

## Apontamentos para propor aulas de ciências mais complexas a partir do tema entropia

*Thiago Cavalcanti y Giselle Watanabe*  
Universidade Federal do ABC  
Brasil

**Citación:** Cavalcanti, T. y Watanabe, G. (2019). Apontamentos para propor aulas de ciências mais complexas a partir do tema entropia. *Investigación en la Escuela*, 98, 45-61.  
doi: <http://dx.doi.org/10.12795/IE.2019.i98.04>

**Resumo:** A formação de sujeitos mais críticos para atuar no mundo contemporâneo parece demandar outra forma de encarar o ensino de ciências, seja do ponto de vista das estratégias propostas, da necessidade de delinear a(o) cidadã(o) a ser formado ou da própria linguagem da ciência. Esses aspectos tornam-se essenciais do ponto de vista de uma educação científica escolar que vai além das aulas deterministas, pautadas exclusivamente nos livros textos e na ausência de interações dialógicas. Para nós, encarar essa formação requer considerar aspectos da complexidade enquanto elementos organizadores do pensamento e das ações propostas na escola. Nessa perspectiva, esse artigo investiga e propõe alguns elementos que possibilitam o trabalho em sala de aula a partir do assunto entropia, tomando-o como a porta de entrada da complexidade nas aulas de ciências do ensino médio, especialmente de física. Metodologicamente, a pesquisa se desenvolve a partir de estudos dos livros didáticos e de aspectos da complexidade visando identificar os espaços de inserção no currículo; proposição de um conjunto de aulas mais abertas e dinâmicas; e análise de algumas considerações dos(as) estudantes envolvidos(as). Dos resultados, notam-se que os espaços encontrados, ainda que limitados, apresentam possibilidades de trabalho a partir de assuntos

relacionados ao meio ambiente e termodinâmica, tais como o tratamento da poluição com foco no aumento da entropia e sua irreversibilidade; e o olhar da termodinâmica acerca da sustentabilidade, consumo, riscos e princípio da precaução. Também foi possível notar que os(as) estudantes resgatam em seus discursos, em menor ou maior grau, os conceitos desenvolvidos na proposta de aulas e trazem à tona questões que permeiam outras áreas do conhecimento, rompendo, assim, com o ensino fragmentado e estritamente disciplinar.

**Palavras-chave:** “Entropía”; “ensino de ciencias”; “complexidade”.

### **Ideas para proponer clases de ciencias más complejas basadas en el tema de la entropía**

**Resumen:** La formación de sujetos más críticos para actuar en el mundo contemporáneo parece exigir otra forma de afrontar la enseñanza de las ciencias, ya sea desde el punto de vista de las estrategias propuestas, desde la necesidad de delinear al ciudadano que se formará o desde el propio lenguaje de la ciencia. Estos aspectos se vuelven esenciales desde el punto de vista de una educación científica escolar que va más allá de las clases tradicionales, basadas exclusivamente en libros de texto y en la ausencia de interacciones dialógicas. Para nosotros, enfrentar esta formación requiere de considerar la complejidad como elementos de organización del pensamiento y de las acciones propuestas en la escuela. Desde esta perspectiva, este artículo investiga y propone algunos elementos que permiten el trabajo en el aula desde del concepto de entropía, como puerta de entrada de la complejidad en las clases de ciencias de bachillerato, especialmente en física. Metodológicamente, la investigación se centra en el análisis de libros de texto para identificar los espacios de inserción en el currículo de aspectos relacionados con la complejidad; diseño de una propuesta de clases más abiertas y dinámicas; y el análisis de algunas consideraciones de los estudiantes involucrados. A partir de los resultados, se observa que los espacios encontrados, aunque limitados, presentan posibilidades de trabajo a partir de temas relacionados con el medio ambiente y la termodinámica, como el tratamiento de la contaminación con foco en el aumento de la entropía y su irreversibilidad; y la mirada de la termodinámica sobre la sostenibilidad, el consumo, los riesgos y el principio de precaución. También se pudo constatar que los alumnos rescatan en sus discursos, en mayor o menor medida, los conceptos desarrollados en la intervención y sacan a la luz cuestiones que impregnan otras áreas del conocimiento, rompiendo así con la enseñanza fragmentada y estrictamente disciplinaria.

**Palabras clave:** “Entropía”; “enseñanza de las ciencias”; “complejidad”.

### **Ideas for proposing more complex science classes based on the theme of entropy**

**Abstract:** The formation of more critical subjects to act in the contemporary world seems to demand another way of facing the teaching of sciences, either from the point of view of the proposed strategies, from the need to delineate the citizen to be formed or from the language itself of science. These aspects become essential from the point of view of a school scientific education that goes beyond the deterministic classes, based exclusively on textbooks and in the absence of dialogical interactions. For us, facing this training requires considering aspects of complexity as organizing elements of the thought and actions proposed in the school. In this perspective, this article investigates and proposes some elements that allow the work in the classroom from the subject entropy, taking it as the gateway to complexity in high school science classes, especially physics. Methodologically, the research develops from studies of textbooks and aspects of complexity in order to identify the spaces of insertion in the curriculum; proposition of a set of more open and dynamic classes; and analysis of some considerations of the students involved. From the results, it can be observed that the spaces found, although limited, present possibilities of work from subjects related to the environment and thermodynamics, such as the treatment of the pollution with focus on the increase of the entropy and its irreversibility; and the look of

thermodynamics about sustainability, consumption, risks and the precautionary principle. It was also possible to note that the students rescued in their speeches, to a lesser or greater degree, the concepts developed in the class proposal and bring up issues that permeate other areas of knowledge, thus breaking with the fragmented teaching and strictly disciplinary.

