

Sistemas abertos e sistemas isolados no contexto da flecha entrópica do tempo: uma análise termodinâmica do conflito entre os seres vivos e a atividade capitalista.

Amanda Bueno de Oliveira

Graduanda em Filosofia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR)

amandaboliveira@ufpr.br

RESUMO: Tendo em vista a emergência do pensamento ecológico em tempos do atual cenário antropocênico, o presente artigo procura refletir acerca da relação entre os seres vivos e o capitalismo, de modo a corroborar um conflito termodinâmico que permeia entre eles, tendo a entropia como mediação. Deste modo, constituiu-se, por um lado, os sistemas abertos, que são capazes de trocar matéria e energia com o meio e, assim, esfriar seu sistema, de modo a impedir ou desacelerar sua autodestruição entrópica; e por outro, os sistemas isolados, que não trocam energia e matéria com o meio e, por isso, alimentam e antecipam a morte térmica do seu sistema. Sendo assim, apresentam-se dois cenários antagônicos sobre a entropia: primeiramente, parte-se do ponto de vista da entropia enquanto elemento evolucionário da vida, visto

que é responsável pela autossustentação de organismos vivos, e nesta atividade, mantém o fluxo entrópico entre o sistema e o meio; e, inversamente, coloca-se sobre perspectiva do caráter antropocênico da entropia, que, a partir do capitalismo, acelera a flecha entrópica do tempo e desenvolve, portanto, a luta pela existência entre o sistema econômico e o ecossistema. Neste sentido, fala-se, no presente trabalho, sobre a tensão entre os dois sistemas e sua relação com o colapso ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas; Termodinâmica; Biosfera; Economia; Entropia.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Especulação termodinâmica: a natureza é, majoritariamente, irreversível.

Como se sabe, o segundo princípio da lei termodinâmica consiste na decorrência de sua primeira lei, que resulta na tese de que a energia total de um sistema é constante, uma vez que não é criada nem destruída, mas transformada em um tipo de energia para outro, através do trabalho, ou então transferida de um corpo a outro. Por ser o universo um sistema isolado, a inferência que se extrai da primeira lei é que, na conversão de uma forma útil de energia para uma forma inútil — isto é, no processo de transformação ou transferência de energia, em que parte dela é dissipada em forma de calor, e que esta parte, sozinha, não gera energia mecânica —, o calor resultante do processo desse sistema, não sendo útil ao restante da energia produzida, se fomenta na aleatoriedade das partículas, gerando energia térmica.

Este processo é o que a segunda lei da termodinâmica chama de entropia, que se refere a uma função de estado que diferencia processos reversíveis e irreversíveis

de acordo com a medida do grau de desordem de um sistema, visto pelo aumento ou diminuição do nível de agitação das partículas. Neste sentido, a entropia, diferentemente da energia, não pode ser conservada, uma vez que sempre tenderá ao máximo¹.

Em um sistema isolado, como o universo, há uma troca da baixa entropia pela alta entropia, que pode ser entendida como uma passagem da entropia negativa, ou neguentropia, pela entropia positiva. A entropia negativa nada mais é do que o estado de entropia zero de um sistema, em que não há desordem das moléculas e, portanto, não há aleatoriedade e dissipação de calor. A entropia positiva, no sentido contrário, é quando o sistema recebe calor, e a partir da dissipação de energia pela realização de trabalho, aumenta-se a agitação das moléculas e, consequentemente, a desordem do sistema. Deste modo, os processos espontâneos são eminentemente entrópicos positivamente, pois em última instância toda realização de trabalho gera uma dissipação de calor, cujo fim desencadeará, inevitavelmente, no equilíbrio térmico do universo.

