



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO  
MATEMÁTICA – PPGECEM**

**MAYARA GOMES DA SILVA**

**EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E COMPLEXIDADE: DA TERMODINÂMICA DA VIDA  
À PÓS-VERDADE EM TEMPOS DE PANDEMIA**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2021**

MAYARA GOMES DA SILVA

**EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E COMPLEXIDADE: DA TERMODINÂMICA DA VIDA  
À PÓS-VERDADE EM TEMPOS DE PANDEMIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Mestra em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

**Área de Concentração:** Educação Biológica

**Orientadora:** Karla Patrícia de Oliveira Luna

**Coorientadora:** Márcia Adelino da Silva Dias

**CAMPINA GRANDE – PB  
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Mayara Gomes da.  
Educação científica e complexidade [manuscrito] : da termodinâmica da vida à pós-verdade em tempos de pandemia / Mayara Gomes da Silva. - 2021.  
92 p.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Acadêmico em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Karla Patrícia de Oliveira Luna, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

1. Educação em Ciências. 2. Educação Científica. 3. Termodinâmica. 4. Pós-verdade. I. Título

21. ed. CDD 372.3

MAYARA GOMES DA SILVA

EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E COMPLEXIDADE: DA TERMODINÂMICA DA VIDA À  
PÓS-VERDADE EM TEMPOS DE PANDEMIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Mestra em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Educação Biológica

Aprovada em: 20/04/2021.

**BANCA EXAMINADORA**



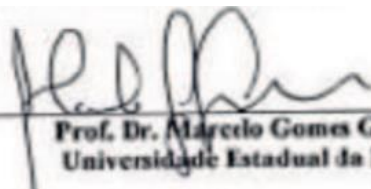
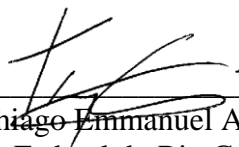
---

Profa. Dra. Karla Patrícia de Oliveira Luna (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba



---

Profa. Dra. Márcia Adelino da Silva Dias (Coorientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba

  
Prof. Dr. Marcelo Gomes Germano  
Universidade Estadual da Paraíba

---

Prof. Dr. Thiago Emmanuel Araújo Severo  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me ajudaram a pensar, pesquisar e escrever esta dissertação, sobretudo àquelas que provocaram, questionaram e me ajudaram a deletar e reformular bastante coisa ao longo do percurso. Em especial:

À Karla Luna (orientadora), pessoa e profissional que admiro, especialmente, pela sua abertura ao diálogo e pela sua habilidade de saber ser mestra e aprendiz ao mesmo tempo. Sou grata pelo seu envolvimento com as temáticas e por participado ativamente da construção das discussões aqui apresentadas.

À Márcia Adelino (coorientadora) por ter topado traçar essa trajetória conosco, pelo tempo dedicado às discussões, pela sua sensibilidade, olhar crítico e contribuições nas variadas questões que emergiram na construção desta dissertação.

À professora Ceíça Almeida, do Grupo de Estudos da Complexidade (GRECOM/UFRN), pelo diálogo e obras que subsidiaram a tessitura das temáticas apresentadas ao longo deste trabalho.

Ao Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida (GRECOM VIDA/UEPB), um grupo que se mantém através de contínuas trocas de conhecimentos e vivências – diverso em suas linhas de pesquisas e sinérgico em seus sentidos e afetos.

Aos meus colegas, em especial Daniel e Jorge, às (aos) professoras (es) do Mestrado, pelos aprendizados compartilhados, bem como à secretária do PPGECEM pela destreza no atendimento sempre quando foi necessário.

À Maria Ruthe, irmã e parceira de estudos e pesquisas. Sou grata pelas intensivas leituras, discussões e reflexões, pelos *insights* compartilhados e pelas vivências escritas que resultaram desses momentos. Estamos juntas, sempre!

À Laís, pessoa querida que acompanhou todo esse processo.

À banca examinadora composta pelo professor Thiago Severo (UFRN) e Marcelo Germano (UEPB), pelos apontamentos e considerações que agregaram ao presente trabalho.

À Cida (mãe) e Inácio (pai), pelo incentivo, companheirismo e amor.

À João, querido avô materno, cujas conversas repletas de suas experiências me inspiram a contribuir com a construção de uma educação que ofereça condições de acesso e de continuidade dos estudos para todas as pessoas. O folheto de cordel resultante deste trabalho é dedicado a vovô João. Foi através dele que conheci e me apaixonei por cordel ainda criança.

Ao Setor Clínica do Trabalho Acadêmico (UEPB), em especial à Rosalvo e Giulianne, pela agilidade no atendimento e pelos serviços prestados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por subsidiar parcialmente este estudo

E finalmente, a todas as pessoas que se dispuseram a ler ou a me ouvir falar sobre este trabalho, agradeço o interesse pelo tema, o tempo dedicado e os comentários.

“Não estou mais aceitando as coisas que não posso mudar. Estou mudando as coisas que não posso aceitar.”

(Angela Davis)

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, tampouco sem ela a sociedade muda.”

(Paulo Freire)

## RESUMO

O objetivo principal desta dissertação consistiu em discutir como o pensamento complexo pode fornecer subsídios para uma compreensão ampliada das ciências e da educação biológica/científica, especificamente no que concerne a temas relativos à termodinâmica da vida e a problemas socioambientais emergentes, tais como, o fenômeno da pós-verdade e a pandemia da COVID – 19. Para tanto, compilamos dois artigos em torno do objetivo principal – cada artigo compõe um capítulo individual apresentando objetivos particulares. Assim, no primeiro capítulo discutimos as interconexões entre a termodinâmica do não-equilíbrio e as ciências da vida, suas influências no desenvolvimento de uma “nova Biofísica” numa perspectiva complexa, bem como as implicações para o ensino *das Biofísicas*. No segundo capítulo, diante da emergência sanitária, ambiental e social evidenciada pela pandemia da COVID – 19, discutimos o contexto da pós-verdade, a partir da teoria dual da mente, refletindo de que maneira a educação científica sob a luz do pensamento complexo pode dialogar com este fenômeno em tempos de pandemia. Destacamos que a questão paradigmática é um dos pontos de interconexão entre os capítulos, uma vez que a termodinâmica do não-equilíbrio é um dos pilares do pensamento complexo, o qual enfatiza uma reforma do pensamento científico e educacional – de noções mecanicistas, deterministas, dualistas e hierárquicas para uma consciência ecológica, biodiversa e interdependente. Argumentamos que uma educação científica que considere as realidades contextuais e socioculturais das pessoas pode ser mais profícua no atual cenário e apontamos para a necessidade de incluir as questões bioéticas na educação em ciências.

**Palavras-Chave:** Educação em ciências. Pensamento complexo. Termodinâmica. Pós-verdade.



## ABSTRACT

This dissertation aimed to discuss how complex thinking can provide subsidies for an expanded understanding of the sciences and biological/scientific education, specifically with regard to themes related to the thermodynamics of life and emerging socioenvironmental problems, such as the post-truth phenomenon and the COVID-19 pandemic. For this purpose, we have compiled two articles around the main objective – each article composes an individual chapter presenting particular objectives. Thus, in the first chapter we discussed the interconnections between the non-equilibrium thermodynamics and the life sciences, their influences on the development of a “new Biophysics” in a complex perspective, as well as the implications for the teaching of Biophysics. In the second chapter, in the face of the health, environmental and social emergency evidenced by the COVID-19 pandemic, we discussed the context of the post-truth, based on the dual process theory, reflecting how scientific education under the light of complex thinking could dialogue with this phenomenon in pandemic times. We emphasized that the paradigmatic question is one of the points of interconnection between the chapters, since the thermodynamics of non-equilibrium is one of the pillars of complex thinking, which emphasizes a reform of scientific and educational thinking – of mechanistic, deterministic, dualist and hierarchical notions for an ecological, biodiverse, and interdependent awareness. We argued that a scientific education that considers the contextual and socio-cultural realities of people can be more fruitful in the current scenario and we point to the need to include bioethical issues in science education.

**Keywords:** Science education. Complex thinking. Thermodynamics. Post-truth.

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	10
1.1. Introdução.....	10
1.2. Estrutura da dissertação .....	11
1.3. Objetivos.....	13
1.4. Metodologia.....	13
<b>2. ENSINO DAS BIOFÍSICAS: ENTRE O EQUILÍBRIO, O DESEQUILÍBRIO E A AUTO-ORGANIZAÇÃO EM SISTEMAS BIOLÓGICOS</b> .....	15
Resumo: .....	15
Abstract:.....	16
Resumen: .....	16
2.1. Introdução.....	17
2.2. Máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica: interfaces com as com as ciências da vida.....	20
2.3. Termodinâmica do não-equilíbrio: estruturas dissipativas e auto-organização em sistemas vivos.....	26
2.4. Biofísica: uma Física Biológica ou uma Biologia Física?.....	34
2.5. Abordagens de conteúdo <i>das Biofísicas</i> : reflexões a partir dos livros-texto.....	37
2.6. Diálogos entre o ensino <i>das Biofísicas</i> e o pensamento complexo .....	39
2.7. Considerações finais .....	41
<b>3. PÓS-VERDADE E PANDEMIA DA COVID – 19: DIÁLOGOS COM A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA</b> .....	47
Resumo .....	47
Resumen .....	47
Abstract.....	48
3.1. Introdução.....	48
3.2. Pós-verdade em contexto.....	49

3.3. Pós-verdade em suas conexões com os vieses cognitivos.....	52
3.4. Diálogos entre pós-verdade, pandemia da Covid – 19 e educação em ciências.....	56
3.5. Considerações finais.....	62
Referências .....	63
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL – FOLHETO DE CORDEL: A TERMODINÂMICA DA VIDA.....</b>	<b>71</b>

## 1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

### 1.1. Introdução

Uma das coisas mais interessantes ao escrever esta introdução é perceber como o conhecimento produzido é transitório, pois o seu próprio processo de construção tem caráter dinâmico, situado em determinado momento histórico-social e intrinsecamente relacionado aos interesses da pessoa que pesquisa. Por exemplo, já não sou a mesma pessoa que escreveu o primeiro artigo desta dissertação. E é bem provável que hoje não dissesse muita coisa que está lá ou colocasse tantas vírgulas no que foi dito. Para mim, escrever este trabalho tornou ainda mais evidente como as pesquisas e as ciências são um empreendimento demasiadamente humano, e, portanto, aberto, mutável, não-linear.

Ao longo do curso de mestrado, mudei três vezes meu tema de pesquisa. Sou grata às pressões da minha orientadora. Minha principal dificuldade em decidir residia no fato de não haver, até então, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba (PPGECM/UEPB), uma linha ou grupo/núcleo de pesquisa que abordasse a educação em ciências/biologia numa perspectiva feminista. Com relação aos vários temas pelos quais me interessei, os principais referenciais eram quase que inteiramente nomes masculinos, escritos por homens. Isso era algo que me desanimava e fazia com que perdesse o interesse. No Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida (GRECOM VIDA - UEPB), encontrei abertura para questionarmos, pensarmos e tecermos conjuntamente conhecimentos, trajetórias, histórias, diferentes estados possíveis na realidade científica e educacional.

Em 2018, conheci o Grupo de Estudos da Complexidade da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, através da professora Ceíça Almeida, na ocasião em que participava do XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (XII ENPEC) na mesma instituição. Encontrei com Ceíça na noite de abertura do referido evento e disse que tinha interesse em adquirir um dos seus livros – *Ciências da complexidade: saberes científicos, saberes da tradição*. Ela disse que era possível, que fosse ao GRECOM no dia seguinte, em determinado horário. Chegando lá, ela separou uns quatro livros que disse considerar relevantes para introduzir o pensamento complexo e me deu de presente. Quase não acreditei! Como bolsista, compraria apenas um ou dois. E de repente saio com quatro! Lembrei instantaneamente

do conto *Felicidade clandestina* de Clarice Lispector, só que não havia nada de clandestino nisso.

Além disso, ouvir as histórias de Ceiça, algumas de suas experiências pessoais e nas pesquisas, me motivou ainda mais a pesquisar algo relacionado à complexidade. Lendo os seus livros, identifiquei um físico-químico cujos estudos levaram à um ponto de mutação nas interfaces entre as ciências físicas e as ciências da vida – *Ilya Prigogine e a termodinâmica do não-equilíbrio*. O nome por si só me chamou a atenção. Ao que se refere esse “não-equilíbrio”? Do que trata a termodinâmica? De que maneira os estudos nesse âmbito influenciaram a história da Biologia? E qual a relevância disso para a educação biológica? Por estar nas interfaces entre a física e a biologia, e por minha orientadora ser professora de Biofísica, foi consensual discutir essas questões no campo do ensino de Biofísica na perspectiva da complexidade. Cabe salientar que, apesar de ainda incipientes, identificar referenciais femininos, e algumas inclusive consideradas feministas, discutindo sobre aspectos relativos a esse tema (e.g. Evelyn Fox-KELLER, Isabelle STENGERS, Maria da Conceição ALMEIDA, Vandana SHIVA) foi fundamental para o seu desenvolvimento.

Nesse contexto, a proposta inicial era desenvolver uma dissertação focada no ensino de Biofísica para as Ciências Biológicas (em especial) em suas conexões com o pensamento complexo. No entanto, no decorrer deste trabalho, nos deparamos com um contexto de emergência das problemáticas climáticas, de saúde pública e do fenômeno da pós-verdade, intensificado pela pandemia da COVID-19, que também se relacionavam às questões paradigmáticas da ciência e da educação que estávamos discutindo no âmbito da termodinâmica da vida e do ensino *das Biofísicas*. Nesse sentido, expandimos as nossas discussões para abordar de que maneira a educação em ciências poderia dialogar com o fenômeno da pós-verdade, essencialmente no contexto da pandemia do novo Coronavírus, sob a óptica da complexidade.

## 1.2. Estrutura da dissertação

Para estruturar esta dissertação nos baseamos no formato *multipaper*, uma vez que através deste é possível a junção de vários artigos em torno de um objetivo principal, sendo a leitura de cada artigo passível de ser realizada de maneira independente (PALTRIDGE, 2002; SOUZA, 2017). Dessa maneira, este texto está organizado da seguinte forma: **Capítulo 1 – Apresentação da pesquisa; Capítulo 2 – Artigo 1: Ensino das Biofísicas: entre o equilíbrio, o desequilíbrio e a auto-organização em sistemas biológicos; Capítulo 3 – Artigo 2 – Pós-**

verdade e pandemia da Covid-19: diálogos com a educação científica; **Considerações finais, Referências e Apêndice A**, onde consta um texto no formato de cordel.

No capítulo 1 que está sendo descrito agora realizamos uma apresentação da pesquisa buscando situar o seu contexto e algumas informações necessárias a compreensão do trabalho de maneira geral. Cada artigo individual compõe um capítulo possuindo objetivos particulares que se articulam ao objetivo principal. Essa organização foi baseada em Souza (2017) e Paltridge (2002). Os artigos e material didático aqui expostos já foram submetidos a periódicos da área. O Artigo 1 já foi publicado, os demais aguardam parecer. Cabe destacar que, apesar de já publicado, o Artigo 1 passou pela avaliação da banca examinadora na Defesa da Dissertação, os apontamentos foram levados em consideração e incorporados ao texto. Todas as alterações encontram-se destacadas e em notas de rodapé.

No Capítulo 2 - Artigo 1: *Ensino das Biofísicas*: entre o equilíbrio, o desequilíbrio e a auto-organização em sistemas biológicos, buscamos discutir as interconexões entre a termodinâmica do não-equilíbrio e as ciências da vida, suas influências no desenvolvimento de uma “nova Biofísica”, bem como as suas implicações no ensino *das Biofísicas*. Argumentamos que o ensino *das Biofísicas* que emerge com os estudos da termodinâmica dos sistemas vivos, aproxima-se da construção de um conhecimento transdisciplinar ou complexo, evidenciando as articulações e/ou interconexões entre as proposições das ciências, entre os componentes curriculares e os diversos tipos de conhecimentos e contextos, de modo a contribuir para compreensões e explicações mais profundas e amplas sobre determinada temática ou problemática a que se propõe.

No Capítulo 3 – Artigo 2: Pós-verdade e pandemia da Covid-19: diálogos com a educação científica, discutimos o contexto da pós-verdade, as raízes psicológicas desse fenômeno a partir da teoria dual da mente, e, em seguida, refletimos de que maneira a educação científica pode dialogar com esse fenômeno, essencialmente, no contexto da pandemia da Covid-19. Destacamos que em tempos de pandemia do novo coronavírus, intensamente marcado pelas mudanças climáticas e disseminações de *fake news*, a rejeição do conhecimento científico pode apresentar riscos altos à vida, sendo portanto, emergente focar nas consequências que o fenômeno da pós-verdade pode gerar e nos caminhos que a educação científica no contexto do pensamento complexo pode percorrer para ajudar as pessoas a utilizarem os conhecimentos científicos de maneira apropriada em seus contextos socioculturais. Por fim, expomos algumas considerações finais resultantes das temáticas discutidas.

### 1.3. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação consistiu em discutir como o pensamento complexo pode fornecer subsídios para uma compreensão ampliada das ciências e da educação biológica/científica, especificamente no que concerne a temas relativos à termodinâmica da vida e a problemas socioambientais emergentes, tais como, o fenômeno da pós-verdade e a pandemia da COVID-19.

No primeiro artigo, tivemos como objetivo discutir as interconexões entre a termodinâmica do não-equilíbrio e as ciências da vida, suas influências no desenvolvimento de uma “nova Biofísica”, bem como as suas implicações no *ensino das Biofísicas*.

No segundo artigo, objetivamos discutir o contexto da pós-verdade, as raízes psicológicas desse fenômeno a partir da teoria dual da mente, e, em seguida, refletimos de que maneira a educação científica pode dialogar com esse fenômeno, essencialmente, no contexto da pandemia da Covid-19.

Os objetivos individuais de cada capítulo encontram-se articulados ao objetivo principal e estão inter-relacionados, principalmente, através de questões paradigmáticas e das emergências climáticas e sociais intensificadas pela pandemia da Covid – 19.

### 1.4. Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido tendo por base a abordagem qualitativa com o aporte da pesquisa bibliográfica. De acordo com Minayo (2001) e Silveira e Córdova (2009), a pesquisa qualitativa busca apresentar respostas a questões específicas envolvendo aspectos que não são passíveis de quantificação, trabalhando, portanto, com o universo de motivações, crenças, atitudes, valores, dentre outros.

As características da pesquisa qualitativa são: objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de *descrever, compreender, explicar*, precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposição ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências (SILVEIRA;CÓRDOVA, 2009, p.32).

A pesquisa bibliográfica é realizada a partir do levantamento de referências publicadas por meio de fontes que podem incluir livros, publicações periódicas e impressos diversos, proporcionando além da familiarização com a temática, um alcance ampliado de uma variedade

de fenômenos quando comparados ao que possivelmente se teria acesso pesquisando diretamente (GIL, 2002). Ainda conforme Gil (2002, p.44), “embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho dessa natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas”.

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço. Por exemplo, seria impossível a um pesquisador percorrer todo o território brasileiro em busca de dados sobre população ou renda per capita; todavia, se tem a sua disposição uma bibliografia adequada, não terá maiores obstáculos para contar com as informações requeridas (GIL, 2002, p. 45).

No que se refere a esta dissertação, o percurso metodológico adotado viabilizou o prosseguimento e a conclusão da pesquisa em tempos de pandemia do novo coronavírus, onde o isolamento social e as medidas de distanciamento e proteção à saúde foram necessárias. Buscamos situar os temas das nossas discussões às demandas consideradas emergentes na educação em ciências da contemporaneidade selecionando, organizando e conectando informações e conhecimentos a respeito das temáticas expostas.

Foram elaborados dois artigos de caráter ensaístico. Para a composição de ambos, após o tema ter sido escolhido, realizamos um levantamento prévio das produções relacionadas, traçamos um percurso temporário do assunto, recorremos às fontes para realizar as leituras, fichamento, e a partir disso, organizamos e redigimos cada texto. As fontes consistiram em livros de cunho científico, artigos selecionados de periódicos científicos e anais de eventos, bem como teses e dissertações relativas às áreas dos temas discutidos. Este delineamento foi realizado a partir de Gil (2002).



## 2. ENSINO DAS BIOFÍSICAS: ENTRE O EQUILÍBRIO, O DESEQUILÍBRIO E A AUTO-ORGANIZAÇÃO EM SISTEMAS BIOLÓGICOS<sup>1,2,3</sup>

### Mayara Gomes da Silva

Mestranda em Ensino de Ciências e Educação Matemática  
Especialista em Desenvolvimento Humano e Educação Escolar  
Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande/PB  
[mayaragomesec@gmail.com](mailto:mayaragomesec@gmail.com)

### Márcia Adelino da Silva Dias

Doutora em Educação (UFRN)  
Professora Associada do Departamento de Biologia  
Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande/PB

### Karla Patrícia de Oliveira Luna

Doutora em Saúde Pública (FIOCRUZ/PE)  
Professora Efetiva do Departamento de Biologia  
Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande/PB

### Resumo:

A Biofísica consiste em uma ciência transdisciplinar que integra temas e áreas diversas, constituindo um componente curricular essencial aos cursos das áreas das Ciências Biológicas e da Saúde. Entretanto, as pesquisas referentes ao ensino-aprendizagem desta área, apontam algumas questões desafiantes, tais como: abordagem estritamente física ou biológica dos conteúdos, escassez de propostas didáticas, bem como de pesquisadores e referenciais, em especial, no que concerne ao curso de Ciências Biológicas. Nesse contexto, a abordagem da Biofísica que apresentamos neste trabalho corresponde a uma incursão desta área na complexidade, tendo em vista um ensino *das Biofísicas* mais integrativo. Assim, temos o objetivo de discutir as interconexões entre a termodinâmica do não-equilíbrio e as ciências da vida, suas influências no desenvolvimento de uma “nova Biofísica”, bem como as suas implicações no ensino *das Biofísicas*. Argumentamos que o *ensino das Biofísicas* que emerge com os estudos da termodinâmica dos sistemas vivos, aproxima-se da construção de um conhecimento transdisciplinar ou complexo, evidenciando as articulações e/ou interconexões entre as proposições das ciências, entre os componentes curriculares e os diversos tipos de

---

<sup>1</sup> Publicado em *Sustinere – Revista de Saúde e Educação*: SILVA, M. G.; DIAS, M. A. S.; LUNA, K. P. O. Ensino de Biofísica: entre o equilíbrio, o desequilíbrio e a auto-organização em sistemas biológicos. *Revista Sustinere*, v. 8, n. 2, p. 539-569, 2020. DOI: <https://doi.org/10.12957/sustinere.2020.53510>.