**Key words:** “Entropy”; “science teaching”; “complexity”.

### **Idées pour proposer des classes scientifiques plus complexes basées sur le thème de l'entropie**

**Resumè:** La formation de sujets plus critiques pour agir dans le monde contemporain semble exiger une autre façon de faire face à l'enseignement des sciences, du point de vue des stratégies proposées, de la nécessité de définir le citoyen à former ou la langue elle-même de la science. Ces aspects deviennent essentiels du point de vue d'une éducation scientifique scolaire dépassant le cadre des classes déterministes, reposant exclusivement sur des manuels scolaires et en l'absence d'interactions dialogiques. Pour nous, faire face à cette formation nécessite de considérer les aspects de complexité comme des éléments organisateurs de la pensée et des actions proposées dans l'école. Dans cette perspective, cet article étudie et propose certains éléments qui permettent de travailler en classe à partir de l'entropie du sujet, en le considérant comme une passerelle vers la complexité dans les cours de sciences au lycée, en particulier la physique. Méthodologiquement, la recherche se développe à partir d'études de manuels et d'aspects de complexité afin d'identifier les espaces d'insertion dans le curriculum; proposition d'un ensemble de classes plus ouvertes et dynamiques; et l'analyse de certaines considérations des étudiants impliqués. Les résultats montrent que les espaces trouvés, bien que limités, offrent des possibilités de travail sur des sujets liés à l'environnement et à la thermodynamique, tels que le traitement de la pollution en mettant l'accent sur l'augmentation de l'entropie et son irréversibilité; et l'aspect de la thermodynamique concernant la durabilité, la consommation, les risques et le principe de précaution. Il a également été possible de noter que les étudiants ont sauvé dans leurs discours, à un degré moindre ou plus important, les concepts développés dans la proposition de classe et soulevaient des problèmes qui imprègnent d'autres domaines de la connaissance, rompant ainsi avec l'enseignement fragmenté et strictement disciplinaire

**Mots-clés:** “Entropie”; “enseignement des sciences”; “complexité”.

## **Introdução**

Pensar a formação de indivíduos para o mundo contemporâneo, repleto de riscos e de incertezas, requer considerar os diversos aspectos que envolvem as relações que estabelecemos com e sobre o meio local e global. A princípio, essa formação poderia promover uma sociedade mais justa e igualitária. No entanto, de forma geral, ela responde quase que exclusivamente aos interesses políticos e econômicos que se transformam de tempos em tempos, em especial considerando o contexto brasileiro. Esse tipo de abordagem se reflete na escolha dos conteúdos e conceitos específicos, assim como em propostas educacionais de cunho político-partidário. E isso, resguardadas as devidas proporções, mostra que a escola é o reflexo de uma sociedade em transição e que, na prática, tende a reproduzir a ordem social estabelecida, excludente, competitiva, hierárquica e submissa aos interesses das classes dominantes (García, 1998). Meio a esse contexto, tal como salienta Morin (2000), presenciamos ainda uma crescente integração com o movimento de globalização (em especial, com o advento da *internet*), de forma que os problemas deixaram de ser mais individualizados para tornarem-se globais (como a escassez da energia, a disseminação de doenças, a intensidade das crises econômicas e políticas etc.).

O conhecimento escolar, tomado do ponto de vista de García (1998), em uma sociedade interligada deveria buscar outras formas de pensar e refletir sobre os problemas contemporâneos e futuros, tomados como globais e complexos. Segundo o autor, a informação na atualidade está acessível a uma grande parcela da população, no entanto, a carência reside em interpretar, relacionar, se posicionar e fazer seu uso para resolver os problemas da realidade dos sujeitos. A escola, então, poderia superar a função de transmissora de conteúdos acabados (García, 1998) e propor uma revolução/ renovação do pensamento.

Alguns pesquisadores buscando (re)pensar as ações na escola vão propor uma formação mais crítica e aberta, visando empoderar os sujeitos a fim de que possam compreender e dialogar com o mundo em que vivem. Para isso, propõem tratar temas voltados às preocupações socioambientais, por exemplo, enfoques CTS, ambiental, social, freireano, vygotskiano, entre outros. Outros, mais preocupados com o contexto da aprendizagem, analisaram a evolução da aprendizagem do(a) estudante do ensino médio brasileiro quando colocados diante de situações do cotidiano relacionadas à entropia (Covolan e Silva, 2005). Já Jacobi (2003) analisou o desafio de propor uma educação ambiental mais crítica e inovadora tanto no campo formal quanto no informal, tendo em vista que essa educação é antes de tudo um ato político. E López-Lozano & Ramírez (2005), que investigaram a forma como os livros didáticos abordam a questão da energia, assim como o modelo socioambiental atrelado a essa abordagem.

Trabalhar em uma perspectiva que considere esses pressupostos requer considerar um tema de estudo mais aberto e dinâmico que, para nós, voltou-se ao conceito entropia. Essa opção se dá visto a possibilidade de discussões sob o ponto de vista socioambiental e cotidiano que, por sua vez, pode promover maior interação entre aspectos da complexidade e da realidade. Para García (1998) o conhecimento escolar precisa dar conta de questões cotidianas que em sua essência são cada vez mais complexas. Ao tomar as questões socioambientais como porta de entrada para uma mudança de visão de mundo, dá-se também a oportunidade para que um pensamento simples torne-se cada vez mais complexo. Além disso, historicamente o conceito de entropia é demasiadamente controverso tanto para os cientistas quanto para os(as) professores(as) e autores(as) de materiais didáticos, tal como apontam Flores-Camacho e Ulloa-Lugo (2014), Santos (2008) e Baldow e Monteiro Júnior (2010). Isso ocorre porque a entropia, ao ter sido enunciado de várias formas e por abranger diversas áreas do conhecimento, tornou-se de difícil conceituação e demasiadamente complexa, no sentido de integrar e interagir em diferentes sistemas.