A Segunda Lei da Termodinâmica afirma que a quantidade de trabalho útil que você pode obter a partir da energia do universo está constantemente diminuindo. Se você tem uma grande porção de energia em um lugar, uma alta intensidade dela, você tem uma alta temperatura aqui e uma baixa temperatura lá, então você pode obter trabalho dessa situação. Quanto menor for a diferença de temperatura, menos trabalho você pode obter. Então, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, há sempre uma tendência para as áreas quentes se resfriarem e as áreas frias se aquecerem – assim cada vez menos trabalho poderá ser obtido. Até que finalmente, quando tudo estiver numa mesma temperatura, você não poderá mais obter nenhum trabalho

1 “A distinção entre processos reversíveis e irreversíveis é introduzida na termodinâmica pelo conceito de entropia, que Clausius associa, já em 1865, ao “segundo princípio da termodinâmica.” Recordemos seu enunciado dos dois princípios da termodinâmica: “A energia do universo é constante. A entropia do universo cresce na direção de um máximo.” (PRIGOGINE, Ilya, 1996, p. 25).

disso, mesmo que toda a energia continue lá. E isso é verdade para TUDO em geral, em todo o universo (ASIMOV, 1983).

Dentre os corolários que se extraem da segunda lei da termodinâmica, têm-se que: é impossível construir uma máquina que, operando em ciclos termodinâmicos, tenha como único efeito converter integralmente em trabalho todo o calor recebido², isto é, nenhum sistema pode converter totalmente uma energia em outra; sempre há dissipação de energia em forma de calor. Conclui-se que é inerente à natureza do universo o aumento de entropia³.

2. PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

2.1. Processos irreversíveis em sistemas abertos: biosfera e seres vivos

Tendo em mente estas implicações no que diz respeito à natureza física do universo, podemos passar agora à operação da entropia em sistemas menores e mais específicos. Observando os processos naturais e ontogenéticos, é possível perceber que neles a operação da entropia se faz enquanto agente impulsionador de vida, uma vez que a biosfera, enquanto sistema aberto que troca energia e matéria, possui uma relação, por assim dizer, “mutualista”, na medida em que se beneficia do fluxo entrópico com o meio, da mesma forma que beneficia este, ao desacelerar seu processo entrópico. Desta relação se conclui que a entropia, apesar de ser quantitativa e matematicamente relacionada à passagem de calor, é também, segundo os princípios da bioquímica, um processo de autossustentação e organização dos organismos que privilegiam a vida. Em termos da segunda lei da termodinâmica, pensados exclusivamente sob perspectiva de sistemas isolados e irreversíveis, os se-

2 Enunciado de Kelvin Planck.

3 “A natureza apresenta-nos ao mesmo tempo processos irreversíveis e processos reversíveis, mas os primeiros são a regra, e os segundos, a exceção.” (PRIGOGINE, Ilya, 1996, p. 25).

res vivos são responsáveis pelo que se caracteriza como a condição primordial que mantém a vida, visto que eles se alimentam de neguentropia, isto é, possuem a capacidade de incorporar a energia livre recebida de uma fonte externa, permitindo ao ser vivo se alimentar de ordem e, assim, produzir desordem. A matéria viva, portanto, é o que mantém o fluxo constante entre entropia negativa e entropia positiva. Nas palavras de Schrödinger, a Natureza tende ao aumento da entropia espontaneamente, mas é responsabilidade do organismo vivo manter o fluxo entrópico entre eles e o meio:

[...] numa palavra, tudo o que acontece na Natureza significa um aumento da entropia da parte do mundo onde acontece. Assim, um organismo vivo aumenta continuamente sua entropia - ou, como se poderia dizer, produz entropia positiva - e, assim, tende a se aproximar do perigoso estado de entropia máxima, que é a morte. Só posso me manter distante disso, isto é, vivo, através de um processo contínuo de extrair entropia negativa do ambiente, o que é algo muito positivo, como já veremos. Um organismo se alimenta, na verdade, de entropia negativa. Ou, exprimindo o mesmo de modo menos paradoxal, o essencial no metabolismo é que o organismo tenha sucesso em se livrar de toda a entropia que ele não pode deixar de produzir por estar vivo. (SCHRÖDINGER, 1977, p. 79).