<sup>2</sup> A versão aqui apresentada incorpora os apontamentos e considerações da banca examinadora da presente dissertação de mestrado e outras correções que surgiram a partir das repetidas leituras e revisão do texto. Há, portanto, algumas modificações em relação ao publicado na revista *Sustinere*. Todas as alterações encontram-se destacadas em *itálico* ou em notas de rodapé com numeração em *itálico*. A formatação do texto também foi adaptada ao modelo da biblioteca para depósito dos trabalhos acadêmicos.

<sup>3</sup> O Título também sofreu alteração – de *Ensino de Biofísica* para *Ensino das Biofísicas* – para ficar mais coerente com a abordagem plural das Biofísicas que apresentamos no decorrer do texto.

conhecimentos e contextos, de modo a contribuir para compreensões e explicações mais profundas e amplas sobre determinada temática ou problemática a que se propõe.

**Palavras-chave:** Complexidade, Biologia, Termodinâmica, Educação Biológica.

### **Biophysics teaching: between equilibrium, non-equilibrium and self-organization in biological systems**

**Abstract:**

Biophysics consists of a transdisciplinary science that integrates diverse themes and areas, constituting an essential curricular component to courses in the areas of Biological Sciences and Health. However, research related to teaching-learning in this area, points out some challenging issues, such as a strictly physical or biological approach to content, shortage of didactic proposals, as well as researchers and references, especially concerning the Biological Sciences course. In this context, the Biophysics' approach that we present in this work corresponds to an incursion of this area in complexity, given more integrative teaching of Biophysics. Thus, we aim to discuss the interconnections between the non-equilibrium thermodynamics and the life sciences, their influences on the development of a “new Biophysics”, as well as their implications for the teaching of Biophysics. We argue that the teaching of Biophysics that emerges with the studies of the thermodynamics of living systems, approaches the construction of a transdisciplinary or complex knowledge, evidencing the articulations and/or interconnections between the propositions of the sciences, between the curricular components and the various types of knowledge and contexts, in order to contribute to deeper and broader understanding and explanations of a given subject or problem.

**Keywords:** Complexity, Biology, Thermodynamics, Biological Education.

### **Enseñanza de Biofísica: entre el equilibrio, el desequilibrio y la auto-organización en sistemas biológicos**

**Resumen:**

La Biofísica consiste en una ciencia transdisciplinaria que integra temas y áreas diversas, constituyendo un componente curricular esencial a los cursos de las áreas de las Ciencias Biológicas y de la Salud. Sin embargo, las investigaciones referentes a la enseñanza-aprendizaje de esta área, señalan algunas cuestiones desafiantes, tales como: abordaje estrictamente físico o biológico de los contenidos, escasez de propuestas didácticas, así como de investigadores y referenciales, en particular en lo que se refiere al curso de Ciencias Biológicas. En ese contexto, el enfoque de la Biofísica que presentamos en este trabajo corresponde a una incursión de esta área en la complejidad, con vistas a una enseñanza de Biofísica más integradora. Así, tenemos el objetivo de discutir las interconexiones entre la termodinámica del no-equilibrio y las ciencias de la vida, sus influencias en el desarrollo de una "nueva Biofísica", así como sus implicaciones en la enseñanza de Biofísica. Argumentamos que la enseñanza de Biofísica que emerge con los estudios de la termodinámica de los sistemas vivos, se aproxima a la construcción de un conocimiento transdisciplinar o complejo, evidenciando las articulaciones y/o interconexiones entre las proposiciones de las ciencias, entre los componentes curriculares y los diversos tipos de conocimientos y contextos, a fin de contribuir a comprensiones y explicaciones más profundas y amplias sobre determinada temática o problemática a la que se propone.

**Palabras clave:** Complejidad, Biología, Termodinámica, Educación Biológica.

## 2.1. Introdução

A origem da vida na Terra é um assunto que há muito tempo desperta a nossa curiosidade, sendo alvo de inúmeras pesquisas e controvérsias. Existem várias versões a respeito desse tema, uma delas é o mito de Prometeu. Na narrativa apresentada por Bullfinch (2006), antes da criação da Terra e dos seus componentes, existia o Caos, uma massa confusa e sem forma que continha as sementes latentes das coisas. Através dos fenômenos naturais e da intervenção dos deuses, o mundo tal como conhecemos foi criado, assim como os animais e as plantas, porém faltava um animal mais nobre, no qual a essência divina pudesse habitar. Assim, Prometeu tomou uma porção de argila, misturou com água, e esculpiu o ser humano à semelhança dos deuses.

Prometeu, junto com seu irmão Epimeteu, foram os encarregados para garantir que os seres humanos e os outros animais, desenvolvessem as faculdades necessárias à sua sobrevivência, de modo que, a cada animal foram atribuídos dons variados, tais como, agilidade, coragem, força, dentre outros. No entanto, quando chegou a vez do ser humano, todos os recursos haviam sido gastos. Com o auxílio de Atena, Prometeu subiu ao Olimpo e acendeu uma tocha, trazendo o fogo para os seres humanos, dando-lhes, assim, a possibilidade de dominação de toda a natureza (BULLFINCH, 2006).

Ainda consoante ao referido autor, com o dom de manusear o fogo, os seres humanos construíram armas para caçar, equipamentos para o cultivo da terra, aquecimento de suas moradias, e, finalmente, criaram as moedas, viabilizando a expansão do comércio. Ao descobrir que o fogo havia sido roubado, Zeus ficou extremamente irritado, dirigindo a sua fúria e punição a Prometeu, ordenando que o acorrentassem no monte Cáucaso, onde um abutre devorava diariamente seu fígado, o qual para o seu sofrimento eterno, regenerava-se todos os dias.

Numa outra versão deste mito, conta-se que Prometeu roubou o fogo do Olimpo para soprar na sua escultura humana inanimada e dar-lhe vida (MEIS; RANGEL, 1998). De todo modo, o mito de Prometeu parece ser um dos registros mais antigos que faz menção à capacidade de manusear o fogo como um dom diferencial da espécie humana em relação às demais espécies, bem como correlaciona o calor do fogo (combustão) e a origem da própria vida humana (BULLFINCH, 2006; MEIS; RANGEL, 1998).

Os estudos da neurocientista Herculano-Houzel (2017) sobre o desenvolvimento do cérebro humano, têm evidenciado que o que nos tornou humanos e nos diferenciou das outras espécies foi a nossa habilidade de utilizar o fogo para cozinhar. Cozinhar é uma habilidade que apenas a espécie humana é capaz de realizar, funcionando como uma pré-digestão que dobra o

rendimento energético dos alimentos de modo a ser possível obter mais energia em menos tempo, e relaciona-se com a alta concentração de neurônios no nosso córtex cerebral, aproximadamente 16 bilhões. Essa cortesia de 16 bilhões de neurônios do córtex cerebral, foi fundamental para desenvolvermos ciências, tecnologias, sociedades e culturas diversas<sup>4</sup>.

É nesse contexto que os estudos da interação entre o calor e a matéria ao longo do tempo, isto é, da termodinâmica, em especial da termodinâmica do não-equilíbrio, também nos fornecem um paradigma sobre a origem da vida, o desenvolvimento dos ecossistemas, os seus padrões evolutivos ao longo do tempo (SCHNEIDER; KAY, 1994), bem como provoca reflexões sobre o papel da espécie humana nos ecossistemas e os seus modos de interação com a Natureza.

Os conceitos de irreversibilidade temporal e auto-organização que emergem com a termodinâmica dos sistemas afastados do equilíbrio, nos conduzem aos estudos da termodinâmica da complexidade biológica, os quais enfatizam, de acordo com Minayo (2011), os seres vivos como sistemas abertos, autônomos, trocando continuamente matéria, energia e informação com o ambiente ao qual estão integrados. Em concordância com a autora, essa compreensão consiste em uma das contribuições contemporâneas do pensamento complexo<sup>5</sup>, interligando conhecimentos oriundos de diversas áreas da ciência, com destaque a autores como: Ludwig von Bertalanffy – biólogo que elaborou a Teoria Geral dos Sistemas; Ilya Prigogine – físico-químico, Nobel em Química em 1977, por seus estudos em termodinâmica do não-equilíbrio e teoria das estruturas dissipativas; Henri Atlan – biofísico, biólogo molecular e filósofo, propôs a teoria da auto-organização a partir dos ruídos e das crises; e Edgar Morin – antropólogo, sociólogo, filósofo, e pesquisador emérito do Centro Nacional de Pesquisa Científica de Paris.

Nessa perspectiva, a formalização da termodinâmica do não-equilíbrio, por Ilya Prigogine, ao final da década de 1940, e suas relações com as ciências da vida, ocasionaram uma mudança conceitual fundamental na história da Biologia, e da Biofísica em particular (BISCHOF, 2003), suscitando o questionamento levantado por Keller (2009, p.1072): “a

---

<sup>4</sup> Suzana Herculano - Houzel discute as ideias apresentadas neste parágrafo em seu livro *A vantagem humana – como o nosso cérebro se tornou superpoderoso*, expondo que a região do córtex cerebral humano possui uma maior quantidade de neurônios quando comparada às demais espécies animais.

<sup>5</sup> Neste texto, nos alinhamos com a compreensão do *pensamento complexo* apresentada por Minayo (2011), com destaque às contribuições de Ilya Prigogine e Edgar Morin.

Biologia está sendo reduzida a Física, ou a Física está sendo revivida, ressignificada, com a infusão dos processos da vida?”<sup>6</sup>

É nesse sentido que a abordagem dos conteúdos da Biofísica discutida no decorrer deste texto, corresponde a uma incursão desta área na complexidade, tendo em vista um Ensino de Biofísica mais integrativo. No entanto, não temos a finalidade de propor uma receita didática a ser seguida, uma vez que, de acordo com a especificidade de cada curso e formação profissional, emergem múltiplas abordagens possíveis. Sendo assim, não há uma Biofísica e um modo correto de ensinar Biofísica, existem Biofísicas<sup>7</sup> que se conectam às dinâmicas dos contextos e currículos diversos.

Cabe destacar, portanto, *as Biofísicas* como *componentes curriculares transdisciplinares*<sup>8</sup>, pois os conteúdos nela abordados percorrem diversas áreas científicas. Isto é, trata-se de um componente híbrido, que resulta de um processo de articulação e/ou interconexão entre vários componentes curriculares, no intuito de elaborar uma compreensão e uma explicação mais profunda e ampla de determinado problema ou tema científico (MINAYO, 2011).

Neste texto, de caráter ensaístico, temos o objetivo de discutir as interconexões entre a termodinâmica do não-equilíbrio e as ciências da vida, suas influências no desenvolvimento de uma “nova Biofísica”<sup>9</sup>, bem como as suas implicações no ensino *das Biofísicas*. Para tanto, iniciaremos discutindo como a problemática relativa às máquinas térmicas levou à elaboração da segunda lei da termodinâmica, evidenciando a interface entre as ciências físicas e as ciências da vida. Em seguida, discorreremos sobre a termodinâmica do não-equilíbrio, os processos de auto-organização em sistemas biológicos e as suas articulações com o desenvolvimento do pensamento biofísico. E, finalmente, apresentaremos a relevância do estudo da termodinâmica da complexidade biológica para o ensino *das Biofísicas*.

---

<sup>6</sup> Tradução nossa.

<sup>7</sup> A partir daqui, adotaremos ao longo do texto a palavra Biofísica no plural – *Biofísicas*, diferindo do texto já publicado onde, apesar de compreender a pluralidade desta área, utilizamos uma escrita no singular. Nesse sentido, destacaremos o termo *Biofísicas* em *itálico* para sinalizar a alteração e favorecer a compreensão. No entanto, ao nos referirmos a compreensão apresentada por algum referencial teórico ou contexto em particular será utilizada a Biofísica no singular.

<sup>8</sup> Assumimos a escrita no plural.

<sup>9</sup> A abordagem da “nova Biofísica” a qual nos referimos foi proposta por Bischof (2003), conforme exposto adiante.

## 2.2. Máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica: interfaces com as com as ciências da vida

A “ciência do fogo”, reconhecida como ciência experimental no século XVIII, introduziu nas ciências modernas o que estas negavam nos estudos relativos à dinâmica: a irreversibilidade dos processos e a sua complexidade. Através das reações químicas provocadas pelo fogo, diversas transformações foram possíveis, tais como, dissolução, dilatação, fundição, evaporação, o que abriu margem para a queima de combustíveis com grande liberação de chamas e calor (PRIGOGINE; STENGERS, 1997). Dessa maneira, observou-se que o calor liberado por meio da combustão, acarretava uma variação de volume, produzindo um efeito mecânico, de modo que, ao fogo atribuiu-se a capacidade de girar as máquinas térmicas, as quais no século XIX, consistiram em uma novidade técnica essencial para o surgimento da sociedade industrial, uma vez que as fontes de energias concebíveis até então eram provenientes dos ventos, da água, dos animais e das máquinas simples (PRIGOGINE; STENGERS, 1997).

Segundo Prigogine e Stengers (1997, p.83-84) e Santos (2010)<sup>10</sup>, através da investigação empírica sobre as condições nas quais o calor produziria “energia mecânica” para fazer girar um motor, emerge a termodinâmica. Assim, embora o ano de 1824 seja considerado o marco inicial de uma teoria da termodinâmica, com os estudos sobre a “força motriz do fogo” desenvolvidos por Sadi Carnot, cerca de dez anos antes, em 1811, Jean Joseph Fourier, afirmou em seu estudo técnico sobre a propagação de calor nos sólidos, que, a transferência calor entre dois corpos de distintas temperaturas é um fenômeno “*sui generis*”, que não se reduz às simples “interações mecânicas de vizinhança”, suscitando os incômodos iniciais a respeito das fragilidades do modelo clássico de ciência, e que posteriormente questionariam o “demônio de Laplace” (PRIGOGINE; STENGERS, 1997, p.83-84).

A termodinâmica vai, então, constituindo-se como uma área do conhecimento científico que estuda as interações entre a matéria e o calor ao longo do tempo, sendo o calor considerado uma “forma de energia”, tal como a energia elétrica, magnética, mecânica, dentre outras (MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2009).

A primeira lei da termodinâmica (ou a lei da conservação da energia) corresponde ao princípio da conservação da energia, cuja formulação considerada mais abrangente é a do fisiologista e físico-matemático Hermann von Helmholtz, o qual em 1847, postulou que o

---

<sup>10</sup> Santos (2010) apresenta uma discussão sobre as transformações que o calor pode gerar e suas influências no período industrial, conforme Prigogine e Stengers (1997).

estoque total de energia na natureza não poderia ser aumentado ou diminuído, pois essa quantidade de energia, assim como a quantidade de matéria, era eterna e inalterável (NUSSENZVEIG, 2002). Isto é, em um sistema isolado a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada, sendo assim, a energia se mantém conservada ou constante<sup>11</sup>. A conservação da energia através das transformações que os sistemas físicos, químicos e biológicos podem sofrer, constitui a base das ciências da complexidade e o fio que conduz ao estudo e compreensão de uma multiplicidade de fenômenos e processos naturais (PRIGOGINE; STENGERS, 1997).

Partindo da compreensão de que a energia se mantém conservada ou constante apesar das transformações ocorridas, se um determinado processo acontece em um dado sentido ou sequência temporal, nada impede a reversibilidade do processo, isto é, que ele também ocorra no sentido inverso ou na sequência temporal inversa. No entanto, considerando a escala macroscópica, Mourão Júnior e Abramov (2009), levantaram as seguintes indagações: Seria possível utilizar toda a energia de um motor para realizar um trabalho? Por exemplo, uma máquina movida a gasolina que tem a função de produzir gasolina, seria capaz de produzir a mesma quantidade de gasolina que ela usa para funcionar? No dia a dia, podemos observar que um cubo de gelo derrete com o aumento da temperatura. É possível que o processo se reverta, que o cubo de gelo volte a ser exatamente como era, mesmo com alteração no ambiente que circunda tal massa de água, ou colocando-o em um *freezer*, ou com um intenso inverno? Ao trincar um copo de cristal, há alguma maneira de reverter essa rachadura de modo que o copo volte ao seu estado anterior? Com o passar do tempo, uma pessoa envelhece. É possível reverter esse processo?

De acordo com a lei da conservação da energia<sup>12</sup>, em qualquer transformação a energia se conserva, embora parte dessa energia seja dissipada na forma de calor tornando-se inaproveitável para o próprio sistema, a quantidade de energia geral permanece constante, isto é, a energia não se perde, não se cria, se transforma. Cabe salientar que, de acordo com Schneider e Kay (1994), apesar da energia total permanecer constante, a qualidade da energia no sistema – a energia livre ou o conteúdo de exergia – pode ser alterada.

---

<sup>11</sup> Germano (2011) e Nussenzveig (2002) apresentam uma descrição mais detalhada sobre as leis da termodinâmica.

<sup>12</sup> Na atual versão, neste parágrafo, eliminamos a seguinte passagem: “é impossível aproveitar toda a energia, uma vez que parte dela é dissipada em forma de calor. Ou seja...” Pois, o princípio da conservação da energia, conforme os referenciais adotados neste texto, não trata diretamente do aproveitamento de energia.

Os experimentos de Carnot sobre como aumentar o rendimento e a eficiência das máquinas térmicas, com o intuito de gerar maior economia de combustível e maiores lucros na sociedade capitalista que estava surgindo com a Revolução Industrial no século XIX, proporcionaram o reconhecimento de que o trabalho pode ser dissipado em calor, no entanto, não é possível converter totalmente o calor em trabalho, evidenciando, assim, a existência da irreversibilidade na natureza e levando a elaboração da segunda lei da termodinâmica<sup>13</sup>.

Nesse contexto, Sadi Carnot elaborou um modelo teórico de uma máquina térmica ideal, estabelecendo o seguinte teorema: a) “Nenhuma máquina térmica que opere entre uma dada fonte quente e uma dada fonte fria pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot; b) Todas as máquinas de Carnot que operem entre essas duas fontes terão o mesmo rendimento” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 213). O ciclo proposto por Carnot constitui um valor referencial para a avaliação da eficiência de qualquer máquina térmica funcionando entre duas temperaturas específicas, fornecendo subsídios para a elaboração da segunda lei da termodinâmica, tendo em vista dois enunciados distintos e equivalentes, propostos por Kelvin em 1851, e Clausius em 1850, respectivamente: a) “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho; b) É impossível realizar um processo cujo efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente” (GERMANO, 2011; NUSSENZVEIG, 2002, p. 207).

De acordo com Schneider e Kay (1994, p.27)<sup>14</sup>, a contribuição dos estudos de Carnot para a segunda lei pode ser sintetizada através da seguinte declaração: “É impossível para qualquer sistema passar por um processo no qual absorva calor de um reservatório a uma única temperatura e o converta completamente em trabalho mecânico, terminando no mesmo estado em que começou”. Esta afirmação evidenciou a existência de uma nova função de estado de equilíbrio termodinâmico: a entropia (SANTOS, 2009).

Em concordância com a segunda lei, qualquer processo real ocorre numa direção que resulta em um aumento de entropia, desenhando uma espécie de “*flecha do tempo*”<sup>15</sup> na

---

<sup>13</sup> As discussões mais detalhadas sobre os experimentos de Carnot e a elaboração da Segunda Lei podem ser encontradas em Germano (2011), Nussenzveig (2002), Prigogine e Stengers (1997) e Schneider e Kay (1994).

<sup>14</sup> Tradução nossa.

<sup>15</sup> A discussão aqui apresentada foi desenvolvida com base no livro *Biofísica Básica* de Mourão Júnior e Abramov (2009). No entanto, a compreensão de *flecha do tempo* que desenvolvemos no decorrer do texto é conforme apresentada por Prigogine e Stengers (1997, p.96): “A entropia torna-se assim um *indicador de evolução* e traduz a existência na física de uma *flecha do tempo*”.



natureza. Por exemplo, na natureza existem ciclos, são os padrões funcionais dos sistemas naturais, como as estações do ano, os ciclos menstruais, os dias e as noites. No entanto, são assimétricos, desiguais, cujas transformações acontecem no sentido do passado para o presente e dirigindo-se ao futuro, como uma flecha que é lançada e não retorna, e cuja percepção é possível, pois ao comparar o momento atual com o anterior percebemos uma diferença/assimetria entre eles (MOURÃO JÚNIOR; ABRAMOV, 2009).

Dessa forma, todos os fenômenos espontâneos e naturais são irreversíveis. Ou seja, os processos irreversíveis são unidirecionais no tempo, e remetem à ideia de uma *seta* ou *flecha do tempo* termodinâmica, que flui no sentido “passado  $\rightarrow$  futuro”, podendo ser associada com a ocorrência de um processo “ $i \rightarrow f$ ” em que um sistema vai irreversivelmente do estado inicial para o estado final<sup>16</sup>. Vale lembrar que o ciclo da vida é também um processo irreversível, e que a seta do tempo é uma problemática em aberto (FREIRE, 2019).

De acordo com Prigogine e Stengers (1997, p.96), “para todo sistema isolado, o futuro é a direção na qual a entropia aumenta”, exemplificando da seguinte maneira:  $dS = d_eS + d_iS$ , sendo  $S$  = entropia;  $d_eS$  = o fluxo de energia entre o sistema e o meio;  $d_iS$  = a entropia produzida no interior do sistema, isto é, as transformações irreversíveis. Por definição,  $d_iS$ , terá sempre valor positivo ou nulo; e  $d_eS$ , poderá ter valor negativo, nulo ou positivo, a depender dos sistemas serem isolados, fechados ou abertos. Assim, em um sistema isolado, o fluxo de entropia exterior é nulo, subsistindo apenas o termo de produção de entropia interna,  $d_iS$ , de modo que  $dS = d_iS \geq 0$ . Nesse sentido, a segunda lei pode ser enunciada como: “qualquer processo real somente pode prosseguir em uma direção que resulte em aumento de entropia”, sendo a entropia a medida quantitativa da irreversibilidade, isto é, o número de possibilidades ou estados que um sistema pode assumir (SCHNEIDER; KAY, 1997, p.190).

Cabe então destacar que, de acordo com Mourão Júnior e Abramov (2009), existem três tipos de sistemas termodinâmicos: a) abertos – trocam matéria, energia e informação com outros sistemas de modo a ocorrer influências transformadoras entre si, por exemplo, os seres vivos; b) fechados – são capazes de realizar trocas de energia e informação, mas não há transferência de matéria, por exemplo, os computadores; c) isolados – são sistemas que hipoteticamente não interagem com outros sistemas, no entanto, esta classificação consiste em um artifício para falarmos de sistemas pouco interativos ou mais ou menos abertos, por exemplo, nosso sistema orbital solar, que sofre poucas transformações em sua simbiose com o restante do universo.