Diante dessas breves reflexões - necessidade de uma formação mais crítica para a realidade e contemporaneidade, tomada a partir de temas socioambientais mais abertos e dinâmicos - buscamos por uma educação voltada para complexidade, que não reduza o conhecimento exclusivamente aos conceitos científicos escolares, mas que permita incorporar aspectos da incerteza, do indeterminismo e da probabilidade, entendendo que a ambiguidade não é necessariamente excludente. Assim, esse artigo tem como objetivo investigar alguns elementos da complexidade para tratar da entropia nas aulas de ciências, especificamente de física. Para isso, analisam-se espaços curriculares em que esse assunto pode ser inserido considerando o currículo brasileiro representado pelos livros didáticos; identificam-se alguns aspectos da complexidade a partir dos estudos de García (1988; 1998; 2004; 2005) e Morin (2007); propõe algumas aulas de ciências com o viés da complexidade e, por fim, apresentam-se alguns aspectos, baseados no conceito de entropia, que podem contribuir para um trabalho em sala de aula mais complexo.

## A complexidade no ensino de ciências

O ensino de ciências vem apontando para a necessidade de aproximar os discursos escolares da realidade dos sujeitos, incluindo desde situações do cotidiano até questões mais globais. Essa tentativa encontra algumas dificuldades. Uma delas advém da própria natureza da ciência, da forma como ela se desenvolve e dos objetos de estudos que estão envolvidos. Em último caso, o que está em questão são as perspectivas de ciência priorizadas nos estudos e nas investigações. Como salienta Cini (citado em Autor 2, 2012) a ciência se organiza a partir de três perspectivas distintas, a saber: da determinação<sup>1</sup>, da indeterminação<sup>2</sup> e da complexidade. Em especial a perspectiva da complexidade, que nos interessa nesse artigo, permite incorporar à ciência da complexidade os objetos de estudos (Prigogine e Stengers, 1984) de forma que conceitos como caos, acaso e desordem possam ser tratados a partir do olhar e rigor científicos.

Nas reflexões acerca da complexidade, que vão influenciar esse artigo, há ainda que se considerar as distintas dimensões e interpretações que o conceito assume (Carvalho, 2004; Guimarães, 2004; Jacobi, 2009; Leff, 2009; Loureiro, 2006; Rodríguez-Marín e García, 2009), por exemplo, na reflexão de Rodríguez-Marín e García (2009), também discutida em Watanabe e Rodríguez-Marín (2018), ao tratar das produções sobre educação ambiental no contexto da complexidade implícita que promove uma visão mais ativista (formulação e organização dos conteúdos não estão explicitados; as estratégias e a lógica das atividades se baseiam em propostas pontuais; e a atuação educativa se reduz a uma atividade mais manipulativa do que reflexiva); e da complexidade explícita baseada na perspectiva integradora, na qual o conhecimento escolar pauta-se na integração transformadora de diversas formas de conhecimentos (concepção aberta, flexível e gradual do conteúdo; construção do conhecimento a partir de transições; relação de hierarquia e organização, explicitando os sistemas em interação; e busca por uma visão global a partir de problemas socioambientais). Ainda como uma das influências, destacam-se as ideias propostas por Calafell, Bonil & Pubill (2015) ao propor o modelo formativo organizado por quatro esferas, a saber: conceitual, metodológica, criativa e investigativa. Essas esferas, por sua vez, fundamentam-se em ideias acerca da emoção e tenacidade (Miquel Martí I Pol), diversidade (Charles Darwin), mudança (Pina Bausch) e construção e compartilhamento (Paulo Freire).

García (1998) salienta que o conhecimento escolar não se resume apenas ao conhecimento científico, mas tem sua própria natureza tratando-se de um *conhecimento escolar complexificado*. Em outras palavras, a escola e o saber escolar são únicos e complexos e, portanto, não devem se sujeitar exclusivamente ao conhecimento científico e/ou cotidiano. A complexificação do conhecimento está, em especial, na capacidade de articular esses dois conhecimentos em *prol* de um conhecimento escolar com sua própria dinâmica e natureza. Esse conhecimento escolar tem a oportunidade de tratar de problemas reais, afastando-se das verdades absolutas, das simplificações, do conhecimento fechado e acabado em contrapartida às ideias que permeiam as incertezas, probabilidades, ordem e desordem.

---

<sup>1</sup> A perspectiva da determinação considera a priori a possibilidade de previsibilidade e regularidade nos fenômenos naturais, de forma que conhecer as condições iniciais e as leis que regem determinado sistema implica em ter acesso às etapas de sua evolução temporal. O mérito dessa perspectiva reside na busca por leis mais simples e universais que permitam o entendimento dos fenômenos e a sistematização dos mesmos.

<sup>2</sup> A perspectiva da indeterminação não apresenta um objeto de estudo acessível e visível. Para tanto, estuda-se as relações que permeiam as interações entre os objetos de estudo. A construção da ciência sob essa perspectiva se dá através de postulados gerais. Essa perspectiva exemplifica-se com o princípio da incerteza, as funções de onda da mecânica quântica, a descrição probabilística dos fenômenos quânticos, a inseparabilidade entre observador e o objeto observado.

Vale destacar que o conhecimento cotidiano, segundo Garcia (1998), é tido como aquele vivido pelo sujeito sendo, portanto, muito experimental e prático, vinculado à resolução de problemas e descrição de fenômenos próprios do *mesocosmo* (aquele próximo à realidade do sujeito). Os alunos e as alunas trazem consigo as experiências vividas em seu entorno, sendo os estereótipos sociais aprendidos na família e também nas mídias determinantes no processo de ensino e aprendizagem. Este conhecimento deve ser levado em consideração na articulação com os conhecimentos científico e escolar. Segundo o autor,

(...) o conhecimento escolar deve ser entendido como um conhecimento singular, o resultado da integração, em relação ao caráter peculiar dos contextos e dos participantes no processo de ensino-aprendizagem, de diferentes formas de conhecimento: conhecimento científico, conhecimento diário, conhecimento metadisciplinar, conhecimento prático, ideologias, etc. (García, 2005, p. 4, tradução nossa).

