridge: *Belknap* Press of Harvard University Press, 2002, pp. 595-645.

KELLER, Evelyn Fox. **O século do gene**. Belo Horizonte: Crisálida, 2002.

MARGULIS, Lynn; SAGAN, Dorion. **O que é vida?** Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

MARGULIS, Lynn. **Planeta Simbiótico: Uma Nova Perspectiva da Evolução**. Tradução de Laura Neves. Rio de Janeiro: Editora Rocco, 2001.

MAYNARD-SMITH, John. Reconciling Marx and Darwin. **Evolution** **55**: 1496-1498, 2001. School of Biological Sciences, University of Sussex, Brighton, Reino Unido.

MAYR, Ernst. **O desenvolvimento do pensamento biológico**. Trad. Ivo Martinazzo. Brasília: UNB, 1998. *Biologia, ciência única*. Trad. Marcelo Leite. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

OLBY, Robert. The protein version of the central dogma: A crisis for biologists. **Genetics**, 79: 3-14, 1975.

PECHULA, MÁRCIA REAMI. “O que é vida?” Contextualizando a pertinência da **indagação**. Disponível em: <http://www.afhic.com/wp-content/uploads/2019/01/o-que-%C3%A9-vida.pdf>

Acesso em: 25 abr. 2023.

REX, Roger Valério de Vargas. A relação entre moralidade e natureza humana sob uma perspectiva darwinista. Universidade de Brasília. **Princípios Revista de Filosofia**, Natal, v.22, n.42, 2016, p.175-208.

RICARDO R. SANTOS, RICARDO MELO e GIL C. SANTOS. **Origem Endossimbiótica das Células Endocarióticas. Fundamentos e Perspectivas**. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/jspui/bitstream/10451/40159/3/Teoria_relacional.pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

RIDLEY, Matt. **Nature via nurture: genes, experience, and what makes us human**. New York: Harper Collins, 2003.

SAGAN, Lynn. On the Origin of Mitosing Cells. Department of Biology, Boston University. Boston, Massachusetts, **U.S.A. Journal of Theoretical Biology**. Volume 14, 1967. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022519367900793?via%3Dihub>. Acesso em: 02 abr. 2023.

SAGAN, Lynn. Archaeal-eubacterial mergers in the origin of Eukarya: phylogenetic classification of life. **Proc. Natl. Acad. Sci**, USA. Vol 93, pp. 1071-1076, 1996, Evolution. Disponível em: [Archaeal-eubacterial mergers in the origin of Eukarya: phylogenetic classification of life. \(pnas.org\)](https://www.pnas.org). Acesso em: 02 abr. 2023.

SILVA, Paloma Rodrigues; ANDRADE, Mariana A. Bologna Soares; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **A concepção de professores de Biologia sobre o conceito de Vida.** Disponível em: <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/976.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

SMITH, Maynard J. (1986). **The problems of Biology.** Oxford: Oxford University Press. Disponível em: <https://archive.org/details/B-001-014-483/page/n17/mode/2up>. Acesso em: 05 nov. 2023.

SOUZA, Sandro José de. **“Extended Fitness” hypothesis: a link between individual and group selection.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/23301/1/%27Extended%20Fitness%27%20hypothesis%20a%20link%20between%20individual%20and%20group%20selection.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2023.

STEDILE, Gabriel. **O que é vida? Uma abordagem articulada das teorias de Neodarwinismo, Autopoiese e Biossemiótica.** UFSC, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/132625/O%20que%20%20c3%a9%20vida.%20Uma%20abordagem%20articulada%20das%20teorias%20de%20Neodarwinismo%20e%20Autopoiese%20e%20Biossemi%20c3%b3tica%20-%20Gabriel%20Stedile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 mar. 2023.

STOTZ, Karola; GRIFFITHS, Paul E. e KNIGHT, Rob. **How biologists conceptualize genes: an empirical study.** Disponível em: <https://philsci-archive.pitt.edu/2127/1/HPBBS.pdf>. Acesso em: Acesso em: 13 mar. 2023.

THOMPSON, William Irwin. **Gaia: Uma Teoria do Conhecimento.** São Paulo, Editora Gaia, 1990.

TOLEDO, Ana. Lynn Margulis, a bióloga que demonstrou que a cooperação leva ao êxito. *Diário Feminista*, 2020. Disponível em: <https://eldiariofeminista.info/2020/04/13/lynn-margulis-la-biologa-que-demostro-que-la-cooperacion-lleva-al-exito/>. Acesso em: 31 out. 2023.

VIEIRA, Eduardo Paiva de Pontes, CHAVES, Silvia Nogueira. **Três décadas de genes egoístas: Discutindo algumas premissas do best seller de Richard Dawkins**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/download/4011/2575/13211>. Acesso em: 31 out. 2023.

WAIZBORT, Ricardo, SOLHA, Gustavo Ciraudó. **Os genes e o ambiente: Implicações da descoberta dos íntrons no debate natureza *versus* cultura**. *Filosofia e História da Biologia*, v.1, p.279-295, 2006. Disponível em: <https://ppghcs.coc.fiocruz.br/images/teses/solhagcf.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.