À vista disso, é justificável afirmar que o progresso da vida caminha ao encontro da entropia, pois é nesta relação que se fornece o fluxo entrópico necessário para os organismos produzirem, a partir da desordem, a ordem necessária para a termodinâmica da vida. Segundo Alfred Lotka (1880-1949), mesmo não sendo possível afirmar que a evolução é privilegiada pelo fluxo entrópico, o princípio da seleção, porém, pode ser entendido em linha tênue com a lei da entropia, pois a evolução biológica se dá pela energia disponível na luta pela vida (LOTKA, 1922, p. 147). Há, portanto, no processo da Natureza, aquilo que se entende por seleção natural dos seres vivos, que se encontram em constante relação com a ordem e

desordem do universo, buscando, nesta mútua relação, um material favorável à sua existência. Este material nada mais é do que a energia.

Como poderíamos expressar em termos da teoria estatística a maravilhosa faculdade do organismo vivo, pela qual ele atrasa o decaimento no equilíbrio termodinâmico (morte)? Dissemo-lo antes: “Ele se alimenta de entropia negativa”, como se atraísse um fluxo de entropia negativa para si mesmo, a fim de compensar o aumento de entropia que produz por viver e, assim, manter-se em um nível de entropia estacionário e bem baixo. (SCHRÖDINGER, 1977, p. 80).

Sabendo, pois, que a entropia é entendida como uma lei de autossustentação — isto é, como transformação da ordem ou neguentropia do universo, em benefício da vida —, faz-se necessário, agora, pensar sob perspectiva da desordem, e sob o ponto de vista no qual o processo irreversível, resultante do sistema isolado, alimenta e entra em conflito com os sistemas abertos.

2.2. Processos irreversíveis em sistemas isolados: capitalismo e atividade econômica

Como supradito, a segunda lei da termodinâmica confere a afirmação de que o universo tende a um aumento da entropia, e conseqüentemente, ao equilíbrio térmico. Dado o postulado: “*se um processo irreversível ocorre num sistema fechado, a entropia S do sistema sempre aumenta, ela nunca diminui*”, isto é, todo e qualquer processo irreversível é responsável por aumentar a entropia⁴. Como enfatiza Ilya Prigogine, enquanto os processos reversíveis mantêm a entropia constante, os pro-

⁴ É importante destacar que a concepção adotada neste artigo baseia-se em uma perspectiva clássica da Termodinâmica. Neste sentido, compreende-se todo processo irreversível como agente entrópico positivo, embora seja possível fazer uma outra interpretação sobre o conceito de irreversibilidade na entropia. Na obra *Entre o Tempo e a Eternidade*, Isabelle Stengers e Ilya Prigogine falam sobre estruturas dissipativas que, distantes do equilíbrio, se comportam de maneira diferente ao que dita as leis da física clássica termodinâmica. Deste modo, pode-se concluir que, embora a irreversibilidade seja a regra na Natureza, ela tanto possibilita que seja feita desordem a partir da ordem, como aceita que um sistema se auto-organize através de uma atividade coerente da matéria (PRIGOGINE & STENGERS, 1992, p. 62), isto é, permite que esse sistema produza ordem a partir da desordem. Neste contexto, portanto, nem todo processo irreversível é responsável por aumentar a entropia, visto que o conceito de irreversibilidade é ambíguo.

cessos irreversíveis a produzem (PRIGOGINE, 1996, p. 25). Nota-se aqui que o segundo princípio da termodinâmica é a única lei que estabelece uma distinção entre passado e futuro, de modo que a entropia se apresenta enquanto uma “flecha do tempo”, que é conduzida de acordo com o fluxo entrópico, ou a falta deste. Disto se resulta que, do ponto de vista físico, o tempo histórico tende ao fim entrópico, e todos os seus processos irreversíveis aceleram o encontro com este.

A atividade econômica, neste sentido, pode ser entendida como resultado do sistema isolado, isto é, do sistema econômico, segundo o qual a necessidade de subsistência requer extrair matéria, utilizar energia e produzir entropia positiva indefinidamente, sem que haja possibilidade de compensá-la, como o organismo vivo faz. No que tange ao segundo princípio da termodinâmica, a distinção entre energia útil e inútil se faz eficiente para a perspectiva econômica. Isto porque as máquinas que deram origem à segunda lei da termodinâmica também são objeto da atividade econômica, e nelas é possível observar o processo irreversível, posto que não há 100% de eficiência em qualquer máquina que produz energia, tendo sempre uma parte dela dissipada no processo. Em suma, é possível observar um valor econômico nos princípios da termodinâmica; ou melhor, é possível assegurar, pelas leis da entropia, que a própria atividade econômica é um processo irreversível, visto que se trata de um sistema isolado que tende ao acréscimo da entropia, não trocando matéria e nem energia com o meio, somente produzindo entropia positiva incessantemente.