Do ponto de vista de Morin (2007), a perspectiva da complexidade busca se opor ao pensamento simplificador que não é capaz de conceber a junção das partes ao mesmo tempo em que contempla o todo. Ao se observar o todo perde-se a capacidade de interpretar as peculiaridades das partes, em contrapartida, se as partes ganham destaque, torna-se impossível conceber o todo. Ao propor o *pensamento complexo* busca promover a religação das ciências, introduzindo conceitos como o acaso, a incerteza, a ordem e a desordem, a incompletude. Para ele existem alguns princípios metodológicos que vão configurar o chamado pensamento complexo, a saber: (i) sistêmico ou organizacional; (ii) hologramático; (iii) retroatividade; (iv) recursividade; (v) autonomia/dependência; (vi) dialógico e (vii) reintrodução do sujeito cognoscente em todo conhecimento. A partir das ideias apresentadas, o Quadro 1 traz alguns aspectos que vão orientar a identificação dos elementos da complexidade para então incluí-los na proposta de aulas de ciências sobre a entropia.

#### Quadro 1

*Algumas ideias acerca da complexidade, a partir dos referenciais*

Referenciais da complexidade para...	Elementos da complexidade a considerar:
<u>formar o(a) aluno(a)</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- transição do pensamento simples para o complexo;</li> <li>- características do <i>pensamento complexo</i>;</li> <li>- experiências vividas pelos/as sujeitos (locais e globais).</li> </ul>
<u>tratá-la em sala de aula</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>conhecimento escolar complexificado</u>;</li> <li>- <u>conhecimento metadisciplinar</u>;</li> <li>- <u>integração dos conhecimentos</u>;</li> <li>- <u>problemas e situações reais/naturais</u>;</li> <li>- <u>questões socioambientais</u>;</li> <li>- <u>acaso, dinâmico, incerteza, ordem/desordem, incompletude, caos, imprevisibilidade e probabilidade.</u></li> </ul>

Quanto aos aspectos da entropia e suas aproximações com as perspectiva da complexidade, há de se destacar a contribuição de Boltzmann que, segundo Prigogine & Stengers (1984), foi o primeiro a notar que o crescimento da entropia poderia ser associado ao crescimento da desordem

molecular e conseqüentemente ao gradativo esquecimento da dissemetria inicial. A entropia (S), então caracteriza cada estado macroscópico a partir do número de microestados (W), em que,  $S = k \ln W$ , sendo k a constante de Boltzmann. O estado de equilíbrio torna-se assim, um verdadeiro atrativo para a evolução do sistema, no qual os processos irreversíveis são aqueles em que o estado final possui maior atrativo que o estado inicial e o processo reversível se verifica apenas quando os estados inicial e final possuem o mesmo atrativo, o que permite ao sistemas passar em ambos os sentidos.

Salienta-se que em ciências é possível discutir questões socioambientais sob a óptica da entropia, pois grande parte da atividade humana se dá tomando a energia de baixa entropia da natureza e a devolvendo com alta entropia. Deste modo, questões relacionadas à poluição das águas, do ar e do solo, as mudanças climáticas, a escassez de energia, entre outros, permitem incorporar o conceito de entropia, possibilitando uma visão mais sistêmica diante destes temas.

### Estratégias metodológicas

A presente investigação, fruto de uma pesquisa de mestrado, compõe dois momentos distintos, a saber: (i) estudos sobre o tema entropia e complexidade, identificação nos livros didáticos (LD) dos espaços para sua inserção e elaboração de uma proposta de aula complexificada; e (ii) aplicação e análise da proposta de aulas, emergindo alguns elementos da complexidade para tratar da entropia nas aulas de ciências.

Em (i) realizou-se a análise de seis LD de física para o ensino médio, avaliados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) (Brasil, 2014), com o objetivo de entender e identificar como o conceito de entropia é abordado nas escolas básicas para então encontrar os espaços de inserção a partir de conceitos da complexidade. Para a análise dos LD foram considerados os pressupostos da Análise Textual Discursiva (ATD) (Moraes & Galiazzi, 2007) em que a leitura dos textos serviram de base para o pesquisador organizar os conteúdos de forma a encontrar possíveis espaços de articulação entre os mesmos, buscando uma abordagem mais sistêmica. A ATD é considerada um método aplicado às pesquisas qualitativas, que possibilita ao pesquisador aprofundar-se no material de estudo aumentando sua compreensão na medida em que, recursivamente, o analisa. É um processo auto-organizado que se apoia em três pilares: *unitarização, categorização e comunicação*.

Os LD que foram objetos de análise referem-se à: *L1. Conexões com a Física* (Martini, Spinelli, Reis, & Sant'Anna, 2013); *L2. Física – Conceitos e contextos: pessoal, social e histórico* (Pietrocola, Pogibin, Andrade, & Romero, 2013); *L3. Física* (Guimarães, Piqueira & Carron, 2014); *L4. Física – Interação e Tecnologia* (Gonçalves & Toscano, 2013); *L5. Ser Protagonista – Física* (Stefanovits, 2013); e *L6. Física – Ciência e Tecnologia* (Torres, Ferraro, Soares, & Penteado, 2013). Para sistematizar os dados encontrados foram organizadas as estruturas conceituais de cada LD, a partir do assunto entropia. A Figura 1 apresenta a estrutura conceitual do *L2*, trazida apenas como exemplo.