---

<sup>16</sup> Idem 14 e em consonância com Freire (2019).

Prigogine (1997, p.96), lançou, então, a seguinte indagação: “... Que sistema poderia ser mais bem isolado do que o universo inteiro?”<sup>17</sup> Apresentando, em seguida, dois princípios fundamentais à Termodinâmica, propostos por Clausius: a) “A energia do universo é constante; b) A entropia do universo cresce na direção de um máximo”<sup>18</sup>. Uma entropia crescente indica a direção do futuro, tanto no nível de um sistema local, como no nível do universo como um todo, sendo a diferenciação entre passado e futuro, o sentido em que a entropia aumenta (GERMANO, 2011).

No entanto, “como os fenômenos irreversíveis observados nos estudos da termodinâmica poderiam resultar de movimentos atômicos reversíveis, conforme a mecânica newtoniana?” (GERMANO, 2011, p.133) Para essa questão, as contribuições de Ludwig Edvard Boltzmann foram essenciais. Físico, atomista vienense, Boltzmann propôs uma interpretação da entropia em termos de movimento atômico, remetendo essa questão ao campo da estatística e das probabilidades. Em suma, ele observou dois níveis possíveis de descrição de um mesmo estado físico: 1) Macroscópico e relativo a um estado em grande escala, correspondendo, no caso de um gás, às medidas macroscópicas de pressão, temperatura e volume; 2) Microscópico e relativo a um estado em pequena escala, referindo-se às propriedades detalhadas dos átomos que compunham o sistema; no caso de um gás, a especificação das posições e velocidades de suas moléculas (GERMANO, 2011; SANTOS, 2009).

A partir do estado microscópico do sistema (posições e velocidades médias das moléculas), Boltzmann, determinou as quantidades associadas ao estado macroscópico (pressão, temperatura, volume), elucidando que a entropia refletia o número das diferentes formas pelas quais os microestados poderiam ser combinados para resultar em um macroestado específico<sup>19</sup>. Assim, quanto maior o número de microestados para caracterizar um macroestado em particular, maior seria a entropia (SCHNEIDER; KAY, 1994).

A termodinâmica aprimorada pelos estudos de Boltzmann, apresentava uma compreensão da natureza em vias degenerativas cuja morte era inevitável da desordem aleatória, consistindo em uma visão pessimista dos sistemas naturais, os quais, nesse sentido,

---

<sup>17</sup> Referência e citação revisada.

<sup>18</sup> A discussão sobre a termodinâmica apresentada neste texto fundamenta-se nos princípios propostos por Clausius e citados por Germano (2011) e Prigogine e Stengers (1996, 1997).

<sup>19</sup> Para mais detalhes, essa discussão sobre os estudos de Boltzmann pode ser consultada em Germano (2011) e Schneider e Kay (1994).

estariam avidamente buscando por equilíbrio. Em contraste, Darwin afirmava a crescente complexidade, especialização e organização dos sistemas biológicos ao longo do tempo (SCHNEIDER; KAY, 1997). Assim, se a entropia do universo tende a aumentar com o tempo, como os seres vivos poderiam criar e manter sua estrutura extremamente organizada e complexa?<sup>20</sup>

Uma obra marcante nessa discussão é “*What’s life?*”, de Schrodinger (1997). Ao discorrer sobre “os aspectos físicos da célula viva”, o físico austríaco elucida que os seres vivos são estruturas organizadas, que se formam e se mantêm a partir da incorporação de elementos distribuídos de maneira desorganizada no ambiente. Para Prigogine (1996), sem a existência dos processos irreversíveis do não-equilíbrio, a vida no nosso planeta não seria concebível. A termodinâmica do não-equilíbrio estuda os processos dissipativos, que se caracterizam por um tempo unidirecional, conferindo uma nova significação à irreversibilidade, e de onde emergiram novos conceitos, como a auto-organização e as estruturas dissipativas, amplamente utilizados em estudos de áreas como a cosmologia, ecologia, ciências sociais, química e biologia<sup>21</sup>.

Os organismos vivos consistem, portanto, em sistemas abertos distantes do equilíbrio, ou sistemas dissipativos, devido ao gradiente térmico provocado por fluxo energético contínuo advindo do Sol, ou de outro modo, podemos dizer que os seres vivos encontram-se em equilíbrio estacionário, onde há trocas de matéria e energia com o meio, cujo equilíbrio com o meio tem como resultado a própria morte (FILHO; PENHA-SILVA, 2005). Conforme Leão (1970), a vida consiste em uma constante tendência de equilíbrio entre o meio externo e interno, cuja realização é a própria morte. Em outros termos,

(...) Os animais necessitam comer para se manter vivos. Sabemos que os seres vivos são sistemas estáveis, *longe do equilíbrio*. A todo instante, dentro de nós, processos são revertidos, porém à custa da energia de outros sistemas. (...) O envelhecimento mostra que, *mesmo em sistemas dissipativos como os seres vivos*, que consomem muitos joules de energia diariamente para manter a estabilidade longe do equilíbrio, ao longo do tempo, *certos processos irreversíveis vão se sobrepondo, se acumulando* (...) A morte chega quando as células não conseguem mais manter suas condições de homeostase<sup>22</sup> e o equilíbrio vai se impondo (concentrações iônicas tendem a se igualar, as temperaturas a cair, etc.) (MOURÃO JÚNIOR e ABRAMOV, 2009, p. 33).

<sup>20</sup> Schneider e Kay (1997) situam essa discussão no âmbito da *termodinâmica da complexidade biológica*.

<sup>21</sup> Prigogine (1996) evidencia as interfaces das ciências a partir dos estudos da termodinâmica do não-equilíbrio.

<sup>22</sup> Elaborado pelo fisiologista Claude Bernard, o termo Homeostase refere-se aos estados estáveis de um ser vivo, isto é, as condições essenciais para que a multiplicidade de fenômenos metabólicos e fisiológicos possam ocorrer (Mourão Júnir & Abramov, 2009).

Prigogine (1980) destaca que a finalidade do estudo dos processos irreversíveis se torna ainda mais nítida quando passamos a fenômenos biológicos ou sociais. Na Biologia, por exemplo, mesmo nas células mais simples, as atividades metabólicas envolvem múltiplas reações químicas acopladas, sendo necessário uma organização funcional extremamente sofisticada para a sua coordenação e regulação. Além disso, conforme o autor, as reações metabólicas requerem catalisadores específicos, as enzimas. Cada enzima executa uma tarefa específica. Sendo assim, ao observarmos a sequência complexa de atividades de uma célula, percebemos que ela está organizada de maneira semelhante a uma linha de montagem moderna<sup>23</sup>.

Na natureza, os processos irreversíveis são a regra, os reversíveis, por sua vez, correspondem a idealizações, aproximações, condições necessárias para uma abordagem exhaustiva que se adeque à exigência de uma descrição matemática completa, em concordância com Prigogine (1996). Para o autor, o estudo da termodinâmica do não-equilíbrio constitui uma indispensável interface entre a física e as ciências da vida, visto que as demais leis físicas, como classicamente formuladas, descrevem um mundo e uma natureza idealizada e estável, sem pressupostos formais à evolução e à vida, a qual só é possível de ser concebida distante do equilíbrio estático.

### **2.3. Termodinâmica do não-equilíbrio: estruturas dissipativas e auto-organização em sistemas vivos**

A termodinâmica aborda sistemas em três situações diferentes: a) sistemas em equilíbrio; b) sistemas que se encontram a uma certa distância do equilíbrio e tendem a retornar ao equilíbrio; c) sistemas afastados do equilíbrio e vinculados através de gradientes que os mantêm a uma certa distância do equilíbrio (SCHNEIDER; KAY, 1997). Neste tópico, enfatizaremos a terceira categoria desses sistemas, isto é, os sistemas abertos ao fluxo de energia e matéria que se encontram em uma certa estabilidade afastada do equilíbrio, o que diz respeito aos seres vivos, e como esses sistemas vivos dissipam energia para o ambiente mantendo a sua organização ou os seus padrões de auto-organização.

O recorte que apresentamos referente à auto-organização em sistemas biológicos, compreende ao ressurgimento deste termo com o estudo dos sistemas termodinâmicos afastados do equilíbrio, no final das décadas de 1970 e 1980, tendo como fio condutor as contribuições

---

<sup>23</sup> Prigogine (1980) evidencia a interconexão e interdependência dos processos nos sistemas vivos.

de Evelyn Fox Keller para a história da auto-organização; os estudos do físico-químico Ilya Prigogine, que lhe conferiram o Prêmio Nobel de Química em 1977, sobre a termodinâmica do não-equilíbrio, auto-organização e estruturas dissipativas; bem como a discussão sobre a termodinâmica da complexidade biológica apresentada por Schneider e Kay (1994; 1997).

“O que é um organismo? Qual é a propriedade ou a característica especial que distingue um sistema vivo de uma coleção de matéria inanimada?” (KELLER, 2005, p. 1069) Para a autora, essas foram indagações que fundamentaram a Biologia como uma ciência distinta no início do século XIX, e evidenciaram a inseparabilidade entre a história do termo “auto-organização” e a história da Biologia. Na versão da história da auto-organização apresentada por Keller (2009), as fronteiras entre organismos, máquinas e sistemas físicos são redesenhadas, evidenciando a separação entre organismos e máquinas, uma vez que, apesar das controvérsias, compreender o universo como um sistema auto-organizável longe do equilíbrio, possibilita uma variedade de estruturas improváveis, incluindo a própria vida, sem a necessidade de um projetista, piloto ou outro agente externo, oferecendo a possibilidade da construção de uma cosmologia científica finalmente liberta da dualidade platônica.

Os sistemas abertos e afastados do equilíbrio, tais como os sistemas vivos, mantêm a sua estrutura ou forma através da contínua dissipação energética, induzindo, assim, a formação de estruturas dissipativas, as quais conduzem a uma auto-organização do sistema. Desse modo, conforme Prigogine (1969), a auto-organização refere-se ao surgimento de estruturas dissipativas em sistemas distantes do equilíbrio e com baixa entropia, cuja organização se mantém tendo por efeito um aumento da entropia do sistema “global” no qual a estrutura está inserida. As estruturas dissipativas são, portanto, fenômenos de criação de organização longe do equilíbrio termodinâmico, ou de “ordem” a partir da “desordem”, isto é, na presença da aplicação externa de gradientes energéticos, os sistemas vivos tendem a se afastar ainda mais do equilíbrio, desenvolvendo meios que permitam a promoção de maior degradação de energia, para reduzir o conteúdo de exergia<sup>24</sup>, através da tentativa de dissipar o gradiente de temperatura induzido na Terra pela radiação<sup>25</sup>.

Vale lembrar que, de acordo com Prigogine (1996), a produção interna de entropia no sistema é sempre maior ou igual a zero, e a troca de entropia com o ambiente pode ser positiva,

---

<sup>24</sup> Exergia é um conceito central na discussão da ordem a partir da desordem, correspondendo a capacidade máxima de um sistema energético de realizar trabalho útil enquanto prossegue em direção ao equilíbrio com o ambiente (SCHNEIDER; KAY, 1997).

<sup>25</sup> Os processos de “ordem a partir da ordem” e “ordem a partir da desordem” são explanados por Schneider e Kay (1997) quando discorrem sobre a termodinâmica da complexidade biológica, conforme se verá a seguir.

negativa ou zero. Desse modo, para que determinado sistema possa manter o seu estado de não-equilíbrio constante, é preciso que a troca de entropia seja negativa e igual a entropia produzida internamente – metabolismo, por exemplo. Estruturas dissipativas distantes do equilíbrio (e.g. células de convecção, células de Bénard, furacões, reações autocatalíticas e sistemas vivos), exibem uma organização coerente em resposta a uma entrada de energia externa, cuja transição de estruturas não-coerentes para coerentes consiste numa tentativa de afastar o sistema do equilíbrio (SCHNEIDER; KAY, 1997).

Nos experimentos das células de Bénard, a superfície inferior de um líquido é aquecida e a superfície superior é mantida a uma temperatura mais baixa. O fluxo de calor inicial pelo sistema se dá por interação molécula-molécula. Quando o fluxo de calor alcança um valor crítico, o sistema torna-se instável e a ação molecular do líquido passa a ser coerente; surge a rotação convectiva, resultando em padrões de superfície hexagonais a espiralados coerentes e altamente estruturados (células de Bénard). Tais estruturas aumentam a velocidade de transferência de calor e de destruição de gradiente no sistema. A transição de estruturas não-coerentes para coerentes é a resposta do sistema às tentativas de afastá-lo do equilíbrio (SCHNEIDER; KAY, 1997, p.191).

Com o aumento do gradiente aplicado a determinados sistemas, aumenta também a habilidade do sistema de contrariar tais gradientes, isto é, de se opor a outros distanciamentos do equilíbrio, esse princípio proposto por Le Chatelier é um exemplo da segunda lei da termodinâmica reformulada<sup>26</sup>. Dessa forma, de acordo com Schneider e Kay (1997), quanto mais um sistema é distanciado do equilíbrio, mais ele desenvolve meios sofisticados para resistir a tal distanciamento, de modo que se as condições dinâmicas e/ou cinéticas possibilitarem, emergem processos de auto-organização para promover a dissipação de gradientes. Ainda de acordo com os autores, o surgimento de estruturas auto-organizáveis coerentes, portanto, é uma resposta de um sistema, na medida em que tenta resistir e dissipar gradientes externos que o levam ao afastamento do equilíbrio, ocasionando “ordem” a partir da “desordem” na formação de estruturas dissipativas.

Através dos estudos da termodinâmica do não equilíbrio em sistemas abertos, é possível revisitar os cenários onde se desenvolveram as rotas bioquímicas para a duplicação e tradução de ácidos nucleicos e demais macromoléculas indispensáveis à vida. Para Schneider e Kay (1997), a vida tem as suas origens no desenvolvimento de vias para a dissipação de gradientes térmicos e, devido a sua capacidade de reprodução, estratégias para manter as estruturas dissipativas em um ambiente físico flutuante também foram elaboradas. Assim, os autores

---

<sup>26</sup> A Segunda Lei Reformulada enfatiza que a lei do “aumento da entropia” não corresponde ao enunciado geral da Segunda Lei da Termodinâmica (SCHNEIDER; KAY, 1994).

argumentam que os sistemas vivos podem ser compreendidos como mini-tornados sofisticados, ou sistemas dissipativos dinâmicos, com memórias codificadas (DNA), que permitem a continuidade dos processos dissipativos, evitando, por exemplo, a reinicialização de todo o processo dissipativo mediante a eventos estocásticos.

Nessa perspectiva, o crescimento, o desenvolvimento e a evolução biológica são respostas dissipativas aos gradientes de energia induzidos pelo Sol. Ainda de acordo com Schneider e Kay (1994), o crescimento biológico resulta do acréscimo de mais dos mesmos tipos de vias de degradação de gradientes no sistema, e o desenvolvimento biológico ocorre quando emergem novos tipos de vias de degradação de gradientes energéticos. De modo que, quanto maior o sistema, maior a sua atividade de fluxo energético, mais numerosas e diversificadas serão as reações e as rotas disponíveis para a degradação do gradiente.

Considerando o ciclo de constante interação dos seres vivos com o ambiente, vale reiterar o papel essencial do gene na preservação de informações para estratégias de auto-organização que funcionam, tendo em vista a continuidade da vida<sup>27</sup>. Isto implica que a vida envolve a dialética entre os processos: “ordem a partir da desordem para gerar vida, e ordem a partir da ordem para dar-lhe continuidade” (SCHNEIDER; KAY, 1997, p.198).

Em o “Método II – A vida da vida”, Morin (2005a), apresenta e discute os termos *genos* e *fenon*, que embora distintos, são inseparáveis nos processos de auto-organização. O termo *Genos* refere-se ao genético, ao gerador, ao regenerador, a memória informacional inscrita no DNA, o dispositivo que gera as decisões e instruções celulares, correspondendo a organização da organização. Já *Fenon*, engloba as atividades produtoras, as trocas, o metabolismo, a homeostasia, a reação, a sensibilidade, o comportamento, correspondendo, portanto, a relação e a organização auto-ecológica. Daí o termo auto – eco – *genos – fenos* – organização.

De lado de *genos*, a ordem quase cristalina do DNA, cujas estruturas são extraordinariamente estáveis. Do lado de *fenon*, a instabilidade e a aptidão para as ligações e transformações moleculares das proteínas. Do lado de *genos*, uma “estrutura” químico-informacional parecendo formar “programas”. Do lado de *fenon*, uma “máquina” termodinâmica com dissipações, flutuações, *turnover*. Do lado de *genos*, o desdobramento, o redobramento, a repetição. Do lado de *fenon*, a unicidade individual, a irreversibilidade do nascimento até a morte, a metamorfose (MORIN, 2005a, p.135).

Segundo Odum e Barret (2007), toda a biosfera possui a propriedade termodinâmica essencial para a criação e a manutenção de estados internos altamente organizados, isto é, uma

---

<sup>27</sup> No texto “Ordem a partir da desordem: a termodinâmica da complexidade biológica”, Schneider e Kay (1997), discorrem sobre os dois processos fundamentais de uma provável origem e evolução dos organismos vivos.

baixa entropia interna, a qual é adquirida por meio da contínua dissipação de energia de alta utilidade (e.g. luz ou alimentos), em energia de baixa utilidade (e.g. calor). Em um ecossistema, por exemplo, a organização se mantém por meio da respiração da biomassa altamente complexa e organizada, que “expulsa” continuamente a “desordem”, consistindo, assim, numa “estrutura dissipativa ecossistêmica”. Desse modo, de acordo com os referidos autores, organismos e ecossistemas são sistemas abertos longes do equilíbrio termodinâmico, numa troca contínua de energia e matéria com o ambiente para reduzir a entropia interna e elevar a entropia externa.

Conforme o seu crescimento e desenvolvimento, os ecossistemas aumentam sua dissipação total e desenvolvem estruturas mais complexas com maior fluxo energético, aumentando a sua atividade de ciclagem e desenvolvendo maiores diversidades e mais níveis hierárquicos para viabilizar a degradação de energia<sup>28</sup>. Nesse sentido, a sobrevivência das espécies nos ecossistemas está relacionada a sua capacidade de canalizar energia tanto para sua própria produção e reprodução como para contribuir com os processos de autocatalização de modo a aumentar a dissipação total do ecossistema, isto é, de acordo com o paradigma termodinâmico, o aumento sistemático da capacidade de degradação da energia solar é a chave para o desenvolvimento dos ecossistemas – exceto os ecossistemas de ventilação do fundo do mar, os quais obtêm energia através da temperatura e dos gradientes químicos que emanam dos fundos marítimos (SCHNEIDER; KAY, 1994).

As mudanças energéticas estão diretamente interligadas com a biodiversidade. Se não ocorressem as transferências de energia, as sucessivas mudanças essenciais à vida, tais como, crescimento, autoduplicação e síntese de moléculas complexas, não seriam possíveis (ODUM; BARRET, 2007). Assim, a dissipação de gradientes energéticos impulsionou a evolução biológica, uma vez que favoreceu o surgimento de organismos cada vez mais complexos. É provável que as primeiras estruturas dissipativas tenham surgido a partir de eventos aleatórios, e que a seleção natural tenha se encarregado de manter as estruturas que dissipavam energia de modo cada vez mais eficiente, aumentando, assim, a complexidade, sendo estas estruturas transmitidas através da informação genética (FILHO; PENHA-SILVA, 2005).

Se olharmos para a escala evolutiva, os organismos que surgiram mais recentemente são os que mais dissipam energia, conforme relatam Filho e Penha-Silva (2005). Tal evidência, de acordo com os autores, pode ser constatada através da taxa metabólica de animais homeotérmicos (regulam a sua temperatura corporal, mantendo-a praticamente constante – aves

---

<sup>28</sup> Em *Life as a manifestation of second law*, Schneider e Kay (1994) explicam o paradigma termodinâmico a partir do crescimento e do desenvolvimento dos ecossistemas.



e mamíferos, por exemplo) e pecilotérmicos (temperatura corporal varia de acordo com as condições ambientais – invertebrados, peixes, anfíbios e répteis, por exemplo). Evolutivamente, os pecilotérmicos surgiram primeiro do que os homeotérmicos, e a dissipação de energia através da taxa metabólica entre esses dois grupos evidencia que os homeotérmicos demandam muito mais energia, uma vez que para a regulação da sua temperatura interna é necessária uma produção de energia térmica que exige um metabolismo mais intenso do que o observado nos pecilotérmicos (idem, 2005).

Segundo Odum e Barret (2007), as inter-relações entre produtores e consumidores, predadores e presas, bem como os inúmeros tipos e formas de organismos em um ambiente, são limitadas e controladas pelo fluxo de energia de formas concentradas (complexificação) para dispersas (descomplexificação). Assim, para os autores, “a humanidade é apenas uma das notáveis proliferações naturais que dependem da entrada de um fluxo contínuo da energia concentrada”. De acordo com a lei da entropia e em contraste com o comportamento cíclico da matéria, as transformações de energia são unidirecionais, por isso a transferência de energia ao longo da cadeia alimentar de um ecossistema é denominada de *fluxo de energia*, de modo que, a cada etapa da transferência da energia de um organismo para outro, uma grande parte da energia é dissipada na forma de calor, diminuindo a quantidade de energia disponível, assim, a qualidade da energia restante pode ser consideravelmente aumentada. Dessa maneira, a entropia não é de todo negativa (ODUM; BARRET, 2007).

A dissipação do gradiente térmico recebido pela Terra advindo da radiação solar, inicia-se com as plantas, as quais aproveitam fotossinteticamente uma parte muito pequena da energia que recebem do sol (menos de 1%), a maior parte é transformada em calor, que então sai da planta, do ecossistema, e da ecosfera, através de processos de evapotranspiração, por exemplo (ODUM; BARRET, 2007). Assim, de acordo com os autores, através das substâncias orgânicas produzidas nos processos de fotossíntese das plantas ou da quimiossíntese dos microrganismos, o mundo biológico restante obtém energia química potencial.

De modo geral, gradativamente, essa energia que as plantas incorporam é degradada na cadeia alimentar, de modo que, quanto maior a quantidade de espécies, maior o número de caminhos pelos quais a energia pode ser dissipada, isso explica, por exemplo, o porquê de a biodiversidade ser maior no Equador: “esta é a região da Terra que recebe maior influxo de energia, devido ao ângulo, praticamente perpendicular, de incidência da radiação vinda do sol” (FILHO; PENHA-SILVA, 2005, p.36)<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> Cabe salientar que esta é uma das compreensões para este fenômeno baseada nos estudos termodinâmicos, conforme relatado por Filho, Penha-Silva (2005).