A segunda lei da termodinâmica nos mostra a impossibilidade de reutilizar a energia, sendo impossível queimar o mesmo carvão indefinidamente, por exemplo. A atividade econômica, em última instância, se apresenta irreversível e eminentemente entrópica, posto que, diferente da matéria viva, que compensa a produção de entropia positiva alimentando-se de entropia negativa, a economia se alimenta de recursos não reutilizáveis, que não concernem somente à energia, como também à matéria como um todo. A economia, sendo por constituição um sistema isolado,

corroborar uma lógica fundada nas necessidades humanas, e por isso, não encontra limites que privilegiem os outros sistemas, pois não há troca alguma com estes. Além disso, a premissa que estabelece a crença econômica consiste em afirmar os processos econômicos podem perdurar, sem que utilize recursos de baixa entropia. Deste modo, pois, constitui-se a relação unilateral do sistema econômico com o meio ambiente, pois o primeiro ignora o fluxo entrópico necessário para manter a estabilidade entre a baixa e a alta entropia do segundo.

Segundo Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994), o problema está no fundamento da ciência econômica, que pensa este caráter entrópico da economia voltado à mecânica física clássica, baseada na locomoção do fluxo circular da renda, mas que ignora a mudança qualitativa, presente nas leis da Natureza. Portanto, a atividade econômica reside na perspectiva mecanicista de produção e consumo enquanto um sistema cíclico isolado, transformando recursos brutos em artefatos que, posteriormente, se tornarão lixo, produtos inutilizáveis. Nas palavras de Georgescu:

As leis da entropia nos ensinam que a regra da vida biológica e, no caso homem, de sua continuação econômica é muito mais severa. Em termos de entropia, o custo de qualquer empreendimento biológico ou econômico é sempre maior que o do produto. Em termos de entropia, qualquer atividade resulta necessariamente em um déficit. (GEORGESCU-ROEGEN, 1980, p. 53, tradução nossa).

3. DISTINÇÃO ENTRE A MECÂNICA E A TERMODINÂMICA NO PENSAMENTO ECONÔMICO

À vista do funcionamento dos sistemas econômicos, e tendo em mente seu caráter mecanicista de pensamento e produção, é possível perceber que a ativida-

de econômica compreende, erroneamente, que seu processo é feito independentemente do tempo ou espaço, assim como a Mecânica não reconhece estes termos e atua de modo contrário a eles, isto é, partindo de um tempo indiferente e um espaço indiferente. Georgescu-Roegen reconhece esta problemática, e enfatiza uma crítica epistemológica à atividade econômica, que custa a entender que sua produção não se faz no âmbito do tempo indiferente, mas sim no tempo histórico⁵.

Sendo assim, Georgescu-Roegen estabelece uma diferença entre a Mecânica e a Termodinâmica, que consiste em esclarecer que a distinção entre o tempo dinâmico e histórico da Mecânica se encontra, na verdade, nas leis da termodinâmica, que reconhecem que em um sistema isolado a dissipação de energia tende a um máximo, o que decorre no aumento da entropia e, conseqüentemente, em um processo irreversível. Conclui-se, pois, que a atividade econômica não pode ser entendida como um fenômeno mecânico, uma vez que os parâmetros da economia agem em consonância com as leis da entropia, sendo a atividade econômica uma transformação entrópica. (CECHIN, 2008, p. 55).