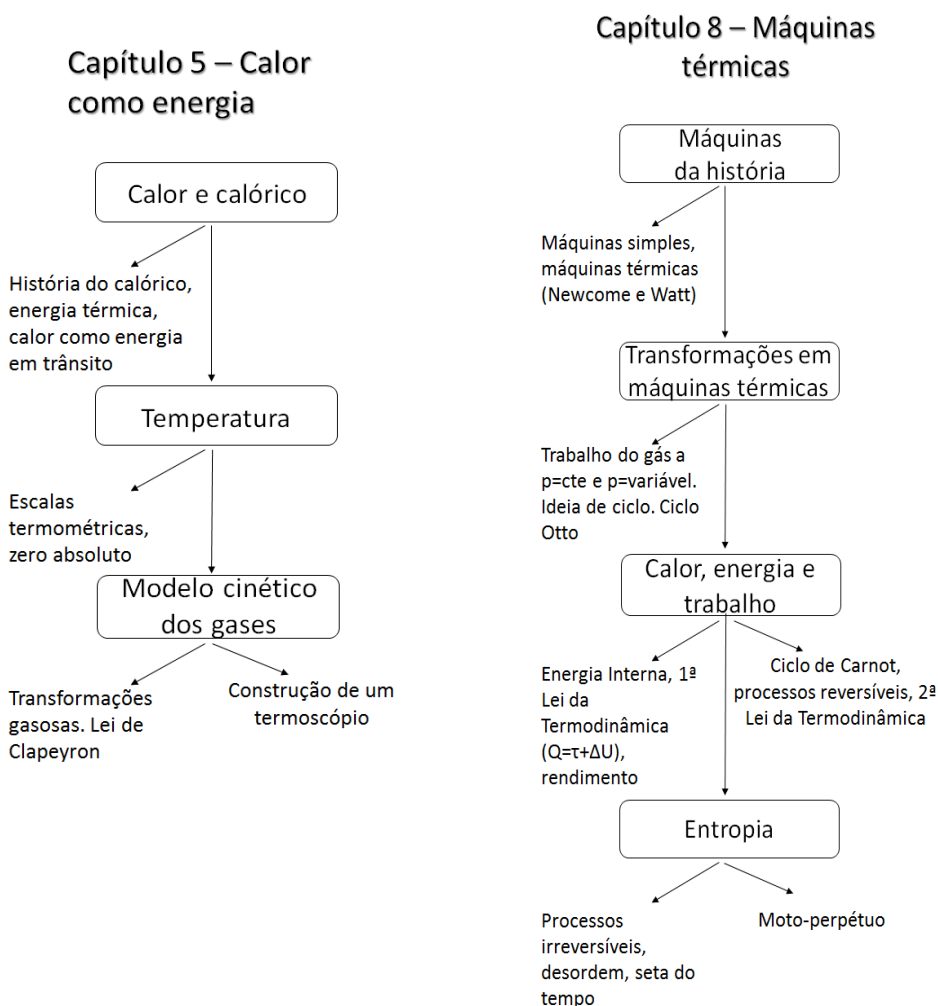


Figura 1. A estrutura conceitual do L2

Além dos resultados obtidos com os LD e dos estudos sobre entropia e complexidade, na etapa (i) foi proposta aulas complexificadas acerca da entropia sob a perspectiva socioambiental. Essa proposta foi sistematizada em um “produto” que traz um resgate histórico sobre a natureza do calor, as máquinas térmicas e a entropia (especialmente, aborda o contexto histórico do desenvolvimento da física térmica, considerando o surgimento e o uso do conceito da entropia) e apresenta as aulas propostas comentadas, visando promover diálogo com o(a) professor(a).

As aulas propostas foram organizadas em etapas de complexificação que nada mais são do que espaços demarcados nos momentos das aulas que sinalizam para os níveis de formulação<sup>3</sup> (Rodríguez-Marín, Fernández-Arroyo, J. & García, J. 2014). A primeira etapa de complexificação, inicia-se com a questão: *É preciso economizar energia? Por quê?* Essa pergunta é central na proposta, sendo retomada em outros dois momentos da aula, de modo a permitir que o(a) estudante reelabore seus argumentos e/ou os contradizem. Como forma de explorar essa questão sugere-se que os(as) estudantes assistam, previamente ou posteriormente, o documentário “Futuro Energético” da *Discovery Channel*, para expandir sua visão sobre energia. Dando sequência, discutem-se as

<sup>3</sup> O educador tem de ter uma hipótese de trabalho sobre o que pode acontecer no processo de ensino e aprendizagem, e essa hipótese não deve referir-se, necessariamente, a uma mudança progressiva e linear, mas uma transição mais aberta a partir de um nível de formulação para outro, também consideram-se contratempos e mudanças não previstas inicialmente.



transformações de energia, tendo como objetivo tornar explícito as “perdas” de energia durante as transformações e possibilitando a introdução de conceitos como processos reversíveis e irreversíveis. Isso permite extrapolar a visão da conservação de energia ao se perceber que, apesar da energia sempre ser conservada, ela acaba se tornando inútil para algumas aplicações. Para isso são propostas duas questões sobre o carregamento da bateria do celular: *Qual o caminho que a energia percorre quando você carrega a bateria de um celular? E quais os tipos de energia você observa nesse percurso?* Estudar a trajetória da energia durante o carregamento da bateria de um celular permite perceber diversas formas de energia e como elas se relacionam a partir das transformações, envolvendo uma situação cotidiana e recorrente.

Para a segunda etapa de complexificação busca-se ampliar a discussão sobre conservação e degradação de energia de modo a inserir outros elementos que potencializam as reflexões, tais como, esgotamento das fontes não renováveis e a aproximação do limite de obtenção de energia a partir de fontes renováveis, a exemplo da hidráulica. A parte central desta etapa volta-se às questões organizadoras: *Quais transformações de energia estão presentes no seu dia a dia? O que acontece com a energia que não utilizamos? O modo como usamos energia afeta o meio ambiente? De que forma?* Pretende-se, a partir dessas perguntas, trazer à tona o uso da energia no contexto da vida cotidiana, as transformações envolvidas e o impacto socioambiental do uso de energia, além de possibilitar a reflexão sobre o consumo exacerbado de bens duráveis e não duráveis. Dados fornecidos pelo Balanço Energético Nacional (BEN) (Brasil, 2017), mostram a relação entre a capacidade energética disponível no sistema hidráulico e a quantidade de energia extraída desse sistema. Outros dados trazem a produção de petróleo ao longo dos anos e, segundo esses dados, estamos em declínio na produção. A análise possibilita uma série de discussões a respeito das fontes não renováveis, tais como: *Em quanto tempo elas irão acabar? Quais medidas os países deverão tomar para manter a oferta de energia aos níveis atuais? Quais mudanças econômicas, políticas e sociais acompanharão essa transição? Existe relação entre o preço dos alimentos e a queda de produção de petróleo?*