Em suma, do ponto de vista termodinâmico, os ecossistemas se desenvolvem de modo a aumentar a quantidade de exergia capturada e utilizada. Conforme se desenvolvem, há uma diminuição da quantidade de exergia da energia que sai, e assim, os ecossistemas passam a utilizar de maneira mais eficaz a exergia da energia que entra e, de modo simultâneo, a quantidade de energia que é capturada também aumenta (SCHNEIDER; KAY, 1994). À medida que a energia é absorvida e concentrada, há um aumento na diferenciação e na complexidade, caracterizando, segundo Di Corpo e Vannini (2012), a Lei da Sintropia. Assim, entropia e sintropia são forças opostas, porém complementares, uma vez que, enquanto a primeira refere-se a medida quantitativa da irreversibilidade, a “desordem”, aos possíveis estados que um sistema pode assumir, a segunda diz respeito ao acúmulo de energia, a organização, conduzindo a diversidade de nichos ecológicos, por exemplo.

Nesse sentido, podemos ainda dizer que os ecossistemas tendem naturalmente a uma interação sinérgica, ou seja, uma interação entre os diversos seres vivos e demais componentes físico-químicos para a manutenção do equilíbrio estacionário da Terra, considerada como um superorganismo de acordo com a Teoria de Gaia, proposta por Lovelock (2010). Por outro lado, ecossistemas estressados tendem a apresentar menor potencial de degradação de energia e se assemelham aos primeiros estágios de sucessão ecológica, os quais, por sua vez, estão mais próximos do equilíbrio termodinâmico. Por exemplo, imaginemos uma pedreira, uma floresta recente e uma floresta antiga que recebem a mesma quantidade de energia solar por unidade de tempo. Considerando que quanto maior a complexidade de um ecossistema, mais eficiente ele se torna na degradação de energia solar, liberando menor radiação infravermelha, que resulta em uma temperatura de superfície menor, a pedreira irradiará mais radiação infravermelha do que a floresta recente, que, por sua vez irradiará mais que uma floresta antiga (FILHO; PENHA-SILVA, 2005).

Nesse contexto, cabe destacar, alguns desequilíbrios que vêm sendo provocados através das atividades da espécie humana nos ecossistemas, tais como: (a) o crescente desmatamento e queimadas de florestas - como a Amazônia para instituir sistemas de monoculturas com uso intensivo de agrotóxicos e tecnologias agressivas ao ambiente; (b) contaminação das nascentes hídricas; e, (c) o aumento da emissão de gases de efeito estufa. Esse tipo de interação interfere diretamente na ciclagem da matéria, levando a ruptura dos ciclos biogeoquímicos, tais como, o ciclo do carbono, da água, do nitrogênio. Provocando, de acordo com Leite e Silva (2020), rupturas ecossistêmicas que conduzem a um colapso ambiental.

O aquecimento global, por exemplo, é um fenômeno influenciado diretamente pelo ser humano, englobando os fatores acima mencionados e vários outros. Conforme exposto, a

vegetação cria condições para manter o clima, o desmatamento intensivo da Amazônia pode levá-la a um ponto de não retorno<sup>30</sup> às suas condições iniciais, pois a capacidade de autorregulação dos ecossistemas também é limitada<sup>31</sup>. Isto implica que nesse ritmo de degradação o Bioma Amazônia está próximo de se tornar uma espécie de Savana<sup>32</sup>. As ações da espécie humana, nesse sentido, estão provocando crescente estresse de animais e plantas, o que induz a liberação de inúmeros microrganismos patógenos, tais como os vírus<sup>33</sup>.

É urgente que a espécie humana desenvolva outros modos de se relacionar com a natureza, em especial com a floresta tropical amazônica<sup>34</sup>. A restauração de áreas degradadas através da agricultura regenerativa ou dos sistemas agroflorestais, praticada há muito tempo pelos povos originários, constitui uma alternativa para reestruturar a biodiversidade, mitigar as mudanças climáticas, promover autonomia e soberania alimentar, bem como gerar renda sustentável, proporcionando melhores condições de vida para a população, e, termodinamicamente, contribuindo para que os ecossistemas possam atuar de maneira sinérgica.

Para Kelson e Haken (1997), os conceitos físicos da formação auto-organizada de padrões, isto é, a sinérgica, fornecem uma base para compreender os seres vivos e as suas inter-relações com o ambiente. No final do século XX, os autores salientaram que embora as leis fundamentais da física e da química sejam válidas para a Biologia, a sua estrutura conceitual ainda é muito restrita, sendo necessário elaborar novos conceitos que transcendam a mera descrição microscópica de sistemas.

Longe de esgotar as discussões sobre este assunto, que consideramos instigante e fundamental para o diálogo entre as ciências e a vida de maneira geral, e que além de requerer um tempo maior de aprofundamento, maturação e compreensão, está em constante metamorfose, destacamos que a ideia de auto-organização, de acordo com Morin (2005a), está dividida entre Termodinâmica e Biofísica, sem ainda ter realizado a sua efetiva incursão no

---

<sup>30</sup> Neste ponto, o ecossistema não é capaz de funcionar, de acordo com especialistas em Amazônia como Carlos Nobre em entrevista para a *BBC News*. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-51317040>.

<sup>31</sup> Na Teoria de Gaia, Lovelock (2010) discute as limitações de autorregulação da Terra.

<sup>32</sup> Porém, de acordo com o pesquisador Carlos Nobre, seria uma espécie de “savana pobre”, pois a degradação da floresta tropical pode fazer com que esse ecossistema perca biodiversidade. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-51317040>.

<sup>33</sup> Cientistas como Carlos Nobre e Vandana Shiva vêm questionando os modos de relação do ser humano com a natureza e enfatizando a conexão entre a degradação e destruição dos habitats, dos biomas e dos ecossistemas com o surgimento de pandemias, por exemplo.

<sup>34</sup> Idem 31.

pensamento biológico, permanecendo marginalizada com relação à teoria da vida. Mesmo que a história da auto-organização não seja assim tão recente, conforme descreve Keller (2009), continua sendo uma ideia nova, nascente, abstrata para a pesquisa empírica e prematura para uma aplicação prática, e, além disso, ainda não se auto-organizou conceitualmente.

#### **2.4. Biofísica: uma Física Biológica ou uma Biologia Física?**

O que é a Biofísica?<sup>35</sup> Uma Física Biológica? Uma Biologia da Física? Segundo a *Biophysical Society*<sup>36</sup>, a Biofísica é o campo que aplica as teorias e métodos da física para entender como os sistemas biológicos funcionam. Mas, em que medida a metodologia e os conceitos físicos são modelos apropriados para as Ciências Biológicas? Os fenômenos e conceitos biológicos têm equivalentes nas Ciências Físicas?<sup>37</sup> Segundo Mayr (1998), uma variedade de cientistas da área da Física, defendiam que todos os conhecimentos da Biologia poderiam ser explicados ou reduzidos às leis da Física. Em contrapartida, biólogos assumiram uma postura de autodefesa, reivindicando a autonomia da Biologia, o que gerou uma resistência considerável tanto de cientistas da física, como da filosofia essencialista. Embora esse movimento por uma Biologia como ciência autônoma, tenha ganhado força nas últimas décadas, Mayr (1998) afirma que o diálogo entre as ciências biológicas e físicas ainda é marcado por muitas controvérsias.

As investigações científicas no campo da Biofísica, por meio de instrumentos físicos, e a explicação de seus resultados utilizando conceitos físicos e matemáticos, têm sido realizadas desde 1840, e, como componente curricular, ela se estabeleceu apenas a partir da década de 1920, se não na década de 1940 (BISCHOF, 1996). No Brasil, temos como marco a fundação do Instituto de Biofísica, no Rio de Janeiro, em 1945 (ALMEIDA, 2012). A compreensão de que a Biofísica consiste no estudo dos fenômenos físicos aplicados à Biologia, ou na aplicação de leis físico-químicas da natureza não-viva, para o melhor entendimento dos sistemas biológicos, corresponde a uma abordagem reducionista que, para Bischof (1996), pode explicar o fracasso da Biofísica em desenvolver uma teoria da vida. O autor salienta que em 1940, J. R.

---

<sup>35</sup> O trabalho de Bischof (1996) pode ser considerado um marco nessa discussão.

<sup>36</sup> A Sociedade Biofísica foi fundada na década de 1950 para liderar o desenvolvimento e a disseminação do conhecimento em Biofísica por meio de atividades, reuniões, publicações, divulgação, bem como sensibilização da comunidade científica e demais profissionais (<https://www.biophysics.org/about-bps/society-s-history>).

<sup>37</sup> Indagações levantadas por Mayr (1998), conforme se segue.

Loofbowrow, escreveu que “não há um acordo explícito, nem mesmo entre biofísicos, sobre o que o termo biofísica representa”.

Ainda nas primeiras décadas do século XX, segundo Capra (2009), houve um intenso debate entre os mecanicistas e vitalistas acerca dos fenômenos biológicos. Por um lado, os mecanicistas afirmavam que todos os fenômenos biológicos poderiam ser explicados pelas leis da física e da química. Por outro, os vitalistas defendiam a inserção de uma “força vital” a essas leis, constituindo um elemento extrafísico dos fenômenos biológicos. Décadas depois, a ideia resultante desse debate, foi que, para uma compreensão plena dos fenômenos biológicos, era preciso abordá-los em três níveis descritivos: a biologia dos fenômenos observados, as leis da física e da bioquímica e a dinâmica não-linear dos sistemas complexos (CAPRA, 2009).

De acordo com Torres (2011, *p.69*), os sistemas biológicos não são estruturas reticulares estáticas. Os estudos relacionados à Termodinâmica do não-equilíbrio, formalizada por Prigogine, possibilitaram uma aproximação para discutir uma pergunta recorrente no campo das Ciências Biológicas: “O que é vida?”. Para o autor, qualquer que seja a química em que se baseia qualquer forma de vida, sistemas biológicos são sistemas dinâmicos, isto é, os seres vivos consistem em sistemas abertos em contínua troca de matéria, energia e informação com o ambiente, o que significa uma mudança contínua, uma vez que os sistemas biológicos têm a capacidade de emitir respostas a estímulos externos e internos, tendo, portanto, a capacidade de se adaptar e aprender.

Tendo em vista que a Biofísica tradicional tem sido, até agora, baseada na física clássica e na termodinâmica do equilíbrio, Bischof (2003) evidencia a necessidade de repensar essa área, em termos da revolução trazida pelos experimentos e interpretações da Física Quântica e da Termodinâmica do não-equilíbrio, por exemplo. Os conceitos de irreversibilidade temporal e auto-organização que emergem com a Termodinâmica dos sistemas afastados do equilíbrio, nos conduz aos estudos da Termodinâmica da Complexidade Biológica, e suscita o questionamento levantado por Keller (2009, *p.1072*): “a Biologia está sendo reduzida a Física, ou a Física está sendo revivida, ressignificada, com a infusão dos processos da vida?”<sup>38</sup>

Na ausência de uma uniformidade sobre o que constitui a Biofísica, Bischof (2003) afirma que é possível pensar em uma redefinição desse campo, considerando a diversidade de tendências recentes que convergem para esse conceito. A Biofísica que emerge com os estudos termodinâmicos dos sistemas vivos, evidencia a necessidade de se pensar uma “nova

---

<sup>38</sup> Tradução nossa.

Biofísica<sup>39</sup>”, ou uma Biofísica integral. Segundo o referido autor, uma Biofísica integral consiste na percepção da interconexão fundamental dentro do organismo, bem como entre os organismos, e dos organismos com o ambiente, direcionando ao reconhecimento de que o estudo da vida pode fornecer “*insights*” sobre leis físicas básicas mais fundamentais do que as obtidas a partir de investigações da matéria não viva. Assim, uma compreensão da física dos seres vivos, não implica que a física deva substituir, mas sim apoiar uma compreensão biológica mais ampla e aprofundada, desenvolvendo uma teoria adequada da vida e equilibrando o domínio e a compreensão da vida (BISCHOF, 2003).

É importante salientar que não temos o propósito de apresentar alguma definição ou delimitação a respeito *das Biofísicas*, uma vez que tentar polarizar a Biologia e a Física ou promover uma unificação, poderia nos levar a uma redução mutiladora, a um pensamento simplista ou reducionista, tal como discute Morin (2005b). É importante destacar que um ponto fundamental nas ciências da complexidade, de acordo com Capra (2012), é a compreensão das propriedades emergentes. De modo sucinto, a emergência corresponde às peculiaridades dos sistemas, que, por mais completos que pareçam ser, não podem ser deduzidos, ou reduzidos, aos conhecimentos das suas partes, em separado ou em combinações parciais, nem mesmo de modo teórico, ou seja, com a integração de várias partes em um sistema novas propriedades surgem<sup>40</sup>.

Para elucidar essa discussão, Almeida (2017), apresentou a colocação de Hubert Reeves, que diz respeito às novas propriedades emergentes nas combinações, que não existiam em absoluto nos elementos isolados, por exemplo, “a molécula de água é um excelente solvente, que não é de forma alguma o hidrogênio e o oxigênio que a compõem”, sendo um equívoco tentar explicar as propriedades da água a partir das propriedades do hidrogênio e oxigênio em separado, em suas particularidades. De modo semelhante, a Biologia e a Física possuem aspectos particulares intrínsecos que as constituem como áreas de construção do conhecimento científico, com os seus objetos de estudos e especificidades.

*As Biofísicas que emergem*, portanto, não são de forma alguma estritamente física ou biológica e vice-versa, ou apenas, uma mera aplicação de conceitos e definições de uma área a

---

<sup>39</sup> A abordagem da nova Biofísica proposta por Bischof (2003), é fundamentada na teoria quântica (sendo denominada também como “biologia quântica”), e na termodinâmica do não-equilíbrio, onde os organismos são compreendidos como sistemas abertos longe do equilíbrio. Assim, o autor destaca conceitos ou características centrais de uma Biofísica integral, a saber: a coerência, os estados quânticos macroscópicos, as interações de longo alcance, a não-linearidade, a auto-organização e a autorregulação, as redes de comunicação, os modelos de campo, a interconectividade e a inclusão da consciência.

<sup>40</sup> Ver Almeida (2017) e Capra (2012), por exemplo.

outra, mas surge com novas propriedades e características, constituindo um campo do saber científico onde é necessário, tal como discute Minayo (2011), uma triangulação de perspectivas, métodos, técnicas e análises que propiciem uma compreensão, interpretação e explicação da problemática ou temática a que se propõe.

## **2.5. Abordagens de conteúdo das Biofísicas: reflexões a partir dos livros-texto**

Considerando que os livros-texto são amplamente utilizados como referenciais por estudantes e docentes, torna-se indispensável refletir sobre as abordagens dos assuntos relativos à Biofísica nestes materiais. De modo geral, as diferentes interpretações e tendências sobre o que exatamente é a Biofísica e a abrangência deste campo, está refletida em uma série de livros-texto contemporâneos e introduções de Biofísica, bem como na variedade nos títulos dos livros, que além da Biofísica, incluem, “Física Médica”, “Física Médica e Biológica”, “Biologia Física”, “Bases Físicas da Medicina e da Biologia”, por exemplo (BISCHOF, 2003).

A bibliografia recomendada para os cursos de Biofísica apresenta tópicos diversos e complexos, dentre os quais destacam-se a Biomecânica, Bioeletricidade, Radiação, Biotermodinâmica, dentre outros (MUÑOZ; FLORES; CASSIBA, 2011). Analisando esta bibliografia, os autores constataram que os guias de problemas e exercícios, que aparecem geralmente ao longo dos textos ou ao término de cada capítulo, referem-se principalmente, e quase que exclusivamente, a abordagens puramente físicas e essencialmente quantitativas, excluindo quase ou totalmente as questões referentes às ciências da vida. Além disso, evidenciaram que a Biofísica requer que tanto os aspectos físicos como biológicos sejam problematizados, sem que um campo se estabeleça sobre o outro, mas que sejam abordados através de uma perspectiva integral própria.

Ainda segundo os autores supracitados, a Biofísica não é um ramo da Física, nem da Biologia. Mas, independentemente dessas discussões epistemológicas, os problemas da Biofísica não são exclusivamente físicos, nem puramente biológicos, médicos ou fisiológicos. Os problemas da Biofísica, enquanto componente curricular, devem ser considerados de maneira integral<sup>41</sup>, uma vez que levar em conta apenas aspectos físicos ou biológicos implicaria cair no reducionismo. Por exemplo, resolver problemas exclusivamente para cálculo conduz a um reducionismo quantitativo e, na melhor das hipóteses, a Biofísica poderia estar sendo reduzida à Física Aplicada. Por outro lado, considerar apenas aspectos do tipo biológico-

---

<sup>41</sup> *Biofísicas integrais*, parafraseando Bischof (2003).

fisiológico-anatômico, de maneira geral resulta em uma redução descritiva e/ou qualitativa (MUÑOZ; FLORES; CASSIBA, 2011).

Refletindo sobre o que se ensina no componente de Biofísica, Corso (2009), destaca que os currículos dos cursos de graduação variam ao longo do país, sendo o componente curricular de Biofísica adaptado a realidade e/ou especificidades de cada curso. No que diz respeito a abordagem da Termodinâmica, o autor cita o livro-texto *Biofísica* escrito por Frumento (1974), no qual apenas um sétimo deste livro é dedicado para esse tema, sendo apenas uma pequena parte voltada a calorimetria animal que realmente interessa a área das Ciências Biológicas (CORSO, 2009). Ainda de acordo com o autor, dentre os principais livros-texto utilizados na universidade em que atua, destacam-se: Garcia (2002), Leão (1982) e Okuno et al (1982).

No exemplar *Biofísica Básica*, elaborado por Heneine (2008), a Termodinâmica é abordada no capítulo 3, da parte I do livro, correspondente a *Introdução à Biofísica*. Ao longo do capítulo, aspectos conceituais da Termodinâmica são elencados, referentes à Primeira e a Segunda Lei, ao conceito de Entropia, Entalpia e Energia Livre, aos tipos de reações e efeitos observados, bem como a importância da catálise para a existência da vida. Um espaço ao final, correspondente a “leitura complementar”, é destinado para abordar alguns aspectos da Termodinâmica aplicada aos Sistemas Biológicos, destacando tópicos como, energia e entropia em Biologia, bem como a relação entre entropia e a organização e informação em um sistema qualquer. Em seguida, em outra “leitura complementar”, apresenta-se a diferenciação entre sistemas abertos e fechados, e entre processos reversíveis e irreversíveis na termodinâmica.

No livro *Curso de Biofísica*, dos autores Mourão Júnior e Abramov (2009), o primeiro capítulo “Organização da natureza” é dedicado à Termodinâmica e aos seus conceitos fundamentais. Na maior parte do capítulo, os autores contextualizam os padrões de organização e sistemas da natureza, discorrem sobre as características dos sistemas, tais como complexidade, estabilidade, equilíbrio, ordem, auto-organização e sistemas dissipativos, discutindo ainda sobre a irreversibilidade do tempo e a entropia. Nas páginas finais, descrevem e conceituam as leis da Termodinâmica, que, para os autores, consistem em enunciados da fundamentação das ideias discutidas ao longo do capítulo.



## 2.6. Diálogos entre o ensino das *Biofísicas* e o pensamento complexo

As *Biofísicas* são componentes que integram o currículo de diversos cursos da área das Ciências Biológicas e da Saúde. É uma ciência *transdisciplinar*<sup>42</sup>, complexa, uma vez que os temas estudados nessa área são frequentemente incluídos em outras, como a Fisiologia, a Bioquímica, além de ter desenvolvido áreas específicas de estudos, tais como, Biofísica Molecular; Biofísica celular; Bioeletricidade; Radiobiologia; Biofísica Ambiental, Biomecânica, dentre outras (FRUMENTO, 1972; GARCIA, 2002; HENEINE, 2008; MOURÃO; ABRAMOV, 2009). É um componente que contribui para que estudantes compreendam e posicionem-se criticamente frente a sociedade em que vivem e no mundo, sendo fundamental em temas que referem-se à qualidade de vida, contaminação ambiental, cuidado da saúde, benefícios e riscos do desenvolvimento científico e tecnológico, assim como sua relação com a política (MUÑOZ; VALES; CASSIBA, 2010).

As pesquisas acerca do ensino-aprendizagem dos temas relativos às *Biofísicas* apresentam lacunas desafiantes para a compreensão dos conteúdos e/ou conceitos científicos que permeiam essa área. Cauduro e Ludke (2017) destacam: as abordagens restritas dos conceitos da Biologia ou da Física, sem a devida relação entre eles, a falta de docentes específicos da área, a carência ou ausência de propostas de alternativas didáticas nesse campo, e a escassez de pesquisadores e referenciais teóricos na área de Ensino de Biofísica.

Um dos maiores desafios da pesquisa em ensino de Biofísica está ligado a ausência de materiais bibliográficos e produções acadêmicas a respeito dessa temática (MOREIRA et al, 2018). Dentre as dificuldades de ensino deste componente observadas por docentes de Biofísica e apresentadas pelos autores supracitados, ressaltamos: a) Pouco conhecimento prévio do graduando, isto é, deficiências em Física e Matemática oriundas da educação básica, para lidar e identificar fenômenos biofísicos e os seus fundamentos físicos; b) Abordagem focalizada em memorização de fórmulas, conceitos, definições; c) Ausência de uma proposta pedagógica que seja significativa e suficientemente justificável para a formação em Ciências Biológicas.

Tendo em vista a dimensão emergente e transdisciplinar deste componente, Muñoz, Flores e Cassiba (2011), sugerem uma “didática da Biofísica”, para troca de ideias, discussões epistemológicas, construção de conteúdos específicos, desenvolvimento de materiais adequados, dentre outras atividades, com a finalidade de evidenciar a distinção entre a Biofísica e a Física para Ciências da Saúde, ou a Física de processos biológicos em geral. Assim, ainda

---

<sup>42</sup> A compreensão que apresentamos desta área é numa perspectiva transdisciplinar, conforme Minayo (2011).

de acordo com o referido autor, campos mais específicos também poderiam ser desenvolvidos, tais como ensino de Biomecânica, ensino de Bioeletricidade, ensino de Biotermodinâmica, entre outros.

Dentre as razões apresentadas pelos autores para a construção de uma didática da Biofísica, destacamos: a) A necessidade de reconhecer o lugar da Biofísica no design curricular, seus campos de aplicação, dentre outros; b) A importância de sondar os conhecimentos prévios dos estudantes, seus erros mais comuns, seus preconceitos, seus interesses e atitudes com relação a este componente, para melhorar a qualidade do ensino-aprendizagem de Biofísica; c) A compreensão de que a Biofísica não se reduz à memorização e aplicação de fórmulas e conceitos, sendo indispensável abrir espaço para as abordagens de situações reais, problematizando-as e contextualizando-as (MUÑOZ; FLORES; CASSIBA, 2011).