4. CONSEQUÊNCIAS DO PENSAMENTO MECANICISTA DO SISTEMA ECONÔMICO

À luz do que foi explicado até então, conclui-se que ambos os sistemas produzem processos irreversíveis, isto é, compactuam com o aumento da entropia do universo. Contudo, embora os dois sistemas supracitados produzam entropia positiva, é necessário retomar e enfatizar o caráter eminentemente entrópico presente no sistema econômico, pois este é responsável pela aceleração do equilíbrio térmico

5 “Possivelmente, a crítica epistemológica mais importante de Georgescu, já presente na introdução de *Analytical Economics*, se refere ao fato de a Economia Neoclássica considerar o processo econômico como um fenômeno mecânico, independente do lugar e do tempo histórico. O que a Mecânica entende por espaço e tempo não é no sentido de lugar/local e tempo cronológico, mas sim ‘distância indiferente’ e ‘intervalo de tempo indiferente’. [...] Georgescu mostrou aos economistas que a raiz dessa distinção não está nas ciências históricas, e sim no coração da própria Física, entre a Mecânica e a Termodinâmica. Mostrou que, mesmo do ponto de vista físico, a Economia não pode ignorar o tempo histórico, pois a produção econômica é uma transformação entrópica.” (CECHIN, André, 2008, p. 55).

do sistema, além de ser agente ocasionador do cenário antropocênico. Isto se dá, pois, além de produzir e se autoproduzir através da entropia positiva, um sistema isolado, tal como o sistema econômico capitalista, não compactua com a troca com o meio, o que torna seus processos mais prejudiciais do que os processos irreversíveis resultantes dos sistemas abertos.

Além disso, deve-se destacar que há um conflito direto entre ambos sistemas, uma vez que o sistema econômico se beneficia dos recursos e matérias da biosfera. Deste modo, enquanto os seres vivos resistem na luta pela vida, alimentando-se de entropia negativa para criar uma retribuição com o meio, pela produção de entropia positiva, o capitalismo, entrando em conflito com este sistema, busca cada vez mais utilizar-se dos recursos naturais, de modo a criar uma relação unilateral, ignorando a escassez que a produção infundável ocasiona. Neste sentido, sistemas abertos, produzindo metabolismo, tendem a impulsionar a vida, na medida em que trocam energia e matéria com o meio; o capitalismo caminha em sentido oposto, esgotando cada vez mais o estoque energético, até que ele cesse e, em última instância, acelere o aumento da entropia no sistema, fazendo com que este se autodestrua.

Pensando em sistemas abertos como a biosfera, podemos concluir que a economia, assim como seu representante estatal, o capitalismo, é insustentável em termos ambientais e ecológicos. Como evidência Luiz Marques, no livro *Capitalismo e Colapso Ambiental*, o historiador aponta que o princípio ontológico do capitalismo reside em uma produção infinita, uma vez que não há limite para o crescimento. Em termos da lei da entropia, o capitalismo é insustentável, pois não é homeostático, não retroage sobre si mesmo de modo a compensar, na troca com o ambiente, o aumento de entropia positiva, ou de desordem destrutiva:

No estágio atual avançado das crises ambientais, todo crescimento choca-se com uma impossibilidade física: a entropia gerada pelo próprio crescimen-

to, como estabelecido há quase meio século pelo *opus magnum* de Nicholas Georgescu-Roegen. [...] Choca-se, em suma, com o fato de que as escalas atuais das atividades econômicas e seu constante incremento em indústrias de alto impacto ambiental vêm-se mostrando objetivamente incompatíveis não apenas com os estoques de recursos naturais disponíveis, mas com os equilíbrios do sistema Terra que permitiram o rápido desenvolvimento das civilizações humanas desde o fim do último período glacial, há cerca de 12 milênios. [...] Ora, o mecanismo básico de funcionamento do mercado capitalista não apenas não funciona por feedback negativo, mas é mesmo oposto ao mecanismo da homeostase dos organismos. [...] Eis o segundo erro de atribuir ao mercado os atributos da homeostase: atingida sua escala ideal, todo organismo cessa de crescer e passa à fase em que prevalecem adaptações conservativas. [...] Contrariamente ao organismo, se o mercado capitalista não cresce, ele se desequilibra. (MARQUES, 2015, p. 40 e p. 476)