O terceiro nível de complexificação inicia-se com a abordagem do conceito de irreversibilidade e o expande para as outras áreas do conhecimento, com foco na questão socioambiental. Em um primeiro momento, propõe-se obter energia a partir de dois sistemas: o primeiro consiste em um par de baldes presos a uma polia e o segundo de uma caldeira a vapor. A ideia aqui é que o(a) estudante perceba que a obtenção de energia a partir destes sistemas acaba configurando um processo irreversível, sendo necessário um agente externo para retornar às condições iniciais. Sendo assim, deve ser capaz de aplicar os conceitos de transformação e degradação de energia e, por fim, o conceito de irreversibilidade. Ainda nesse conjunto de aulas é possível ampliar o alcance dos conceitos aprendidos, em especial, o conceito de entropia. O objetivo com isso é tirar o foco da conservação de energia e colocá-lo na degradação de energia, ou seja, no aumento de entropia. Desse modo, é esperado que o(a) estudante seja capaz de identificar as variações de entropia nas diversas áreas do conhecimento e dar-se conta de que a sociedade deve buscar manter baixo o nível de entropia do planeta. Nesse sentido, propõe-se a discussão sobre os processos de produção e descarte de bens de consumo dando destaque à cadeia de produção linear (extração, uso e descarte). Tomando-se como premissa a ideia de que a medida que a entropia aumenta se diminui a quantidade de energia disponível para realizar trabalho útil (exergia) é possível trazer à tona a questão do consumo e degradação: o ser humano deixa de ser apenas um consumidor de energia e torna-se um agente degradante de energia de alta qualidade, ou seja, baixa entropia. Assim, as escolhas dos indivíduos, seu modo de vida, suas interações com o meio passam a fazer parte do questionamento sobre a necessidade ou não de se economizar energia. Para despertar esses aspectos, propõe-se uma atividade que consiste em escolher um produto que seja utilizado no dia a dia e, cabe ao(à) estudante detalhar a cadeia produtiva do mesmo, ou seja, elencar todos os recursos que são extraídos da natureza, as transformações de energia envolvidas no processo de fabricação, as

poluições geradas, a vida útil desse produto e, posteriormente, todo processo de descarte. Na última parte dessa atividade, denominada A natureza, tem-se um depósito de lixo no qual receberá todo descarte de produtos que já não funcionam mais ou que se tornaram obsoletos (programadamente ou não). É esperado que os(as) estudantes consigam explicitar a entropia ao longo da cadeia produtiva escolhida.

Em (ii), o pesquisador analisou as ideias dos(as) alunos(as) que participaram das aulas, identificados por  $A1, \dots, An$ . Os dados foram obtidos em uma escola particular localizada na cidade de São Paulo, Brasil, com as turmas da 3ª série do ensino médio. A escolha desta turma deu-se em função dos(as) alunos(as) já terem estudado termodinâmica. A coleta de dados envolveu quarenta participantes em atividades abertas, na qual pudessem discutir livremente suas ideias sobre o tema entropia. As atividades desenvolvidas pelos(as) alunos(as) foram escritas de forma que respondessem, em três momentos distintos, a pergunta *É preciso economizar energia? Por quê?*, sendo que a comparação das respostas, dadas em diferentes momentos, também contribuíram para a identificação de parâmetros acerca da complexidade nas aulas de entropia. As escritas dos(as) alunos(as) foram analisadas por meio ATD e a estratégia adotada aproximou-se da realizada por Carvalho (2017).

### **Resultados e interpretações: elementos da complexidade para tratar da entropia nas aulas de ciências**

A partir dos resultados obtidos nas etapas da pesquisa (i) e (ii) e dos estudos sobre complexidade (representados no Quadro 1) foi possível organizar alguns elementos para tratar a entropia de forma mais aberta, pautada por uma discussão voltada aos aspectos mais dinâmicos e que fomentam posicionamentos críticos. Esses elementos, sem a intenção de trazer orientações e modelos para os(as) docentes, apenas sinalizam para alguns aspectos que podem ser considerados ao se buscar uma formação mais complexa.

Em (i) os espaços encontrados, de forma geral, advém das discussões acerca da termodinâmica. Esses espaços indicam a possibilidade de tratar assuntos tais como: **(A)** processos de transformação de energia em conversores a fim de identificar as transformações envolvidas; **(B)** diferenciação do conceito de energia útil e não útil, presentes em situações cotidianas e da realidade; **(C)** tratamento da poluição - água, ar e solo - com foco no aumento da entropia e sua irreversibilidade; **(D)** estudo do conceito neguentropia considerando que a questão, por exemplo, da economia de energia se reverte na economia da entropia; **(E)** discussão sobre a vida, dando espaço para tratar a auto-organização do sistema; **(F)** tratamento da crise dos conversores e do esgotamento das fontes de energia como forma de conscientização para o uso racional de energia; **(G)** reflexão sob o olhar da termodinâmica acerca da sustentabilidade, consumo, riscos e princípio da precaução. Ao aplicar a proposta de aulas na escola básica, caracterizando a etapa (ii) da pesquisa, foi possível identificar nas respostas dos(as) alunos(as) algumas dificuldades e avanços que nos levaram a reorganizar e incorporar outros aspectos conceituais e mesmo estratégicos que podem contribuir para inserir de forma mais efetiva os elementos da complexidade, previamente organizados na etapa (i). Dessa forma, os relatos que seguem estão organizados com a intenção de elucidar as escolhas que serão apontadas ao término desse item.