Além disso, uma didática da Biofísica pode colaborar no estabelecimento de relações com outros campos do conhecimento, como a História da Ciência, em particular da Biofísica, a didática geral, bem como da Física e da Biologia, a epistemologia da Biofísica, dentre outros. É importante destacar ainda que o incentivo a pesquisa sobre o ensino e a aprendizagem da Biofísica, sua divulgação científica, a adequada formação de professores, a produção de textos e softwares apropriados, a abordagem desse componente na educação escolar, e para a sociedade em geral, são aspectos relevantes de uma didática da Biofísica e pilares para o desenvolvimento tecnológico e científico de um país (MUÑOZ; VALES; CASSIBA 2010; MUÑOZ; FLORES; CASSIBA, 2011).

As discussões apresentadas por Muñoz, Flores e Cassiba (2011), a respeito de uma didática da Biofísica, são de suma importância para compreender e desenvolver um Ensino de Biofísica mais integrativo. Porém, neste trabalho, estamos distantes de propor uma didática que atenda a complexidade desta área. Quando levamos em consideração as múltiplas abordagens possíveis de acordo com a especificidade de cada curso e formação profissional, compreendemos que não existe uma Biofísica e uma receita de sucesso para ensinar Biofísica, existem *Biofísicas* dinâmicas que se conectam à dinamicidade curricular e aos contextos, tendo em vista que *as Biofísicas são componentes curriculares necessários* não apenas para o curso de Ciências Biológicas, mas também para outros cursos da área da Saúde, tais como Enfermagem, Fisioterapia, Medicina, dentre outros.

Segundo Morin (2005b), através da construção do conhecimento científico, elaboramos um universo de teorias, ideias, paradigmas, que remete tanto às esferas bioantropológicas do conhecimento, como ao seu enraizamento cultural, social e histórico. Sendo assim, a ciência não é o mero reflexo das leis da natureza, nós elaboramos. Assim, enquanto seres

simultaneamente físicos, biológicos, sociais, culturais, psíquicos e espirituais, a complexidade reside na tentativa de conceber a articulação, a identidade e a diferença, entre estes aspectos. Por outro lado, um pensamento simplificador ou reducionista, tende a separar estes diferentes aspectos ou promover uma unificação por meio de uma redução mutiladora (MORIN, 2005b).

De acordo com Almeida (2017), a proposta central de uma educação para a complexidade está na religação e compartilhamento da diversidade dos saberes. Para nós, pensar um Ensino *das Biofísicas* no âmbito da complexidade requer a compreensão de que a construção do conhecimento científico, assim como o processo de ensino-aprendizagem, é dinâmica, dialógica, com conexões múltiplas que metamorfoseiam em função das emergências. Esse processo proporciona o encontro de estranhezas e familiaridades, saberes desconhecidos e já conhecidos, tanto por estudantes, como docentes. Não se trata de improvisação, consiste em experiências de diálogos e intersubjetividades, reflexões de indivíduos abertos a aprender, reinventar, criar (FÁVERO; TAUCHEN, 2013; MORAES, 2008).

## **2.7. Considerações finais**

O ensino *das Biofísicas* numa perspectiva transdisciplinar ou complexa, aproxima-se da construção de um conhecimento que evidencia as articulações e/ou interconexões entre as proposições das ciências, entre os componentes curriculares e os diversos tipos de saberes e contextos, de modo a contribuir para compreensões e explicações mais profundas e amplas sobre determinada temática ou problemática a que se propõe.

Nesse sentido, a termodinâmica do não-equilíbrio em uma abordagem biofísica, evidencia que enquanto seres vivos, somos sistemas abertos, trocando constantemente matéria, energia e informação com outros seres vivos, com o ambiente que nos cerca e, conseqüentemente, com o universo, o qual só pode ser completamente isolado em termos hipotéticos. Enquanto seres vivos, também percebemos o ciclo básico da vida e que é impossível revertê-lo naturalmente, uma pessoa não nasce idosa, e uma pessoa idosa não se torna um bebê, de maneira espontânea, por exemplo. É possível notar, portanto, que todos os fenômenos que ocorrem na natureza são irreversíveis e que há uma assimetria nos eventos ou acontecimentos da nossa vida que nos permite perceber algo como passado, presente e futuro, semelhante a uma flecha do tempo que flui no sentido passado → futuro. Sendo o futuro alguma

coisa perto de indeterminado ou imprevisível, ou ainda com numerosas possibilidades, mesmo com todas as “previsões científicas” e estatísticas apontando que...<sup>43</sup>

Assim, vivendo em um ecossistema interconectado, interdependente, e em constante mudança, é fundamental pensar em nosso papel enquanto espécie humana. E isso implica que devemos compreender de maneira mais profunda as nossas conexões, tanto individuais – enquanto espécimes, como coletivas – enquanto espécimes da espécie humana – e as relações que estabelecemos com os ecossistemas de maneira geral. Visto que a sobrevivência das espécies nos ecossistemas está diretamente ligada à sua capacidade de canalizar energia para sua própria produção e reprodução, bem como para contribuir com a dissipação energética total do ecossistema. A interação dos seres humanos com a Natureza, fundamentada em princípios antropocêntricos, mecanicistas e militaristas, violam sistematicamente a integridade dos ecossistemas e das demais espécies<sup>44</sup>, diminuindo a capacidade de degradação energética dos ecossistemas. Ecossistemas estressados, por sua vez, se assemelham aos primeiros estágios sucessionais e estão mais próximos do equilíbrio termodinâmico.

À medida que, consoante a um modelo econômico antropocêntrico, mecanicista e globalizado, desmatamos, queimamos, contaminamos nascentes hídricas, invadimos o habitat de outras espécies e manipulamos animais e plantas, desrespeitamos a integridade dos ecossistemas e construímos um mundo interconectado através de doenças<sup>45</sup>. Em concordância com Vandana Shiva, ecofeminista e física indiana, a emergência sanitária e social intensificada com a pandemia da Covid-19, está intimamente relacionada com a degradação ambiental, com a extinção e o desaparecimento de espécies, bem como com as mudanças climáticas.

Nesse contexto, redesenhar uma compreensão do que *são as Biofísicas* a partir dos estudos da termodinâmica da complexidade biológica e as suas implicações para o ensino deste componente nas universidades, especialmente para o curso das Ciências Biológicas, implica na discussão de temas que influenciaram mudanças paradigmáticas não apenas no campo da Física, da Biologia e *das Biofísicas*, mas das ciências de maneira geral. Além disso, essa temática está intimamente relacionada ao surgimento da vida<sup>46</sup> e às maneiras como os

---

<sup>43</sup> A ideia aqui é refletir que mesmo que tenhamos 99,99% de confirmação sobre determinado evento ou fenômeno com fundamentos em métodos e experimentos científicos, o futuro ainda conta com um percentual de incerteza.

<sup>44</sup> Vandana Shiva discute como os modelos científicos, tecnológicos e educacionais contribuem e legitimam a degradação ambiental, que, por sua vez, geram e reproduzem pobreza e doenças, por exemplo.

<sup>45</sup> *Idem* 44.

<sup>46</sup> Cabe salientar que trata-se do surgimento da vida ponto de vista termodinâmico. Compreendemos que há uma multiplicidade de visões para este fenômeno.

ecossistemas se desenvolveram permitindo a evolução de outras espécies – incluindo a humana, bem como à capacidade de autorregulação e os limites que o superorganismo Gaia apresenta ao modelo econômico vigente, o que evoca outros modos de pensar e interagir tanto com a natureza, como socialmente.

Esperamos que as discussões apresentadas neste texto, possam subsidiar outras pesquisas na área de *Ensino das Biofísicas*, especialmente no que concerne a alternativas ou estratégias didáticas que levem em consideração a complexidade desta área. Além disso, esperamos que a termodinâmica da complexidade biológica em sua abordagem biofísica possa provocar reflexões sobre quais são os nossos próprios valores e princípios enquanto sistemas abertos afastados do equilíbrio, espécimes da espécie humana, uma dentre inúmeras outras espécies que habitam a Terra, ou, de que maneira estamos interagindo e contribuindo para que os ecossistemas possam atuar de maneira sinérgica. Enquanto docentes na área de educação em ciências, esperamos que essas discussões nos conduzam a um diálogo com mais empatia, à construção de relações equânimes fundamentadas no respeito e na ética do cuidado de modo a englobar os seres humanos e não-humanos. Desse modo, estaríamos construindo a base para uma consciência interconectada com a biodiversidade, um ponto de bifurcação para uma ética planetária.

## Referências

ALMEIDA, D. F. A contribuição de Carlos Chagas Filho para a institucionalização da pesquisa científica na universidade brasileira. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**. Rio de Janeiro; v. 19, n.2, p. 653 -668, 2012.

BIOPHYSICAL SOCIETY. **What is Biophysics?** Disponível em: <https://www.biophysics.org/about-bps/society-s-history>. Acesso em 14 de Fevereiro de 2019.

BISCHOF, M. Some remarks on the history of Biophysics (and its future). **Current Development of Biophysics**, v. 22, 1996.

\_\_\_\_\_. Introduction to integrative biophysics. In: POPP, F. A.; BELOUSSOV, L. **Integrative Biophysics – Biophotonics** (pp. 1 – 115). New York: Springer Science & Business Media Dordrecht, 2003.

BULLFINCH, T. **O livro de ouro da mitologia: história de deuses e heróis**. Tradução: David Jardim. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006.

CAPRA, F. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. 11ª ed. São Paulo: Cultrix, 2009.

\_\_\_\_\_. **O ponto de mutação: a ciência, a sociedade e a cultura emergente**. 30ª ed. São Paulo: Cultrix, 2012.

CAUDURO, P. J.; LUDKE, E. Revisão bibliográfica sobre o ensino de Biofísica: uma análise de artigos de 2004 a 2013. **Vivências**, v.13, n.24, p. 418 – 424, 2017.

CORSO, G. Os conteúdos das disciplinas de biofísica e a física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 2703.1 – 2703.4, 2009.

DI CORPO, U.; VANNINI, A. The New Thermodynamics and Life Energy. **Syntropy Journal**, v. 2, p. 33 – 46, 2012.

FÁVERO, A. A.; TAUCHEN, G. Epistemologia da complexidade e didática complexa: princípios e desafios. **Educação e Filosofia**. Uberlândia, v. 27, n.53, p. 175 – 192, 2003.

FILHO, M. S. G.; PENHA-SILVA, N. Uma Abordagem Termodinâmica da Vida. **Ciência Hoje**, v.37, n.221, p. 34 – 39, 2005.

FREIRE, W. H. C. **Termodinâmica para licenciatura, um roteiro**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2019.

FRUMENTO, A. S. **Biofísica**. México: Editora Intermédica, 1972.

GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. São Paulo: SARVIER, 2002.

GERMANO, M. G. **Uma nova ciência para um novo senso comum**. Campina Grande: EDUEPB, 2011.

HENEINE, I. F. **Biofísica Básica**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2008.

HERCULANO-HOUZEL, S. **A vantagem humana: Como nosso cérebro se tornou superpoderoso**. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

KELLER, E. F. Ecosystems, organisms, and machines. **BioScience**, v. 55, n.12, p. 1069 – 1074, 2005.

\_\_\_\_\_. Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization, Part Two. Complexity, Emergence, and Stable Attractors. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v.39, n.1, p. 1 – 31, 2009.

KELSON, J. A. S.; HAKEN, H. Novas leis antecipáveis no organismo: a sinérgica do cérebro e do comportamento. In: Murphy, M. P.; O'Neill, A. J. **O que é vida? 50 anos depois. Especulações sobre o futuro da biologia** (pp. 159 – 185). Tradução: Laura Cardellini Barbosa de Oliveira. São Paulo: UNESP, 1997.

LEÃO, M. A. C. **Introdução à Biofísica**. Recife, PE: Editora Universidade Federal de Pernambuco, 1970.

LEITE, D. A. R.; SILVA, L. F. A Temática Ambiental nos Cursos de Licenciatura em Física de Instituições de Ensino Superior Públicas Situadas no Estado de São Paulo. **Revista**

**Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 41 – 69, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u4169>. Acesso em 30 de Maio de 2020.

LOVELOCK, J. **The vanishing face of Gaia: A final warning**. New York: Basic Books, 2010.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança**. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 1998.

MEIS, L.; RANGEL, D. **A respiração e a 1ª lei da termodinâmica, ou, A alma da matéria**. Rio de Janeiro, RJ, 1998.

MINAYO, M. C. S. Da inteligência parcial ao pensamento completo: desafios da ciência e da sociedade contemporânea. **Política & Sociedade**, v.10, n.19, p. 41 – 56, 2011.

MORAES, M. C. O paradigma educacional emergente: implicações na formação do professor e nas práticas pedagógicas. **Em aberto**, v.16, n.70, 2008.

MOREIRA, C. H.; ROCHA, G. B.; TENÓRIO, A. C.; SILVA, R. M.; ROCHA, I. C. P. A Biofísica na formação do biólogo e a opinião dos docentes formadores da área. In: **Anais do 16º Congresso Internacional de Tecnologia na Educação**, p. 1 – 11. Recife, PE, 2018.

MORIN, E. **O método II: a vida da vida**. Porto Alegre: Sulinas, 2005a.

\_\_\_\_\_. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005b.

MOURÃO JÚNIOR, C. A., & ABRAMOV, D. M. **Curso de Biofísica**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2009.

MUÑOZ, J. C.; VALES, M.; CASSIBA, R. Hacia una Didáctica de la Biofísica distancia en el planteamiento de problemas de Física Aplicada y de Biofísica. Una propuesta em Biomecánica. En: **Libro de resúmenes de la 95º Reunión Anual de la AFA**, 2010.

MUÑOZ, J. C.; FLORES, M. V.; CASSIBBA, R. Por qué es necesaria una Didáctica de la Biofísica. **Anales AFA**, v. 23, n.1, 2011.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2: Fluidos Oscilações Ondas e Calor**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. Tradução da 5ª edição americana. São Paulo: Thompson, 2007.

PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. Tradução: Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996.

\_\_\_\_\_. **From being to becoming: time and complexity in the physical sciences**. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1980.

\_\_\_\_\_. Structure, Dissipation and Life. In: Marois, M. **Theoretical Physics and Biology** (pp. 23 – 52). Amsterdam: North-Holland, 1969.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança: metamorfose da ciência**. Tradução: Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 1997.

SANTOS, Z. T. S. **Ensino de entropia: um enfoque histórico e epistemológico**. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SANTOS, M. C. R. **Ilya Prigogine: estabilidade afastada do equilíbrio e irreversibilidade temporal**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Universidade Federal de Goiás, 2010.

SCHNEIDER, E. D.; KAY, J. J. Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and computer modelling*, v.19, n. 6 – 8, p. 25 – 48, 1994.

\_\_\_\_\_. Ordem a partir da desordem: a termodinâmica da complexidade biológica. In: Murphy, M. P.; O'Neill, A. J. **O que é vida? 50 anos depois. Especulações sobre o futuro da biologia** (pp. 186 – 201). Tradução: Laura Cardellini Barbosa de Oliveira. São Paulo: UNESP, 1997.

SCHRODINGER, E. **O que é vida? O aspecto físico da célula viva, seguido de mente e matéria e fragmentos autobiográficos**. Tradução: Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. São Paulo: UNESP, 1997.

TORRES, M. A. M. Biología de Sistemas... ¿qué biología de sistemas? **Encuentros en la Biología**, v. 4, n.136, p. 68 – 70, 2011.



### 3. PÓS-VERDADE E PANDEMIA DA COVID – 19: DIÁLOGOS COM A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA<sup>47</sup>

Mayara Gomes da Silva<sup>1</sup>  
[mayaragomesec@gmail.com](mailto:mayaragomesec@gmail.com)

Maria Ruthe Gomes da Silva<sup>2</sup>  
[maria.ruthe@ufba.br](mailto:maria.ruthe@ufba.br)

Márcia Adelino da Silva Dias<sup>1</sup>  
[adelinomarcia@yahoo.com.br](mailto:adelinomarcia@yahoo.com.br)

Karla Patrícia de Oliveira Luna<sup>1</sup>  
[karlaceatox@yahoo.com.br](mailto:karlaceatox@yahoo.com.br)

<sup>1</sup>Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia – UFBA

#### Resumo

O termo pós-verdade é frequentemente associado às disseminações de *fake news* e a visões negacionistas da ciência, como negacionismo climático e movimento antivacinas, por exemplo. Uma alternativa para lidar com o fenômeno da pós-verdade consiste em compreender as circunstâncias em que as desinformações surgem, bem como as comunidades nas quais esse fenômeno se enraíza. Além do negacionismo científico e da rápida disseminação de informações nas redes sociais, a configuração evolutiva da nossa própria estrutura mental proporciona um clima favorável para o atual cenário da pós-verdade. Excepcionalmente em tempos de pandemia do novo coronavírus, a não valorização e o descrédito do conhecimento científico apresenta sérios riscos à vida. Diante disso, procuramos discutir neste artigo o contexto da pós-verdade, as raízes psicológicas desse fenômeno a partir da teoria dual da mente, e, em seguida, refletir de que maneira a educação científica pode dialogar com esse fenômeno, essencialmente, no contexto da pandemia do novo coronavírus.

**Palavras-chave:** *fake news*, negacionismo científico, vieses cognitivos, educação em ciências, complexidade.

#### POSTVERDAD Y PANDEMIA DE LA COVID-19: DIÁLOGOS CON LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

#### Resumen

El término postverdad se asocia a menudo con la difusión de noticias falsas y visiones negacionistas de la ciencia, como negacionismo climático y movimiento antivacino, por ejemplo. Una alternativa para hacer frente al fenómeno de la postverdad consiste en comprender

---

<sup>47</sup> Trabalho submetido a Revista Del Centro de Investigaciones Educativas Paradigma (<http://revistaparadigma.online/ojs/index.php/paradigma/>) – Aguardando parecer.

las circunstancias en las que surgen las desinformaciones, así como las comunidades en las que se arraiga este fenómeno. Además del negacionismo científico y la rápida difusión de información en las redes sociales, la configuración evolutiva de nuestra propia estructura mental proporciona un clima favorable para el actual escenario de la post-verdad. Excepcionalmente en tiempos de pandemia del nuevo coronavirus, la falta de valorización y el descrédito del conocimiento científico plantea serios riesgos a la vida. Ante esto, tratamos de discutir en este artículo el contexto de la postverdad, las raíces psicológicas de este fenómeno a partir de la teoría dual de la mente, y luego reflexionar de qué manera la educación científica puede dialogar con ese fenómeno, esencialmente, en el contexto de la pandemia del nuevo coronavirus.

**Palabras clave:** noticias falsas, negacionismo científico, sesos cognitivos, educación en ciencias, complejidad

## **POST-TRUTH AND COVID-19 PANDEMIC: DIALOGUES WITH SCIENCE EDUCATION**

### **Abstract**

The term post-truth is often associated with the spread of fake news and denialist views of science, such as climate denialism and anti-vaccine movement, for example. An alternative to dealing with the phenomenon of post-truth is to understand the circumstances in which misinformation arises, as well as the communities in which this phenomenon takes root. In addition to scientific denialism and the rapid dissemination of information on social networks, the evolutionary configuration of our own mental structure provides a favorable climate for the current post-truth scenario. Exceptionally in times of pandemic of the new coronavirus, the non-revaluation and discrediting of scientific knowledge presents serious risks to life. Therefore, we seek to discuss in this article the context of the post-truth, the psychological roots of this phenomenon from the dual theory of the mind, and then reflect on how scientific education can dialogue with this phenomenon, essentially in the context of the new coronavirus pandemic.

**Keywords:** fake news, scientific denialism, cognitive biases, science education, complexity.

### **3.1. Introdução**

Frequentemente vemos a associação direta do termo pós-verdade às disseminações de desinformações/fake news, ao negacionismo científico, aos movimentos antivacinas e às teorias da conspiração, por exemplo. No sentido lexical, de acordo com o dicionário Oxford (2016), a palavra pós-verdade é definida como “relacionando ou denotando circunstâncias nas quais fatos objetivos são menos influentes na formação da opinião pública do que apelos à emoção e crença pessoal”. No âmbito das publicações acadêmicas, não há uma homogeneidade de compreensões a respeito do fenômeno da pós-verdade. Embora o volume de discussões acerca dessa temática

seja crescente nos últimos anos, as pesquisas que discutem o papel da educação científica nesse contexto ainda são incipientes.

Uma maneira de encontrar subsídios para lidar com a pós-verdade é, de acordo com Latour (2018), compreender as circunstâncias em que as desinformações surgem, bem como as comunidades nas quais esse fenômeno se enraíza. Além do negacionismo científico e da rápida disseminação de informações pelas mídias sociais, McIntyre (2018) destaca que, uma das raízes mais profundas da pós-verdade são os vieses cognitivos, os quais consistem em predisposições mentais que atuam distorcendo a realidade. Esses vieses estão relacionados a evolução do cérebro humano, evidenciando que não somos tão racionais como pensamos e que a nossa própria estrutura mental influencia na seleção e na avaliação de informações, bem como condicionam as nossas percepções.

Nesse sentido, nem mesmo os paradigmas e as teorias científicas estão imunes à influência dos vieses cognitivos, bem como às inscrições contextuais e socioculturais inerentes à construção do conhecimento. Entretanto, na produção de conhecimento científico, uma das maneiras de detectar erros e minimizar as influências dos vieses é através das “práticas comunitárias”, tais como: revisão por pares, replicação das pesquisas e o compartilhamento de dados. É nessa perspectiva que, para Morin (2000), o papel da educação científica é evidenciar que não existe conhecimento isento de erros e ilusões, e fornecer subsídios para identificar as origens dos erros, das ilusões e das cegueiras paradigmáticas.

Excepcionalmente, em tempos de pandemia do novo coronavírus, intensamente marcado pelas mudanças climáticas e disseminações de *fake news*, a rejeição do conhecimento científico pode apresentar riscos altos à vida, o que nos leva a focar nas consequências que o fenômeno da pós-verdade pode gerar e nos caminhos que a educação científica pode percorrer para ajudar as pessoas a utilizarem os conhecimentos científicos de maneira apropriada em seus contextos socioculturais.

Diante disso, ao longo deste trabalho, temos a finalidade de discutir o contexto da pós-verdade, as raízes psicológicas desse fenômeno a partir da teoria dual da mente, e, em seguida, refletir de que maneira a educação científica pode dialogar com esse fenômeno, essencialmente, no contexto da pandemia da Covid-19.