5. CONCLUSÃO: NECESSIDADE DO PENSAMENTO ECOLÓGICO À LUZ DO ANTROPOCENO

Em síntese, na flecha do tempo, os sistemas abertos e isolados, tais como a biosfera e o sistema econômico, encontram-se em constante conflito, visto que a produção econômica impacta diretamente no processo de autossustentação dos organismos vivos. Mais precisamente, o capitalismo, sendo agente entrópico por excelência, é responsável por alimentar e intensificar o cenário antropocênico, ao impedir a própria troca entre os seres vivos e o meio. Além disso, o sistema capitalista é o que desacelera o fluxo entrópico da biosfera, pois a destrói deliberadamente, ao lidar com a atividade econômica de modo dissociado ao tempo histórico. Logo, é no pensamento mecanicista da lógica econômica e capitalista que se encontra a origem do Antropoceno e tudo que dele se desencadeia.

À vista disso, vê-se a emergência do pensamento ecológico na atividade econômica. Sobretudo, vê-se a necessidade urgente de reformular o pensamento econômico, de modo entender que a economia não se trata de uma lei mecânica, mas sim termodinâmica, na qual a atividade econômica é eminentemente um processo irreversível e entrópico, o que significa que deve ser comedida. À luz deste cenário antagônico, e tendo em vista a flecha entrópica do tempo, têm-se duas possibilidades: caminhar no sentido do pensamento termodinâmico, da luta pela conversação da vida, em que os sistemas operam abertamente com o meio, em busca de trocar energia para compensar o caos produzido; ou seguir a linha tênue entre produção e morte, dentro de um sistema isolado e mecânico, que se encontra o sistema capitalista e os processos irreversíveis da economia.

REFERÊNCIAS

ASIMOV, Isaac. *The Origin of the Universe*, em *ORIGINS: How the World Came to Be*. série em vídeo. PO Box 1167, Marysville WA 98270-1167, USA: Films for Christ, 1983.

CECHIN, Andrei Domingues. “Georgescu-Roegen e o desenvolvimento ambiental: diálogo ou anátema?”. Orientador José Eli da Veiga. São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-15092008-102847/pt-br.php>. Acesso em: dez. 2020.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Economics, ecology, ethics: essays toward a steady-state economy*. San Francisco: H.W. Freeman Co, 1980.

MARQUES, L. *Capitalismo e colapso ambiental*. Campinas: Editora da Unicamp, 2015.

LOKTA, Alfred J. ‘*Contributions to the Energetics of Evolution*’. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States. Volume 8, 1922.

PRIGOGINE, Ilya. *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. Trad. Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Ed. da Unesp, 1996.

STENGERS, Isabelle; PRIGOGINE, Ilya. *Entre o tempo e a eternidade*. Tradução: Roberto Leal Ferreira. Companhia das Letras, São Paulo, 1992.

SCHRÖDINGER, Erwin. *O que é a vida? O aspecto físico da célula viva*. Editora UNESP. Brasil, São Paulo. 1997.

Open systems and isolated systems in the context of the entropic arrow of time: a thermodynamic analysis of the conflict between living beings and capitalist activity.

ABSTRACT: *In the light of the emergence of ecological thought in times of the current anthropocenic scene, this article seeks to reflect on the relationship between living beings and capitalism, in order to corroborate a thermodynamic conflict, having entropy as a mediation. On this matter, in one hand we see open systems, which are able to exchange matter and energy with the environment and, thus, cool its system in order to prevent or slow down its entropic self-destruction; and, on the other hand, we see isolated systems, which do not exchange energy and matter with the environment, and because of that, feed and anticipate the thermal death of its system. Consequently, two antagonistic scenarios about entropy are presented: firstly, from the perspective of entropy as an evolutionary element of life, since it is responsible for the self-sustainability of living organisms, and in this activity, maintains the entropy flux between the system and the environment; and contrarily, it is put into perspective of the anthropogenic quality of entropy which, starting from capitalism, accelerates the entropic arrow of time and develops the struggle for existence between the economic system and the ecosystem. In this sense, this paper discusses the ten-*

sion between the two systems and its relation to environmental collapse. **KEYWORDS:** Systems; Thermodynamics; Economy; Entropy

Recebido 18/12/2020
Aprovado 09/07/2021