O primeiro espaço indicado pelos(as) participantes referem-se aos **(H)** conceitos de economia de energia e energia útil, equilíbrio e entropia. Entenderam que a energia sofre transformações e que parte dela é perdida, no sentido de não poder ser utilizada, como por exemplo, a energia térmica e que, portanto, a economia de energia se faz necessária pois, em um dado momento, não será viável produzir energia para atender a demanda mundial. Alguns concordam

com essa linha de raciocínio, acrescentando que a energia térmica (tomada como resíduo de uma transformação) é difícil de ser transformada em outra forma de energia útil. A utilização do termo equilíbrio aparece quando se explica as transformações de energia, afirmando que durante as transformações há uma tendência ao equilíbrio, tornando-a inútil e com alto nível de entropia. Nesse grupo, a economia de energia é justificada pelo fato da entropia não poder ser invertida. Nas palavras de A10 e A21,

A10: A energia deve ser economizada, pois apesar de a energia se conservar e não poder ser criada ou destruída, ela se transforma e durante essas transformações há uma tendência de ela se equilibrar, deixando de ser útil e atingido um nível mais elevado de entropia. Devido o fato de a entropia não poder ser invertida, deve-se economizar energia.

A21: Sim (é preciso economizar energia). Apesar de que a energia não vai sumir do ambiente se for “gasta”, ela vai se transformar em calor (energia térmica) e vai ser difícil conseguir convertê-la novamente para voltar a ter utilidade. Nem sei se é possível recuperar a energia térmica do ambiente. Por isso, é preciso, sim, economizá-la, porque já foi convertida e desperdiçá-la implicaria em ter que usar outros recursos (a maioria não renováveis) para convertê-la novamente.

O segundo espaço indicado pelos(as) participantes referem-se à distinção entre **(I)** transformação de energia e degradação de energia, ordem e desordem. Nas respostas é possível notar a presença do conceito de irreversibilidade, tanto no caso da energia térmica quanto no da entropia. Por outro lado, há respostas que limitam o conceito de energia à energia elétrica e, ao se posicionar sobre a entropia, não elaboram uma definição ou explicação acerca deste conceito. Há ainda o tratamento do conceito de entropia vinculado exclusivamente à ordem e desordem para justificar a economia de energia. Outros defendem a necessidade de economizar energia baseado na preservação ambiental sem estabelecer qualquer relação com os tipos de fontes de energia e com conceitos físicos apresentados durante a proposta de aulas. Nas palavras de A1 e A37,

A1: Existem vários tipos de energia, sobre a questão elétrica eu continuo com a mesma opinião. Sobre a questão sobre entropia e a “energia” usada em todos os processos feitos pelo universo, eu acredito que não exista um meio de esse tipo de energia ser economizada, pelo simples fato de que a cada “etapa” essa energia só é utilizada em uma quantidade menor do que no processo anterior.

A37: É necessário economizar, pois, mesmo que ela se conserve em outras formas, muitas delas não serão úteis, já que se encontram em estado de entropia, ou seja, desordem.

Tomando como exemplo os elementos da complexidade encontrados em (i) [(**A**), (**B**), (**C**), (**D**), (**E**), (**F**) e (**G**)] e (ii) [(**H**) e (**I**)], é possível propor discussões acerca da entropia de forma mais aberta, não sequencial e linearizada, dando espaço para emergir um conhecimento escolar complexificado. Para tanto, a rede de conceitos científicos escolares e assuntos que propomos acerca da entropia (Figura 2) visa articular esses elementos. Ela parece ser um instrumento em torno do qual o(a) professor(a) tem liberdade de selecionar o caminho mais adequado considerando a realidade de seus/suas alunos(as) e os conceitos que deseja trabalhar em sala de aula.

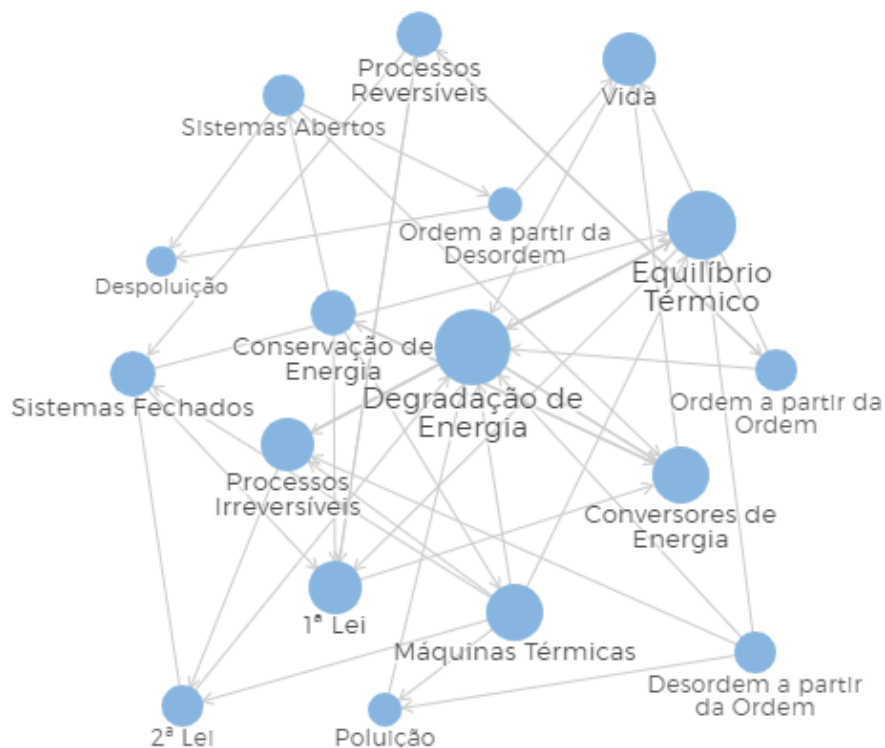


Figura 2. Rede de conceitos científicos escolares e assuntos relacionados à entropia<sup>4</sup>