### **3.2. Pós-verdade em contexto**

Neste tópico, discutiremos o fenômeno da pós-verdade, tendo como aporte teórico os trabalhos de Horsthemke (2017), McIntyre (2018), Vogelmann (2018), Feinsten e Waddington

(2020). Embora esses autores apresentem visões distintas acerca desse fenômeno, consideramos que isso não é um fator limitante, pelo contrário, pode nos proporcionar uma compreensão ampla e plural a respeito dessa temática.

Apesar do termo pós-verdade ter sido cunhado em 1992 pelo roteirista e dramaturgo Steve Tesich, para apontar a aceitação silenciosa dos norte-americanos em relação às mentiras administrativas de George Bush, e tendo em 2004 a publicação do primeiro livro que utilizava como título “a era pós-verdade” por Ralph Keyes, essa expressão passou a tomar uma maior dimensão no cenário sociopolítico a partir de 2016, período no qual foi eleita tanto pelos Dicionários Oxford, como pela Sociedade da Língua Alemã, como a palavra do ano (VOGELMANN, 2018).

Tomando por base os Dicionários Oxford, Horsthemke (2017, p.2)<sup>48</sup>, destaca que a palavra pós-verdade, como adjetivo, é definida como “relacionando ou denotando circunstâncias nas quais fatos objetivos são menos influentes na formação da opinião pública do que apelos à emoção e crença pessoal”; como substantivo, refere-se a um fato ou estado, um período ou situação em que a persuasão emocional é mais importante do que os fatos.

Com popularidade crescente na mídia e nos diversos campos de pesquisas, este termo é frequentemente associado às disseminações de *fake news*, de propagandas e de visões negacionistas da ciência, como negacionismo climático e movimentos antivacinas. No entanto, para Hendricks e Vestergaard (2017), a pós-verdade remete a um conceito mais complexo do que a “simples” disseminação de mentiras e propagandas, pois pressupõe uma desvinculação com o real, com o factual e com o objetivo, sugerindo, portanto, a adequação ou mesmo a mudança dos fatos baseado na maneira como as pessoas reagem a eles. Essa afirmação corrobora com a visão de McIntyre (2018), o qual evidencia a pós-verdade como um fenômeno no qual crenças e impressões direcionam a constituição de uma outra realidade, uma realidade alternativa.

Por outro lado, Vogelmann (2018) afirma que embora possua uma definição lexical, não há um consenso conceitual sobre a pós-verdade. Ainda de acordo com o autor, o conceito de pós-verdade é perigoso, tanto epistemicamente como politicamente, pois a simplificação da relação entre verdade e política pode levar a compreensões distorcidas ou errôneas e incentivar o autoritarismo.

Em se tratando das questões epistemológicas, reiteradamente, membros da comunidade científica vêm sendo responsabilizados por subsidiar teoricamente o clima da pós-verdade

---

<sup>48</sup> Tradução nossa.

(e.g. pós-modernistas, construtivistas, pós-colonialistas, feministas) por tratar a verdade, os fatos e a racionalidade com desdém. É nesse contexto que Horsthemke (2017), salienta que o prefixo “pós” do termo pós-verdade não corresponde a “depois” - em um sentido temporal - mas indica uma atmosfera em que a verdade foi suplantada, tornando-se, portanto, irrelevante.

No entanto, segundo Vogelmann (2018), não encontraremos uma “era da verdade” anterior, nem critérios que permitam datar a transição de um período em algum lugar na história no qual a verdade existiu e foi suplantada. Além disso, de acordo com Feinstein e Waddington (2020), afirmar que existe uma verdade intensifica o problema da pós-verdade, levando a compreensões errôneas ou distorcidas das ciências e do processo de construção do conhecimento científico. Nesse caso, o que torna uma pós-verdade preocupante são as consequências sociais negativas de crenças discrepantes daquelas apresentadas pela comunidade científica (FEINSTEIN; WADDINGTON, 2020).

Ainda no que concerne aos fatores sociais e históricos que subsidiaram o surgimento do fenômeno da pós-verdade, McIntyre (2018) destaca o ceticismo científico e as rápidas mudanças no âmbito midiático. De acordo com o referido autor, o fortalecimento do ceticismo em relação à ciência se deu principalmente por meio das empresas de tabaco, reforçadas em seguida pelas empresas petrolíferas, as quais lançaram dúvidas em relação aos trabalhos científicos que alertavam sobre os perigos do uso do tabaco, e até que ponto as ações humanas influenciavam as mudanças climáticas. Cabe destacar que essas empresas não financiaram estudos para refutar o trabalho de cientistas, mas para confundir propositalmente as pessoas sobre a validade dos estudos científicos e sobre os consensos formados a respeito dessas questões. Tais empresas ficaram conhecidas como “comerciantes de dúvidas”.

Em relação ao segundo fator, McIntyre (2018) evidencia que, numa tentativa de reposicionamento no mercado digital, empresas tradicionais de notícias passaram a produzir intensamente os conteúdos desejados por seus clientes, isto é, informações que estivessem alinhadas com suas crenças pessoais, corroborando-as ou confirmando-as, por exemplo. Além disso, com o advento das mídias sociais o desfoque entre notícias e opiniões também se intensificaram, uma vez que as pessoas passaram a compartilhar histórias de diversas fontes (e.g. blogs, sites alternativos) sem se preocupar em checar a procedência das informações.

O resultado disso é uma fragmentação e uma polarização que contribuem expressivamente para o declínio da democracia em uma sociedade. Essa polarização torna-se mais ampla devido ao “transbordamento epistêmico”, isto é, através de discordâncias entre opiniões políticas, as pessoas estendem as suas desconfianças para domínios que estão além do político, levando a formação de “silos políticos”, que, por sua vez, favorecem a construção de

uma sociedade cada vez mais segregada tanto politicamente, culturalmente e geograficamente, como em relação aos estilos de vida (MCINTYRE, 2018).

Para Latour (2018), no atual cenário de pós-verdade, se há algo que o cientificismo e os céticos do clima evidenciaram é que a ideia tradicional dos fatos jamais foi sustentável. Segundo o autor, os fatos encontram-se em redes que se mantêm ou caem, não devido a sua veracidade, mas de acordo com as articulações das proposições, isto é, os fatos continuam consistentes apenas quando apoiam-se em uma cultura comum, em instituições confiáveis, direcionando uma vida pública mais ou menos decente, com uma mídia mais ou menos confiável. O surgimento de fatos alternativos, demonstra que a crença em uma afirmação depende ou não de muito menos veracidade do que das suas condições de construção. Ainda de acordo com o filósofo, entender as circunstâncias em que as informações erradas surgem, e as comunidades nas quais se enraízam, permite uma melhor compreensão deste fenômeno, bem como fornece subsídios para combatê-las.

É nesse sentido que no próximo tópico discutiremos uma das raízes mais profundas da pós-verdade - o viés cognitivo. Para tanto, partiremos da teoria dual dos sistemas proposta por Kahneman (2011), para ilustrar que não somos tão racionais como pensamos, e como os nossos processos mentais são estruturados através de vieses que influenciam a seleção e a avaliação de informações e/ou evidências sobre determinado assunto ou fato, condicionando as nossas percepções sobre a realidade.

### **3.3. Pós-verdade em suas conexões com os vieses cognitivos**

De modo geral, os vieses são inclinações, tendências, ou predisposições, em nossos processos de raciocínio, que ocorrem de maneira inconsciente, e funcionam como filtros mentais, ou óculos especiais que distorcem a realidade. Com lentes de diversos graus, todos nós usamos esses óculos. Assim, os diversos tipos de vieses cognitivos consistem em desvios dos padrões de julgamentos causados por aspectos da nossa estrutura cognitiva, evidenciando que não somos tão racionais como pensamos e que apresentamos uma tendência a nos esforçar para evitar desconforto psíquico diante de situações ou proposições inesperadas ou desconfortáveis (MCINTYRE, 2018). Ainda de acordo com McIntyre (2018), os vieses cognitivos constituem uma das raízes mais profundas do fenômeno da pós-verdade, pois estão relacionados ao desenvolvimento do cérebro humano no decorrer da história evolutiva.

Em seu best-seller *Rápido e Devagar, Duas Formas de Pensar*, Kahneman (2011), apresenta e discute dois sistemas pelos quais pensamos: o Sistema 1 (S1) – automático, rápido,

com pouco ou nenhum esforço, que envolve percepções involuntárias e habilidades instintivas, relacionando-se às ideias preestabelecidas; e o Sistema 2 (S2) – associado à experiência subjetiva de atividade, escolha e concentração, é lento, pois demanda tempo para elaborar conclusões e cálculos complexos, por exemplo. Pelo fato de pensar lento exigir esforço, somos mais propensos a pensar rápido, a percorrer o caminho de menor trabalho e custo energético, buscando conforto cognitivo. Esses dois sistemas interagem e influenciam mutuamente o nosso comportamento e tomada de decisão. Por exemplo: tendemos a agir de forma intuitiva quando precisamos tomar decisões de maneira rápida, no entanto, S1 não age de forma isolada, uma vez que S2 funciona tendo por base informações armazenadas na nossa memória, evocando S1 de forma automática e involuntária.

A teoria dual dos sistemas proposta por Kahneman (2011) pode nos auxiliar na compreensão do fenômeno da pós-verdade, uma vez que quando S1 assume o controle dos processos de pensamento, ele funciona a partir de heurísticas que não são precisas. Ao discutir as raízes do viés cognitivo, McIntyre (2018) destaca alguns vieses que estão intimamente relacionados com a pós-verdade, tais como: dissonância cognitiva, viés da confirmação, raciocínio motivado, efeito de tiro pela culatra e efeito de Dunninger-Kruger, os quais discutiremos a seguir.

A dissonância cognitiva corresponde a um estado de tensão entre duas ou mais ideias que são psicologicamente inconsistentes, isto é, quando os elementos cognitivos não correspondem à realidade, provocando um conflito de crenças. McIntyre (2018) utiliza o exemplo de Festinger sobre um grupo chamado “*Os buscadores*”, os quais acreditavam que o mundo acabaria no dia 21 de dezembro de 1954. Os membros do grupo venderam os seus pertences e esperaram pelo acontecimento no topo de uma montanha. No entanto, o evento não ocorreu. Ao consultarem a sua líder, Dorothy Martin, foram informados que, devido a sua fé e orações, o fim do mundo havia sido poupado, ou seja, “*Os buscadores*” salvaram o mundo.

Em graus diferentes, todos os seres humanos são propensos à dissonância cognitiva. Por exemplo, uma pessoa ao se submeter a determinado processo seletivo, ao não ser aprovada, pode apresentar justificativas do tipo “o cargo não era nem tão bom assim”, ou, “posso não compreender neste momento, mas futuramente talvez entenda que isso foi uma coisa boa”, ou ainda, “se não fui aprovada neste é porque algo melhor me espera”. Dessa maneira, a pessoa busca uma harmonia dentro de suas próprias crenças, a fim de acomodar as suas intuições. Por outro lado, os seres humanos também tendem a buscar harmonia com as crenças daqueles que estão ao seu redor, tanto através do reforçamento de tendências “irracionais” por pessoas que compartilham a mesma crença equivocada (e.g. o caso do grupo “*Os Buscadores*), como a partir

da elaboração de crenças que permaneçam em concordância com o grupo, desconsiderando os próprios sentidos e/ou padrões de evidências (MCINTYRE, 2018).

No que se refere ao viés da confirmação, suponhamos que uma determinada pessoa, por possuir um histórico de atleta, acredita estar imunizada contra a Covid-19, portanto, não precisa se preocupar com as medidas de prevenção e combate deste vírus. Mesmo com a apresentação de estudos sistemáticos desenvolvidos por pesquisadores de todo o mundo, ilustrações gráficas mostrando o rápido avanço no número de casos e mortes confirmadas diariamente exibidas nas mídias, além da alerta constante para os riscos e a importância de seguir as recomendações da Organização Mundial de Saúde, a pessoa continua na linha de defesa, ignorando ou reinterpretando consoante às suas crenças, as evidências que não confirmam aquilo em que acredita.

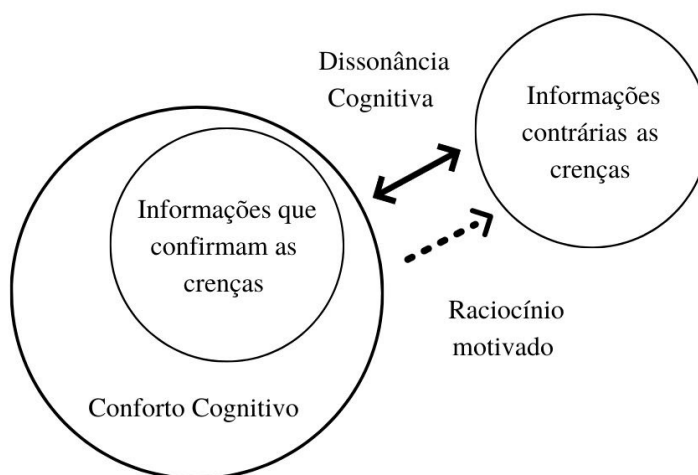
Em suma, o viés da confirmação, diz respeito a um tipo de percepção seletiva, na qual as pessoas tendem a buscar estratégias de teste positivo para suas crenças, adquirindo informações que estejam alinhadas com o que pensam, bem como, interpretando os eventos de acordo com o que acreditam, desconsiderando informações e/ou evidências contrárias ao seu ponto de vista (ALLAHVERDYAN; GALSTYAN, 2014). Vale destacar que, eventualmente, este viés também está presente nas práticas científicas, através da realização de experimentos ou da produção de dados que tendem a confirmar as hipóteses levantadas, por exemplo (SCHWIND et al., 2012). Para minimizar o viés da confirmação, Kahneman (2012) propôs a “colaboração contraditória”, isto é, quando dois ou mais pesquisadores se envolvem em uma prática experimental para testar hipóteses contrárias.

A dissonância cognitiva e o viés da confirmação estão ancorados no raciocínio motivado. De acordo com McIntyre (2018), quando nos sentimos desconfortáveis psicologicamente, buscamos uma maneira de acomodar as nossas crenças aos nossos sentimentos, e não o inverso. Ou seja, o raciocínio motivado corresponde a um estado mental disposicional, talvez até inconsciente, no qual as pessoas apresentam uma maior tendência em aceitar informações que condizem com as suas crenças, não demonstrando interesses em analisar informações contrárias.

Apesar de cada tipo de viés possuir definições específicas, pode ser difícil distingui-los, uma vez que não ocorrem de maneira isolada nos processos cognitivos. Por exemplo, quando atentamos apenas para o que confirmam nossas crenças, isso se relaciona mais diretamente com o viés da confirmação. No entanto, tendemos a agir dessa maneira pois buscamos maior conforto cognitivo, ou seja, evitamos a dissonância cognitiva. E ao evitar a dissonância



cognitiva, não nos preocupamos em examinar as informações contrárias às nossas crenças - raciocínio motivado, conforme ilustrado na figura 1.



**Figura 1:** Interação dos vieses nos processos cognitivos. A seta dupla em negrito indica um conflito entre crenças contrárias - dissonância cognitiva. A seta pontilhada indica o raciocínio motivado, isto é, a tendência que temos em desconsiderar as informações que não condizem com o que acreditamos.

**Fonte:** elaborado pelas autoras, 2020.

McIntyre (2018), ainda destaca dois efeitos que podem influenciar a nossa disposição em aceitar fatos baseados em evidências: (a) Efeito de tiro pela culatra, quando a correção de informações falsas ou *fake news*, por exemplo, reforça, ao invés de corrigir, a crença equivocada de alguma pessoa. O autor apresenta um experimento em que algumas pessoas receberam notícias falsas mas que estavam alinhadas com alguns conceitos errôneos amplamente aceitos, por exemplo, que o presidente Bush havia proibido totalmente pesquisas com células-tronco. Quando as informações corretivas foram apresentadas, a aceitação dependeu das posições partidárias das pessoas (liberais, centristas e conservadores). Os conservadores não aceitaram as afirmações corretivas. Enquanto liberais e centristas, aceitaram; (b) Efeito Dunning-Kruger: ou efeito *muito estúpido para saber que são estúpidos*, é um viés cognitivo que leva as pessoas com pouco ou nenhum conhecimento sobre determinado assunto a

superestimarem suas aptidões, ou seja, quanto menos uma pessoa sabe sobre determinado tema, maior a tendência de achar que sabe o suficiente.

Diante dos vieses apresentados e considerando a teoria dual dos sistemas, cabe destacar que, tipicamente, os vieses cognitivos são ligados ao S1, considerados heurísticos ou associativos, e as respostas lógicas ao S2, considerados analíticos e baseados em regras e evidências. A medida do sucesso para S1 é a coerência da história criada, sendo a quantidade e qualidade de dados, em que tal história se baseia, irrelevantes, de modo que, quando há escassez de informações, S1 age como uma máquina, associando informações disponíveis, e tirando conclusões precipitadas. A combinação de S1 – que busca coerência – com S2 – preguiçoso, implica que S2 endossa muitas crenças intuitivas, refletindo intimamente as impressões geradas por S1, isto é, mesmo que S2 seja capaz de uma aproximação sistemática e cuidadosa de determinada evidência, considerando e ponderando vários pontos antes de tomar uma decisão, S1 ainda continua influenciando até as decisões mais cuidadosas, porque o seu *input* nunca cessa (KAHNEMAN, 2012).

No âmbito das ciências, uma das maneiras de se obter resultados mais justificados é através das chamadas “práticas comunitárias”, que atuam nas correções de erros individuais e exposições de fraudes, por exemplo. Testes quantitativos, revisão por pares, replicação de pesquisas e compartilhamento de dados consistem em estratégias científicas que buscam mitigar a influência dos vieses na elaboração de fatos. No entanto, as ciências refletem condições sociais, históricas e políticas no seu processo de desenvolvimento, sendo também direcionadas por padrões de pensamentos daqueles que a fazem.

O fenômeno da pós-verdade é preocupante, pois a disseminação de desinformações, o negacionismo climático e as teorias da conspiração, por exemplo, influenciam diretamente a capacidade das pessoas de se posicionarem frente a questões socioeconômicas, políticas, ambientais, bem como de saúde pública (BARZILAI; CHINN, 2020). No contexto da pandemia da Covid-19, a rejeição do conhecimento científico apresenta riscos altos à vida, o que nos leva a focar nas consequências que esse fenômeno pode gerar, bem como no papel da educação científica nesse cenário.

#### **3.4. Diálogos entre pós-verdade, pandemia da Covid – 19 e educação em ciências**

Neste tópico, discutiremos quais caminhos a educação científica pode percorrer para ajudar as pessoas a utilizarem os conhecimentos científicos de maneira apropriada em seus contextos socioculturais diante de um cenário de pós-verdade. Para tanto, direcionamos nossas

discussões a partir da obra “Os setes saberes necessários à educação do futuro”, elaborada por Morin (2000), dos dados apresentados no estudo sobre a “Percepção Pública da C&T no Brasil” (2019), e das reflexões sobre o papel da educação científica na “era pós-verdade”, apresentadas por Feinstein e Waddington (2020).

Ao discutir sobre os erros, as ilusões e as cegueiras relativas ao desenvolvimento do conhecimento, Morin (2000) destaca que o conhecimento consiste em uma tradução ou reconstrução através da linguagem e do pensamento, onde encontram-se impressas a visão de mundo, a subjetividade e os princípios de cada pesquisadora/conhecidora e pesquisador/conhecedor. Desse modo, tais processos interpretativos comportam os riscos dos erros (mentais, intelectuais, racionais) e das cegueiras paradigmáticas.

No que diz respeito aos paradigmas, isto é, aos padrões de pensamentos e linguagens que direcionam as ideias, a elaboração dos conceitos, a constituição dos axiomas, dos discursos e das teorias, Morin (2000), destaca as cegueiras do paradigma ocidental elaborado por Descartes e imposto a partir do século XVII com o desenvolvimento da história europeia. Esse paradigma foi o principal marco da separação entre sujeito e objeto, mente e corpo, emoção e razão, por exemplo, cada qual em sua esfera. Além disso, circunscreveu os conceitos e teorias soberanas a partir dessa disjunção. O conhecimento que não atende a essa lógica cartesiana, universalista, ainda é frequentemente considerado desviante, clandestino, marginal e, portanto, não legítimo no âmbito científico.

Diante disso, é relevante pensar que se a constituição das sociedades e dos próprios ecossistemas que coabitamos, é híbrida, biodiversa e plural, a construção das ciências também deve ser. Uma vez que a prática científica é atravessada e retroalimentada por heterogeneidades sociais, por indivíduos indissociados dos processos histórico-culturais, que constituem narrativas interpretativas e dialógicas referentes a determinados contextos. Isto é, “os indivíduos conhecem, pensam e agem segundo os paradigmas inscritos culturalmente neles” (MORIN, 2000, p. 25).

Conforme exposto no tópico anterior, em maior ou menor grau, os vieses cognitivos são inerentes à nossa estrutura mental, de modo que nenhum paradigma ou teoria científica está imune à influência desses vieses, bem como de suas inscrições contextuais e socioculturais. No entanto, cabe salientar que, ao longo da construção do conhecimento científico, algumas estratégias (e.g. revisão por pares, replicabilidade das pesquisas) contribuem para a detecção de erros e minimização dos enviesamentos.

Nesse contexto, consoante a Morin (2000), a educação científica tem o papel de evidenciar que não existe conhecimento isento dos erros e das ilusões. E, além disso, deve

fornecer subsídios para identificar a origem desses erros, ilusões e cegueiras. Vale ressaltar que apenas o conhecimento científico não é suficiente para tratar dos problemas epistemológicos, éticos e sociais, bem como a educação científica sozinha não é suficiente para lidar com o fenômeno da pós-verdade (FEINSTEIN; WADDINGTON, 2020; MORIN, 2000).

No estudo sobre a “Percepção pública da C&T no Brasil”, desenvolvido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2019), é ressaltado que apesar do público brasileiro confiar, respeitar, valorizar e reconhecer a utilidade e a importância do fazer científico e tecnológico para o desenvolvimento do nosso país, os investimentos em C&T ainda são baixos, o acesso aos espaços culturais (e.g. museus, parques botânicos, eventos de C&T) ainda são restritos a um público de alta escolaridade e elevado nível econômico, influenciando um baixo consumo de informações de temas relacionados à ciência e tecnologia, principalmente por grupos de baixa renda familiar e abaixo do nível superior de ensino (CGEE, 2019).

Diante disso, em um contexto de pós-verdade, ao invés da ciência reivindicar a sua singularidade e o seu papel de produtora de verdades fundamentais, acreditamos ser mais útil pensar de que maneira a ciência, mais precisamente por meio da educação científica, pode contribuir para a politização do pensamento, tornando o conhecimento científico, tal como discute Almeida (2017), um veículo de transformação e não como um fim encerrado em si mesmo. Corroborando, assim, com os dados do CGEE (2019), de que é necessário que as instituições de pesquisas e educação juntamente com o governo e a sociedade, formulem e implementem estratégias por meio de políticas públicas, por exemplo, para promover um maior acesso e engajamento do público brasileiro com a produção de conhecimentos acerca de ciência e tecnologia.

Nesse contexto, Feinstein e Waddington (2020) apresentam duas abordagens pelas quais a educação científica pode lidar com a pós-verdade. A abordagem internalista e individualista da ciência, a qual tem como foco o funcionamento científico interno e o desempenho individual. Nesse caso, a questão chave num contexto de pós-verdade é: “Como a educação científica pode ajudar os indivíduos a usar ferramentas epistemológicas dos cientistas para dizer o que é e o que não é verdade”? (FEINSTEIN; WADDINGTON, 2020, p.4). Por outro lado, a abordagem contextual e sociocultural da ciência enfatiza as relações entre as ciências, os demais domínios da vida e a criação de sentidos e significados coletivos. Nesse caso, a questão central é: “Como a educação científica pode ajudar as pessoas a trabalharem juntas para fazer uso apropriado da ciência no contexto social”? (FEINSTEIN; WADDINGTON, 2020, p.8).

Se temos a finalidade de transformar o modo como as pessoas lidam com o conhecimento científico é preciso entender quais são as suas posicionalidades socioculturais

(FEINSTEIN; WADDINGTON, 2020), e é fundamental que as pessoas também entendam qual a posicionalidade do conhecimento científico. Uma abordagem contextual e sociocultural da ciência seria útil, pois se concentraria em estabelecer relações, construir diálogos entre os conhecimentos científicos, os saberes da tradição, as distintas cosmovisões e as demandas dos indivíduos em sua vida cotidiana. Vale ressaltar que o uso dessa abordagem não é excludente, Feinstein e Waddington (2020) argumentam que a combinação desta com a perspectiva internalista e individualista pode favorecer uma estratégia educacional pluralista e pragmática.

Cabe destacar que as discussões que apresentamos sobre a educação científica em uma “era de pós-verdade”, estão mais próximas de uma abordagem contextual e sociocultural da ciência. Isto é, nos aproximamos de um ensino da condição humana, onde “todo o conhecimento deve contextualizar o seu objeto para ser pertinente” (MORIN, 2000, p. 45). Ainda em concordância com Feinstein e Waddington (2020), a educação científica, nesse sentido, enfatiza a relação complexa entre as ciências e os problemas sociais, focando em estratégias que integram outras abordagens como a história e a natureza da ciência, as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, a alfabetização e divulgação científica, bem como a ecologia dos conhecimentos, um dos pontos centrais do pensamento complexo.

Vale salientar que a ciência não produz verdades absolutas, mas produz um conhecimento muito bom (FEINSTEIN; WADDINGTON, 2020), ou proposições articuladas em redes, tal como propõe Latour (LATOURE, 2018), que pode contribuir para o entendimento e posicionamento das pessoas no mundo. No entanto, esses conhecimentos, proposições, são limitadas, transitórias, permeadas de incertezas. Tanto afirmar que há uma verdade, como afirmar que não existe verdade (e, portanto, pode-se acreditar em qualquer afirmação ou informação), intensifica o problema da pós-verdade, levando a compreensões errôneas ou distorcidas do conhecimento científico, fortalecendo visões absolutistas e relativistas das ciências (LIMA et al., 2020), além de incentivar o autoritarismo (VOLGEMANN, 2018) e o colonialismo dos saberes.

De acordo com Shiva (2020), a emergência em saúde intensificada pelo novo coronavírus evidenciou a necessidade de uma mudança paradigmática: do mecanicismo, da separação, da dominação, para uma consciência ecológica, biodiversa e de interconexão. Isso implica, de acordo com Morin (2000), que para conectar e organizar os conhecimentos é necessária uma reforma do pensamento, fundamental na ciência e na educação, especialmente no que concerne à educação científica. Nesse contexto, as problemáticas centrais de qualquer pessoa no século XXI, consistem em: “Como ter acesso às informações sobre mundo e como

ter a possibilidade de articulá-las e organizá-las? Como perceber e conceber o contexto, o global (relação todo/partes), o multidimensional, o complexo?” (MORIN, 2000, p. 33).

No seminário “COVID-19 e clima: como estão conectados”, o pesquisador Carlos Nobre evidenciou que:

Essa pandemia nos mostra o que pode acontecer quando há um desequilíbrio do sistema. Ela é um alerta e um guia para evitarmos grandes riscos, como o que as mudanças climáticas poderão trazer para a vida na Terra. Se a temperatura do planeta subir cinco graus, os humanos terão que viver confinados, como agora, porque em determinados horários todos os dias o termômetro vai estar além do limite fisiológico do corpo nas áreas tropicais, como o Brasil (...) Todo o planeta será afetado... (NOBRE, 2020)

A esse contexto, soma-se o crescente desmatamento da Amazônia, o genocídio dos povos originários, a emergência das questões raciais e da xenofobia, o sucateamento da educação e da saúde pública, configurando um cenário necropolítico, não apenas no Brasil. Nessa perspectiva, destacamos a entrevista concedida pela pesquisadora chinesa *Shi Zhengli*, ao site da revista *Science*, onde reafirmou sua indignação frente aos comentários xenofóbicos vindos do Presidente dos Estados Unidos, Donald Trump: “Ele diz que o SARS-COV-2 foi vazado de nosso departamento, o que contradiz os fatos. Essas declarações comprometem e afetam nosso trabalho acadêmico e nossa vida pessoal. Ele nos deve um pedido de desculpas<sup>49</sup>” (ZHENGLI, 2020).

Salientamos que a origem do novo coronavírus não pode ser responsabilidade de apenas um país, ou uma população específica, uma vez que vírus não possui nacionalidade, sua origem é a natureza (ANDERSEN et al., 2020), e a maneira como o ser humano vem tratando a natureza implica diretamente no aparecimento desses microorganismos (NOBRE, 2020). É nesse sentido que uma educação científica que enfatize a identidade terrena e a consciência planetária, tal como discutem Morin (2000) e Shiva (2020), é fundamental, uma vez que, “o problema planetário é um todo que se nutre de ingredientes múltiplos, conflitivos, nascidos de crises; ele os engloba, ultrapassa-os e nutre-os de volta” (MORIN, 2000, p. 64).

Além disso, no que se refere a pandemia da Covid-19, o Diretor-Geral da OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus, declarou que não se trata apenas de uma luta de combate ao vírus, mas também de uma luta contra a disseminação de notícias falsas que se espalham de maneira fácil e rápida, sendo tão prejudiciais quanto o próprio vírus (BARZILAI; CHINN, 2020; WHO, 2020). A desinformação e a disseminação de *fake news* sobre temas relacionados à saúde, meio ambiente e educação, inclusive por representantes políticos e religiosos, são abundantes,

---

<sup>49</sup> Tradução nossa.

principalmente online. Isso afeta a capacidade das pessoas de tomarem “decisões sábias” em um contexto em que os riscos tornam-se cada vez mais elevados (BARZILAI; CHINN, 2020).

No que concerne às noções que a população brasileira apresenta sobre a ciência, o CGEE (2019) destaca que um ponto preocupante é a falta de conhecimento das pessoas quanto ao uso de antibióticos, uma vez que o consumo excessivo e inadequado desses medicamentos constituem mundialmente a causa principal de resistência microbiana e uma problemática de saúde pública. A maioria entrevistada acredita que os antibióticos são capazes de combater os vírus. Quanto ao uso inadequado de medicamentos, essa questão é particularmente relevante em um contexto atual de pandemia, onde o uso de fármacos como a hidroxicloroquina e a ivermectina, sem a devida comprovação de sua eficácia, constituem um problema de saúde pública e perpassam aspectos internalistas e socioculturais do fazer científico.

Cabe destacar, ainda, que a internet se tornou o principal meio onde pessoas de diferentes faixas etárias consomem conteúdos acerca de C&T, alcançando ou ultrapassando até mesmo a TV (CGEE, 2019). No universo da internet, os meios mais utilizados pela população brasileira para a busca e acesso a temas sobre C&T consistem primeiramente em sites de buscas (e.g. *Google*, *Yahoo*, *Bing*), seguido por redes sociais como *facebook* e *youtube* (CGEE, 2019).

Existe um interesse da população brasileira em temas de cunho técnico e científico que perpassam questões socioambientais e de saúde, tais como desmatamento da Floresta Amazônica, a utilização de agrotóxicos na agricultura e os efeitos das mudanças climáticas, por exemplo (CGEE, 2019). Cabe salientar que o interesse por esses temas variam de acordo com a faixa etária, gênero e escolaridade. Jovens e homens apresentam menor preocupação com as alterações climáticas, enquanto pessoas de maior escolaridade e mulheres declaram maior preocupação com o desmatamento da Amazônia. Esses interesses não indicam atitudes anticientíficas ou de descrédito com relação à C&T, mas evidenciam temas que a educação científica deve considerar como indicadores na promoção de uma cidadania científica (CGEE, 2019).

Diante disso, pesquisadoras e pesquisadores, professoras e professores, estudantes, organizações, em seus perfis nas redes sociais (e.g. @oatila, @anpg, @fiocruz, @TaschnerNatalia, @WHO, @ONU, @KingsCollLon) tem realizado lives, palestras, aulas, conversas informais, no intuito de disseminar seus resultados de pesquisas, e abrir um espaço de diálogo que contribua para lidar com o cenário da pandemia e do negacionismo climático, por exemplo.

### 3.5. Considerações finais

No decorrer deste trabalho, discutimos o contexto da pós-verdade, as raízes psicológicas desse fenômeno a partir da teoria dual da mente, e apresentamos alguns apontamentos sobre a relevância de uma abordagem contextual e sociocultural da ciência como alternativa de diálogo entre a educação científica e o cenário da pós-verdade, essencialmente no que concerne a pandemia da Covid-19.

O cenário da pós-verdade não se limita apenas a disseminação de mentiras, boatos, *fake news* e ao negacionismo científico, mas sugere também a adequação ou a mudança dos fatos com base na reação das pessoas. No documentário *The Social Dilemma* (2020), disponível na Netflix, por exemplo, especialistas em tecnologia discutem o impacto do modelo de negócio das mídias sociais, as suas influências emocionais - geradas de modo até mesmo inconsciente, e suas consequências no comportamento individual e coletivo. No decorrer do documentário, Tristan Harris, *ex-designer* ético do *Google*, destaca que o modelo de negócio das mídias sociais lucra com a desinformação, apontando que as mídias sociais amplificam fofocas e boatos de forma exponencial, a ponto de não sabermos mais o que é verdadeiro ou falso, evidenciando que as *fakes news* no *twitter*, são espalhadas seis vezes mais rápido do que uma notícia que tem relação com o factual e o real.

O documentário *The Social Dilemma* (2020) é particularmente relevante pois ilustra como as empresas tecnológicas fazem uso dos conceitos da psicologia para persuadir as pessoas, uma vez que existe uma parte da mente humana que, de modo geral, não sabemos como funciona. Tristan Harris destaca que médicos, engenheiros, cientistas, pessoas de maneira geral, não fazem ideia de como a sua própria mente funciona e de como ela é vulnerável. É nesse sentido que situamos a pós-verdade em suas conexões com os vieses cognitivos, a partir da teoria dual dos sistemas, para refletir como a nossa mente funciona e como os nossos processos mentais são atravessados por vieses cognitivos que influenciam a seleção, a avaliação de informações, condicionando as nossas percepções sobre a realidade.

No contexto da pandemia da Covid-19, não é apenas o vírus que se espalha rapidamente, as desinformações e as teorias das conspirações também. Além disso, o ecogenocídio, as desigualdades sociais, o racismo e a violência contra a mulher têm sido crescentes. Conforme discutido ao longo do texto, há um interesse da população brasileira em temas que envolvem C&T, especialmente aqueles que perpassam questões socioambientais e da saúde. Esse interesse evidencia temas que a educação em ciências deve considerar para a formação de uma cidadania científica e tecnológica.



Neste texto, não nos concentramos nas contradições epistemológicas do termo pós-verdade e as suas implicações para as ciências. Buscamos focar nas consequências que o fenômeno da pós-verdade pode gerar, especialmente no contexto da pandemia do novo coronavírus. É nesse sentido que discutimos a abordagem contextual e sociocultural da ciência, uma vez que esta se concentra em estabelecer relações e construir diálogos entre os conhecimentos científicos, os saberes da tradição, as distintas cosmovisões e as demandas das pessoas em sua vida cotidiana.

Esperamos que as discussões apresentadas neste trabalho possam contribuir para uma educação em ciências crítica, na qual o ser humano é compreendido como indissociado do ambiente, em uma interdependência e interação contínuas, sendo, portanto, corresponsável pela construção de relações baseadas na ética do cuidado e respeito com as diversas formas de vida humana e não-humanas que coabitam os nossos ecossistemas e planeta.

## Referências

ALLAHVERDYAN, A. E.; GALSTYAN, A. Opinion dynamics with confirmation bias. *PloS one*, v. 9, n.7, e99557, 2014.

ALMEIDA, M. C. **Ciências da complexidade e educação: razão apaixonada e politização do pensamento**. Curitiba: Appris, 2017.

ANDERSEN, K. G.; RAMBAUT, A.; LIPKIN, W. I.; HOLMES, E. C.; GARRY, R. F. The proximal origin of SARS-CoV-2. **Nature medicine**, v. 26, n. 4, p.450-452, 2020.

BARZILAI, S.; CHINN, C. AA review of educational responses to the “post-truth” condition: Four lenses on “post-truth” problems, **Educational Psychologist**, v. 55, n.3, p.107-119, 2020 <https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1786388>

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Percepção pública da C&T no Brasil – 2019. Resumo executivo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2019, 24p.

FEINSTEIN, N. W.; WADDINGTON, D.I. Individual truth judgments or purposeful, collective sensemaking? Rethinking science education’s response to the post-truth era. **Educational Psychologist**, v.55, n.3, p.155-166, 2020. DOI: 10.1080/00461520.2020.1780130

HENDRICKS, V. F.; VESTERGAARD, M. Verlorene Wirklichkeit? An der Schwelle zur postfaktischen Demokratie. In: **Aus Politik und Zeitgeschichte**, v. 67, n.13, p. 4–10, 2017.

HORSTHEMKE, K. ‘# FactsMustFall’?—education in a post-truth, post-truthful world. **Ethics and Education**, v.12, n.3, p. 273-288, 2017.

KAHNEMAN, D. **Thinking, fast and slow**. Macmillan, 2011.

LATOUR, B. “Bruno Latour, the Post-Truth Philosopher, Mounts a Defense of Science”, 25 de Out. De 2018. Kofman, A. **The New York Times Magazine**. Disponível em <https://www.nytimes.com/2018/10/25/magazine/bruno-latour-post-truth-philosopher-science.html> Acesso em 06 de maio de 2020.

LIMA, N. W.; VAZATA, P. A. V.; OSTERMANN, F.; DE HOLANDA CAVALCANTI, C. J.; MORAES, A. G. Educação em Ciências nos Tempos de Pós-Verdade: Reflexões Metafísicas a partir dos Estudos das Ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p.155-189, 2019.

MCINTYRE, L. **Post-truth**. MIT Press, 2018.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro** / Edgar Morin; tradução de Catarina Eleonora F. da Silva e Jeanne Sawaya; revisão técnica de Edgard de Assis Carvalho. – 2. ed. – São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000.

NOBRE, C. Covid-19 e clima: como estão conectados? 2020. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=vNJvdbxELc> Acesso em 14 de abril de 2020.

ORLOWSKI, J. *The Social Dilemma* [Documentário]. Estados Unidos, 2020.

OXFORD DICTIONARIES. Word of the Year 2016 is... 2016. Disponível em <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2016/> Acesso em 19 de junho de 2020.

SCHWIND, C.; BUDER, J.; CRESS, U.; HESSE, F. W. Preference-inconsistent recommendations: An effective approach for reducing confirmation bias and stimulating divergent thinking? **Computers & Education**, v.58, n.2, p.787-796, 2012.

SHIVA, V. Ecological reflections on the coronavirus. One Planet, One Health – Connected through Biodiversity: From the forests, to our farms, to our gut microbiome. 2020. Disponível em <https://www.navdanya.org/bija-reflections/2020/03/18/ecological-reflections-on-the-corona-virus/>. Acesso em 25 de março de 2020.

VOGELMANN, F. The Problem of Post-Truth. Rethinking the Relationship between Truth and Politics. **BEHEMOTH-A Journal on Civilisation**, v.11, n.2, p.18-37, 2018.

WHO – World Health Organization. *Munich security conference* (WHO director-general speech). 2020. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/munich-security-conference> . Acesso em 10 de abril de 2020.

ZENGHLI, S. Trump ‘owes us an apology.’ Chinese scientist at the center of COVID-19 origin theories speaks out. Kohen, J. *Science*. 24 de Julho de 2020. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2020/07/trump-owes-us-apology-chinese-scientist-center-covid-19-origin-theories-speaks-out> . Acesso em 30 de agosto de 2020.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer desta dissertação nos debruçamos sobre temas que por si só já carregam uma dimensão complexa. A tarefa que nos coube foi evidenciar as articulações entre os temas escolhidos e situá-los no âmbito da educação científica/biológica e do pensamento complexo a partir das nossas experiências e contextos individuais, sociais e profissionais. Assim, o objetivo central consistiu em discutir como o pensamento complexo pode fornecer subsídios para uma compreensão ampliada das ciências e da educação biológica/científica, especificamente no que concerne a temas relativos à termodinâmica da vida no contexto do ensino *das Biofísicas* e a problemas socioambientais emergentes, tais como, o fenômeno da pós-verdade e a pandemia da COVID – 19.

No primeiro capítulo, iniciamos as nossas discussões com a termodinâmica da complexidade biológica e as suas implicações para o ensino *das Biofísicas*. Expomos um breve histórico da termodinâmica a partir da problemática das máquinas térmicas e da elaboração da segunda lei que evidenciou as interfaces entre as ciências físicas e as ciências da vida. Os estudos da termodinâmica do não-equilíbrio, das estruturas dissipativas e da auto-organização em sistemas biológicos sistematizados por Ilya Prigogine, trouxeram mudanças paradigmáticas não apenas no campo das ciências naturais – Física, Química, Biologia/Biofísica, mas das ciências, da educação e do ensino de maneira geral. Cabe salientar que tais estudos constituem a base das ciências da complexidade, e contam com dois conceitos principais: irreversibilidade temporal – os processos naturais são irreversíveis e unidirecionais no tempo, fluindo no sentido passado → futuro (*flecha do tempo*), e a auto-organização dos sistemas vivos – seres vivos são compreendidos como sistemas abertos em contínua troca de matéria, energia e informação com o ambiente, o que implica uma mudança contínua em suas estruturas.

Em suma, a termodinâmica da complexidade biológica trata de temas relativos à possibilidade do surgimento da vida e das maneiras pelas quais os ecossistemas se desenvolveram possibilitando a evolução de espécies diversas, incluindo a espécie humana. Ao longo das discussões, vimos como as mudanças energéticas relacionam-se diretamente com a biodiversidade. A absorção, a concentração e a degradação da energia solar capturada levam a um aumento da diferenciação e da complexidade dos ecossistemas – maior diversidade de nichos ecológicos, por exemplo – que contribuem para a manutenção do equilíbrio estacionário da Terra. No entanto, ecossistemas estressados, principalmente por intervenções humanas, assemelham-se aos primeiros estágios sucessionais ecológicos e se aproximam de um equilíbrio

termodinâmico que evidencia os limites da capacidade de autorregulação que o superorganismo Gaia possui.

No contexto *das Biofísicas*, tais estudos contrastaram com a abordagem “tradicional” desta ciência – fundamentada na física clássica e na termodinâmica do equilíbrio, trazendo a necessidade de problematizar este campo científico propondo uma Biofísica também “longe do equilíbrio”. *As Biofísicas* que emergem com os estudos da termodinâmica da vida enfatizam a sua complexidade e/ou transdisciplinaridade, isto é, não se trata de uma área estritamente física ou biológica, mas integra diversas áreas do conhecimento, métodos, técnicas, análises, a partir das quais novas propriedades surgem, possibilitando uma compreensão, interpretação e explicação mais ampla do tema ou problema posto em questão. Sendo assim, são possíveis diferentes interpretações e tendências sobre o que são as Biofísicas e as quais são as suas abrangências.

No que concerne ao Ensino *das Biofísicas*, essa diversidade de tendências e interpretações está refletida nos livros-texto, nos artigos científicos encontrados e nas diferentes abordagens que é dada a este componente, a depender da área. Vale lembrar que a Biofísica é um componente indispensável na formação de professoras (es) e bacharéis de/em Biologia, e de profissionais da Saúde de maneira geral. Cada curso apresenta a sua demanda e *design* curricular. Ao longo das discussões apresentadas no primeiro capítulo, situamos este componente no pensamento complexo tanto pela relação intrínseca entre o desenvolvimento deste e a história da Biofísica partindo da termodinâmica do não-equilíbrio, como pelo caráter emergente, dinâmico e dialógico deste pensamento, colocando em pauta a necessidade do religamento e compartilhamento da diversidade dos saberes no contexto educacional.

No segundo capítulo, discutimos um fenômeno emergente, embora não recente, na sociedade e na comunidade científica – a pós-verdade. Excepcionalmente em tempos de pandemia da Covid-19, a pós-verdade foi tema de chamadas para publicações em revistas (e.g. *Cadernos Brasileiro de Ensino de Física*) e de documentários (e.g. *The Social Dilemma*), por exemplo, que buscavam, de modo geral, apresentar, discutir e/ou compreender as circunstâncias de surgimento, enraizamento e como lidar com este fenômeno. Portanto, partindo do pensamento complexo, discutimos o contexto da pós-verdade, suas raízes psicológicas, e as possíveis maneiras de diálogos entre a educação científica e este fenômeno, essencialmente no cenário da pandemia do novo coronavírus.

Conforme exposto, a pós-verdade não está limitada a disseminação de mentiras, boatos, notícias falsas e ao negacionismo climático e científico, mas sugere também a adequação ou a mudança dos fatos com base na reação das pessoas. Uma das raízes mais profundas deste

fenômeno relaciona-se com a evolução da própria estrutura cerebral humana – os vieses cognitivos ou predisposições mentais que distorcem a realidade, influenciam e condicionam as nossas percepções, seleção e avaliação de informações. Desse modo, tanto os paradigmas como as teorias científicas estão suscetíveis à influência dos vieses e às inscrições contextuais e socioculturais inerentes à construção do conhecimento. As “práticas comunitárias” (revisão por pares, replicação das pesquisas) atuam minimizando e detectando erros e vieses na produção de determinado conhecimento na comunidade científica.

No contexto do pensamento complexo, o papel da educação científica em tempos de pós-verdade e pandemia, onde o desconhecimento e a rejeição do conhecimento científico, apresenta riscos sérios à vida, é evidenciar que não há conhecimento isento de erros e ilusões, bem como fornecer subsídios para identificar as origens dos erros, das ilusões e das cegueiras paradigmáticas. Assim, no lugar da ciência reivindicar a sua singularidade e papel de produtora de verdades, é mais profícuo pensar maneiras pelas quais a ciência, por meio de instituições de pesquisa e educação junto com o governo e a sociedade, podem formular e implementar estratégias que promovam maior acesso e engajamento do público brasileiro com a produção de conhecimentos científicos e tecnológicos.

Consideramos, portanto, a questão paradigmática o ponto central na relação entre os temas discutidos no decorrer dos capítulos apresentados. A termodinâmica do não-equilíbrio é um dos pilares do pensamento complexo, trazendo tanto contribuições no âmbito das ciências – através das noções de irreversibilidade, auto-organização biológica, indeterminismo, não linearidade – como implicações no contexto do ensino *das Biofísicas* e na educação científica/biológica, de maneira geral – principalmente por enfatizar que o conhecimento construído é provisório, e o seu processo de construção está suscetível a erros, ilusões, vieses cognitivos, cegueiras paradigmáticas, colocando em xeque os critérios de verdade, neutralidade e objetividade científica.

A emergência em saúde intensificada pelo novo coronavírus consiste em outro ponto fundamental. A ciência moderna fundamentada numa perspectiva mecânica da natureza legitimou um programa de controle e destruição dos ecossistemas justificado em progresso científico e desenvolvimento econômico. As ações de determinados humanos e suas respectivas corporações, nesse sentido, estão provocando crescente estresse de animais e plantas, o que induz a liberação de inúmeros microrganismos patogênicos, tais como os vírus. Assim, a pandemia da Covid-19, está intimamente relacionada com a degradação ambiental, com a extinção e o desaparecimento de espécies (dentre elas, a humana), bem como com as mudanças climáticas.

Diante do exposto, o pensamento complexo de Morin evidencia a necessidade de uma reforma do pensamento tanto na ciência como na educação, especialmente no que se refere à educação científica. É preciso deslocar-se das noções mecanicistas, deterministas, dualistas e hierárquicas para uma consciência ecológica, biodiversa, interconectada e interdependente. É preciso transformar o pensamento humano de modo a reconhecer a dependência da espécie humana e das demais espécies de uma biosfera saudável com a finalidade de criar uma cultura ecológica e democrática que englobe todas as formas de vida, questionando e apresentando outros rumos para construção de ciências e educação, além do modelo hegemônico direcionado pela lógica mercantil. Nesse sentido, a educação científica pode partir de realidades contextuais e socioculturais, estabelecendo relações e construindo diálogos entre os diversos saberes e conhecimentos, as distintas cosmovisões e as demandas das pessoas em sua vida cotidiana.

Esperamos que as discussões apresentadas no decorrer desta dissertação possam contribuir para uma educação científica/biológica que incorpore a dimensão complexa e estimule o pensamento crítico, a autonomia, a criatividade e, especialmente, a habilidade para lidar com as mudanças, com o inesperado, com a imprevisibilidade, mantendo o equilíbrio mental, conforme propõe o historiador Yuval Harari ao discutir o que deveríamos ensinar no século XXI. Salientamos que o texto apresentado encontra-se aberto a sugestões, críticas, diálogos e estamos dispostas a rever e/ou corrigir quaisquer que sejam as questões apontadas. Por fim, sugerimos que as pesquisas futuras incluam as discussões da bioética em seu sentido amplo na educação em ciências, essencialmente sob a luz das epistemologias feministas e/ou ecofeministas

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. C. **Ciências da complexidade e educação: razão apaixonada e politização do pensamento**. Curitiba: Appris, 2017.
- CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Percepção pública da C&T no Brasil – 2019**. Resumo executivo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2019, 24p.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- KELLER, E. F. Ecosystems, organisms, and machines. **BioScience**, v. 55, n.12, p. 1069 – 1074, 2005.
- \_\_\_\_\_. Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization, Part Two. Complexity, Emergence, and Stable Attractors. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v.39, n.1, p. 1 – 31, 2009.
- HARARI, Y.N. **21 lições para o século 21**. Tradução: Paulo Geiger. 1.ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2018.
- MINAYO, M. C. S. (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.
- MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro** / Edgar Morin ; tradução de Catarina Eleonora F. da Silva e Jeanne Sawaya; revisão técnica de Edgard de Assis Carvalho. – 2. ed. – São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000.
- \_\_\_\_\_. **O método II: a vida da vida**. Porto Alegre: Sulinas, 2005a.
- \_\_\_\_\_. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005b.
- PALTRIDGE, B. Thesis and dissertation writing: an examination of published advice and actual practice. **English for Specific Purposes**, n. 21, p. 125-143, 2002.
- PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. Tradução: Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança: metamorfose da ciência**. Tradução: Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 1997.
- SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org) **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- SOUZA, H. C. **O uso de epistemologias feministas no desenvolvimento de propostas pedagógicas para um ensino de ciências voltado a promoção da equidade de gênero**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, UFBA, 2017.

SHIVA, V. Ecological reflections on the coronavirus. One Planet, One Health – Connected through Biodiversity: From the forests, to our farms, to our gut microbiome. 2020. Disponível em <https://www.navdanya.org/bija-reflections/2020/03/18/ecological-reflections-on-the-corona-virus/> Acesso em 25 de março de 2020.



**APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL – FOLHETO DE CORDEL: A  
TERMODINÂMICA DA VIDA**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO  
MATEMÁTICA – PPGECEM**

**MAYARA GOMES DA SILVA**

**A TERMODINÂMICA DA VIDA NUMA ABORDAGEM PARA O  
ENSINO DE BIOFÍSICA**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2021**

MAYARA GOMES DA SILVA

**A TERMODINÂMICA DA VIDA NUMA ABORDAGEM PARA O  
ENSINO DE BIOFÍSICA**

Produto educacional vinculado à Dissertação de Mestrado intitulada *Educação científica e complexidade: da termodinâmica da vida à pós-verdade em tempos de pandemia*, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual da Paraíba, para a obtenção do título de Mestra em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

**Área de Concentração:** Educação Biológica

**Orientadora:** Karla Patrícia de Oliveira Luna

**Coorientadora:** Márcia Adelino da Silva Dias

CAMPINA GRANDE – PB

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586t Silva, Mayara Gomes da.  
A termodinâmica da vida numa abordagem para o ensino de biofísica [manuscrito] / Mayara Gomes da Silva. - 2021.  
19 p.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Acadêmico em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

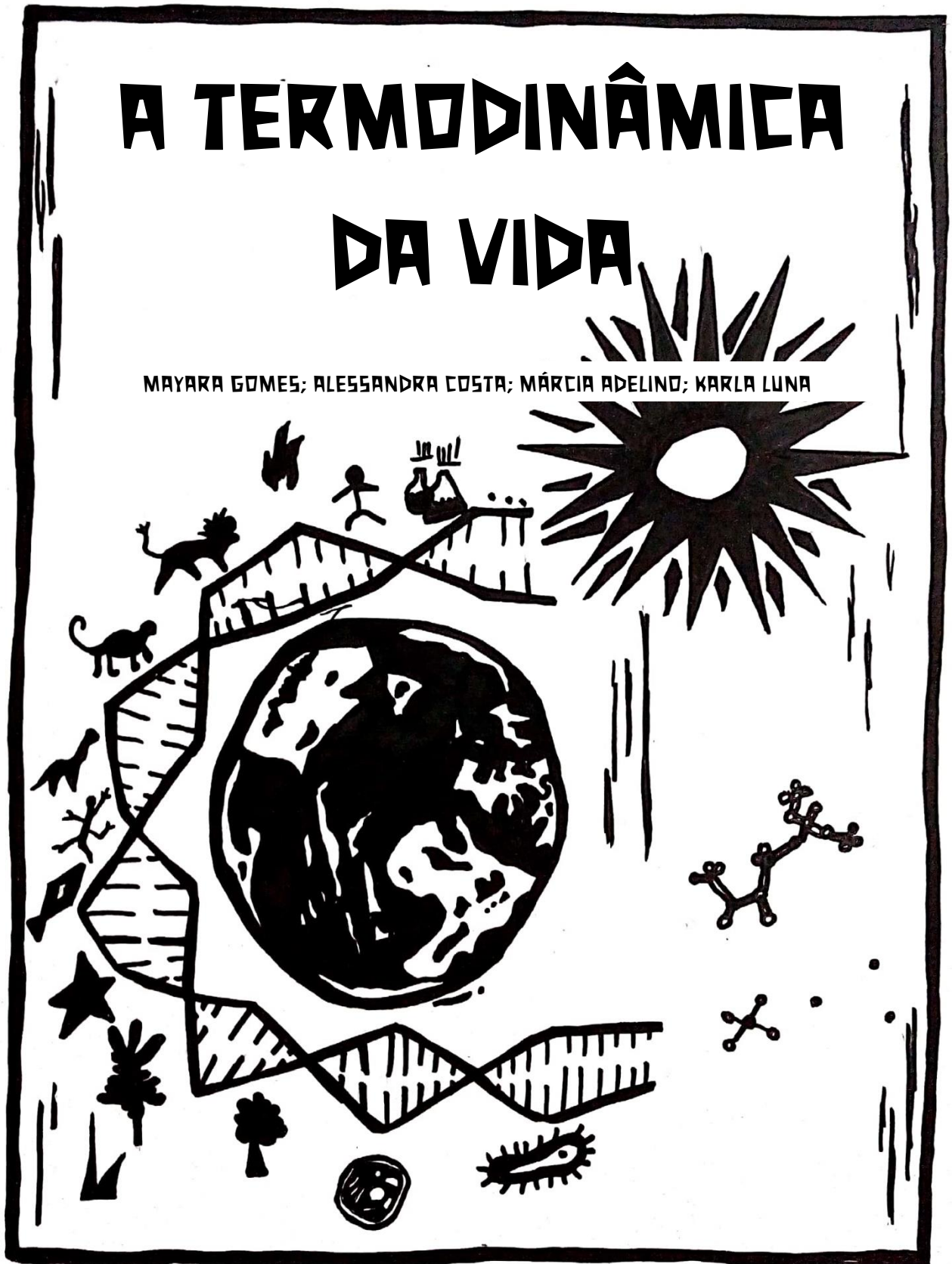
"Orientação : Profa. Dra. Karla Patrícia de Oliveira Luna, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

1. Termodinâmica. 2. Biofísica. 3. Educação Biológica. 4. Cordel. I. Título

21. ed. CDD 372.3

# A TERMODINÂMICA DA VIDA

MAYARA GOMES; ALESSANDRA COSTA; MÁRCIA ADELINO; KARLA LUNA



Campina Grande – Paraíba – Brasil – 1ª Edição – ABRIL DE 2021

# APRESENTAÇÃO

É com honra e alegria que apresento este cordel. Um importante recurso para o ensino da termodinâmica.

A produção é parte de uma dissertação que teve como objetivo principal relacionar a Ciência da Termodinâmica com as Ciências da Complexidade. Claro, este não foi um trabalho fácil, porém prazeroso e que presenteia a ciência com um produto inovador no que diz respeito ao ensino das Biofísicas, em especial da Biofísica para as Ciências Biológicas: a oportunidade de visualizar a termodinâmica de maneira lúdica.

No âmbito do ensino de ciências é imprescindível levar estudantes de pós-graduação a entender a importância de produções deste tipo, aptas a contribuir com a prática docente em todos os níveis.

Embora a modalidade do mestrado em questão tenha sido o acadêmico, não sendo obrigatório, portanto, um produto educacional, este cordel foi elaborado pois a literatura específica sobre o ensino de Biofísica aponta uma carência e/ou ausência de materiais ou alternativas didáticas nesse campo, além do que o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2019) também indica uma lacuna referente a divulgação científica no Brasil.

Neste sentido, sinto-me grata em poder ter orientado o trabalho que deu origem a este cordel, material dotado de relações entre a oralidade, a escrita e as nossas raízes histórico-culturais, que certamente, vem a promover uma nova forma de ensinar e aprender Biofísicas.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Karla Luna

## Sumário

APRESENTAÇÃO.....	76
A TERMODINÂMICA DA VIDA NUMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DE BIOFÍSICA .....	79
SOBRE AS AUTORAS .....	90
AGRADECIMENTOS .....	91
REFERÊNCIAS .....	92



# A TERMODINÂMICA DA VIDA

## NUMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DE BIOFÍSICA

### 01 – As ciências do fogo trouxeram

Consigo muita inovação

Inseriram na dinâmica

A sua transformação

Calor e chamas libertas

Causaram revolução.

### 02 – As reações químicas do fogo

Nos auge industriais

Lá no século dezenove

Foram itens essenciais

Para girar máquinas térmicas

E problemáticas sociais.

### 03 – As ciências com o seu papel

De contribuir com as sociedades

Trataram logo de estudar

O calor e as suas propriedades

Desse jeito, cientistas acharam difícil

Negar a complexidade.

**04** – Ao observarem o calor  
Produzindo energia mecânica  
Juntaram tudo o que tinham  
Fundaram a Termodinâmica  
Calor, matéria e interação  
Distantes da dualidade platônica.

**05** – A partir desses estudos  
Chegamos a compreensão  
Das interfaces das ciências  
Física e vida em ação  
Das máquinas à segunda Lei  
Natureza, tempo e educação.

**06** – No campo da Termodinâmica  
O calor é energia  
Tal como a energia elétrica  
A ciência já discutia  
Que a energia térmica do Sol  
É indispensável à vida.

**07** – A primeira lei diz respeito  
À conservação da energia  
Em um sistema isolado  
A energia não é criada ou destruída

É conservada ou constante  
Apesar das transformações ocorridas.

**08** – Esse é um ponto interessante  
Dessa nossa discussão  
Pois se a energia não se altera  
Apesar da transformação  
É possível reverter os processos  
Invertendo a direção?

**09** – Imagine um dia quente  
E um cubo de gelo que derreteu  
Será que naturalmente é possível  
Reverter o que aconteceu?  
A água espontaneamente volta a ser gelo  
Apesar do que sucedeu?

**10** – Além disso, você hoje  
É idêntico a quando nasceu?  
É possível tornar bebê  
Alguém que envelheceu?  
Ou mesmo reverter o processo  
Trazendo vida a quem morreu?

**11** – Por incrível que pareça  
Essa é uma problemática  
Que surge na Revolução Industrial

Lá dentro das grandes fábricas  
Onde a preocupação central era  
O rendimento das máquinas.

**12** – Estudando as máquinas térmicas

Carnot evidenciou  
Que o trabalho pode sim  
Ser dissipado em calor  
Mas aproveitar todo o calor em trabalho  
É impossível, pois parte se dissipou.

**13** – É nesse contexto que surge

Uma grande novidade  
Nos processos naturais  
Existe a irreversibilidade  
E o tempo unidirecional  
Marcando a transitoriedade.

**14** – É a Segunda Lei que trata

Da irreversibilidade na natureza  
Com uma função de estado  
Que ressalta a incerteza  
Trata-se da Entropia  
E das suas sutilezas.

**15** – A Entropia refere-se

Ao número de possibilidades  
À medida quantitativa  
Da irreversibilidade  
Aos diferentes estados  
Possíveis na realidade.

**16** – Alguns a chamam de desordem  
Ou de desorganização  
Afirmam que no universo  
Ela cresce na direção  
De aumentar promovendo  
A descomplexificação.

**17** – Então, como seria possível  
Nessa entropia crescente  
Que na Terra existisse  
Formas de seres vivos  
Que evolutivamente criaram  
estruturas surpreendentes?

**18** – Não só criaram mas  
Mantiveram a sua organização  
Diante de eventos estocásticos  
Ao longo da evolução  
A vida desenvolveu meios  
Para a sua continuação.

**19** – Como sistemas abertos

Distantes do equilíbrio  
Os seres vivos consistem  
Em sistemas dissipativos  
Trocando com o ambiente  
Nutrientes, calor e resíduos.

**20** – Dissipando energia solar

Os seres vivos formaram  
Estruturas dissipativas  
E se auto-organizaram  
Com baixa entropia interna  
E equilíbrio estacionário.

**21** – Estacionário porque

Estão em troca contínua  
De matéria, informação  
E também de energia  
Se fosse um equilíbrio estático  
Não haveria a vida.

**22** – É tão tal que quando há

Essa equilibração  
A morte logo alcança  
A sua realização  
Pois a vida é impossível  
Longe da interação.

**23 – Ordem a partir da desordem**

Consiste em uma premissa  
Para explicar como os seres  
Em uma crescente entropia  
Criaram o seu metabolismo  
E a organizaram a vida.

**24 – Ordem a partir da ordem**

É outra prerrogativa  
Para elucidar que os genes  
Carregam a continuidade da vida  
Em um código organizado  
Distante da entropia.

**25 – Crescimento, desenvolvimento**

E evolução biológica  
São respostas dissipativas  
Seguindo essa mesma lógica  
Isso também se estende  
À auto-organização ecológica.

**26 – As mudanças energéticas**

Também consistiram na chave  
Para os ecossistemas  
E a biodiversidade

Quanto mais energia disponível  
Maior a complexidade.

**27** – É nesse contexto que  
Também se evidencia  
Uma força que atua  
Propiciando a vida  
Levando a elaboração  
Da Lei da Sintropia.

**28** – Sintropia e Entropia  
Podem ser compreendidas  
Como forças opostas  
Mas complementares à vida  
Que permitem aos ecossistemas  
Atuarem em Sinergia.

**29** – Algumas pessoas dizem  
Que a Sinergia integra  
A Linguagem do Amor  
Falada pela Mãe-Terra  
A atuação harmônica  
De tudo o que se conecta.

**30** – No entanto, o ser humano  
Se tornou especialista  
Em interferir nos ciclos



Aumentando a Entropia  
Poluindo, desmatando  
Ameaçando a vida.

**31** – Veja só a Amazônia  
E o crescente desmatamento  
Com a destruição de habitats  
Sem nenhum consentimento  
Resultando sem surpresa  
Num crescente adoecimento.

**32** – Pandemias, desmatamentos  
E mudanças climáticas  
Tudo isso está ligado  
Constituindo problemáticas  
Que ameaçam à vida  
E as sociedades democráticas.

**33** – E o que se pode fazer  
Diante dessa destruição?  
Como é possível viver  
Em meio a essa ilusão  
De que o ser humano não faz  
Parte dessa integração?

**34** – Nem tudo está perdido  
Veja só a alternativa

De reflorestar as áreas  
Com a Agricultura Regenerativa  
Melhorando o clima e vivendo  
De forma não destrutiva.

**35** – Podemos também esperar  
De modo realista e sábio  
Não que tudo vá dar certo  
Mas independente do resultado  
Fazer algo que faça sentido  
Com base na ética do cuidado

**36** – Também é possível buscar  
Nessa multiplicidade de visões  
Um ponto comum de contato  
Para construir relações  
De autorresponsabilidade  
Diante de todas essas situações.

**37** – E se você sente que  
A queda é inevitável  
Ou que o abismo é grande  
E a vida é mesmo instável  
Abrir os paraquedas talvez seja  
Uma ideia confortável.

**38** – Enquanto seres humanos

E profissionais da educação

Esperamos que este cordel

E toda nossa discussão

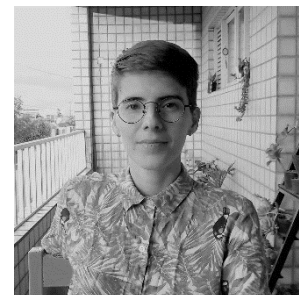
Fomente diálogos empáticos

E diversidade de expressão.

## **SOBRE AS AUTORAS**

### **Mayara Gomes da Silva**

Licenciada em Ciências Biológicas, especialista e mestranda (em conclusão) na área de Ensino de Ciências (UEPB). Psicóloga em formação (UEPB) e integrante o Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida - GRECOMVIDA (UEPB). Conheci o “folhete” por meio de vovô João quando era criança. E conforme fui crescendo e conhecendo as coisas, tornei-me amante da Literatura de Cordel. É uma felicidade imensa ver esses artefatos populares que carregam tanto da nossa história, cultura, identidade e memória, integrando pesquisas e veiculando conteúdos que auxiliam no ensino-aprendizagem das Biofísicas e das ciências, de modo geral.



### **Alessandra Costa**

Graduanda em Psicologia (UEPB), integrante do Programa de Educação Popular em Saúde na Comunidade: cultura, comunicação e arte na promoção da cidadania plena (UEPB) e do Laboratório de Percepção, Neurociência e Comportamento - LPNeC (UEPB). Na infância apreciava o cordel por lê-lo como uma história coantada. Hoje, mais que isso admiro como cada verso se faz enquanto um enlace que transborda nossa cultura. O prazer por fazer parte da construção dessa identidade popular é imensurável.



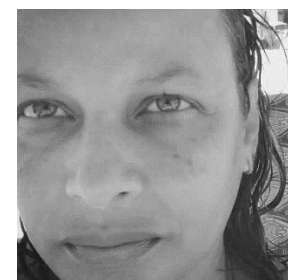
### **Márcia Adelino da Silva Dias**

Docente efetiva do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM). Coordenadora adjunta do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. Fundadora e coordenadora do Grupo de Estudos da Complexidade e da Vida (GRECOMVIDA)/Campus I/UEPB. Desenvolve pesquisas nas áreas de formação docente, Didática e Ensino de Ciências/Biologia, Educação Ambiental e Etnobiologia.



### **Karla Patrícia de Oliveira Luna**

Atualmente é professora efetiva da UEPB (Universidade Estadual da Paraíba - Campus I). Ministra aulas da disciplina Biofísica na graduação. Faz parte do Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM) da UEPB. Ministra na referida pós graduação aulas das disciplinas Biotecnologia e Práticas de Laboratório para o Ensino de Ciências/Biologia, realizando orientações em ambas as áreas.



## **AGRADECIMENTOS**

À Ruthe Gomes pela colaboração na arte da capa deste cordel.

À Capes pelo financiamento parcial para a realização deste material.

## REFERÊNCIAS

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Percepção pública da C&T no Brasil – 2019. Resumo executivo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2019, 24p.

SILVA, M. G.; DIAS, M. A. S.; LUNA, K. P. O. Ensino de Biofísica: entre o equilíbrio, o desequilíbrio e a auto-organização em sistemas biológicos. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, p. 539 – 569, 2020. DOI: <https://doi.org/10.12957/sustinere.2020.53510> .