A rede traz conceitos científicos escolares e assuntos que se relacionam entre si uni ou bilateralmente. Nela é possível identificar conceitos centrais que levam à discussões, por exemplo, acerca dos sistemas fechados (que não trocam energia com a vizinhança), do esgotamento dos conversores energéticos, dos processos reversíveis e irreversíveis, as máquinas térmicas e seu rendimento, os sistemas abertos (que trocam energia com a vizinhança), a auto-organização, a vida, evolução e diversidade, a poluição e despoluição e as limitações ao crescimento econômico. Além disso, a partir dela é possível articular outros elementos como os encontrados nos resultados da etapa (i). Essas articulações podem ser mais gerais, caracterizando o tipo de sujeito que será fomentado. Nesse caso, as estratégias podem promover um pensamento mais complexo e trazer a tona experiências vividas pelos/as estudantes. Quanto à dinâmica e estrutura das aulas, é possível articular alguns elementos da complexidade de forma mais ou menos intensa, o que reflete conjunto de ações que podem contemplar parcialmente os elementos do item *tratá-la em sala de aula*, do Quadro 1. Como forma de exemplificar o uso da rede (assuntos e conceitos científicos escolares) e os elementos da complexidade, apresentamos a três possíveis situações de aprendizagem.

- **Situação 1:** É possível abordar questões problematizadoras do tipo *Você já sofreu com a falta de energia? Quais foram as causas?* Para analisar esse problema nos parece essencial olhar o caminho que a energia percorre. Nesse caso, pode-se pensar em um problema mais local, considerando a questão: *Qual o caminho que a energia percorre quando você carrega a bateria de um celular? E quais os tipos de energia que se transforma ao longo desse percurso?* A intenção com isso é (A) identificar as transformações de energia envolvidas no processo, que é dinâmico e refere-se às sistemas reais/naturais; e (B) diferenciar energia útil de energia não útil em situações cotidianas/ da realidade do sujeito. Nessa reflexão considerar-se-iam, por exemplo, os

<sup>4</sup> Essa rede foi construída a do programa on line Onodo. Com ele foi possível associar os conceitos de modo que o tamanho de cada círculo fosse relativo ao número de conexões com outros conceitos.

conceitos científicos escolares presentes na rede, tais como: 1ª Lei, conservação de energia, conversores de energia, degradação de energia, processos irreversíveis.

- **Situação 2:** Outro exemplo refere-se às questões problematizadoras do tipo *A energia pode acabar? Se isso ocorrer, o que aconteceria com a sociedade atual?* A partir desses questionamentos, que visam atingir um problema mais global, é possível trazer a reflexão para a realidade do sujeito, contemplando um problema mais local, de forma que as reflexões com os(as) estudantes voltem-se às questões do tipo: *Quais transformações de energia estão presentes no seu dia a dia? O que acontece com a energia que não utilizamos?* Ainda pode ser interessante tratar de aspectos sustentáveis, promovendo reflexões a partir das questões: *O modo como usamos a energia afeta o meio ambiente? De que forma?* A intenção com essas problematizações é **(F)** tratar da crise dos conversores e do esgotamento das fontes de energia como forma de conscientização pelo uso racional de energia, dando espaço para discutir a questão da entropia do ponto de vista da poluição (aumento da poluição enquanto aumento da entropia). Alguns dos conceitos científicos escolares presentes na rede referem-se à: máquinas térmicas, equilíbrio térmico, conversores de energia, equilíbrio térmico. Nessa abordagem consideram-se aspectos como integração dos conhecimentos, visto a necessidade de se abordar o tema também do ponto de vista social, ambiental e cultural. Além disso, trata-se de questões socioambientais e situações locais reais.
- **Situação 3:** Pode-se tratar da questão problematizadora *O desenvolvimento tecnológico promovido na Revolução industrial fez surgir a máquina a vapor. Como você imagina que estava a sociedade nesse período (as moradias, os centros de abastecimento, as escolas, os centros de estudos científicos e tecnológicos, a distribuição de renda etc.)?* Essa aproximação aos problemas socioambientais vão dar margem para tratar do conhecimento científico escolar, que pode ser introduzido a partir de questões como: *Como obter trabalho mecânico a partir de uma caldeira a vapor? Esse processo é reversível ou irreversível? De que forma se pode incorporar o conceito de entropia nos processos reversíveis e irreversíveis?* A intenção aqui é **(F)** discutir a limitação da 1ª lei da termodinâmica tomando como exemplos situações que levam aos processos reversíveis e irreversíveis e ainda processos reversíveis por meio de uma ação; **(C)** relacionar a flecha do tempo com o aumento da entropia do Universo; e **(C, H)** abordar a poluição (como das águas e do ar) salientando o aumento da entropia e sua irreversibilidade. Os conceitos científicos escolares presentes na rede são: processos reversíveis e irreversíveis, 2ª lei, sistemas fechados, sistemas abertos, degradação de energia, desordem a partir da ordem, poluição e despoluição. Nessa abordagem também consideram-se aspectos como integração dos conhecimentos visto a necessidade de se abordar o tema sob outros pontos de vista, em especial considerando aspectos históricos. Também ganham espaços aspectos como imprevisibilidade e ordem/desordem.

Salienta-se que essas situações indicam apenas possibilidades de trabalhos em sala de aula, de forma a torná-los mais dinâmicos e abertos. Essas características nos parecem essenciais quando o foco é uma reflexão que promova atitudes mais complexas.

### Considerações finais

A pesquisa mostrou que ao tratar da complexidade no âmbito do ensino e da educação é fundamental indicar um conjunto de elementos [de **(A)** até **(I)**], que nosso caso estava presente nas referenciais teóricos e nas atividades propostas, para que possam ser incorporados, ainda que parcialmente, nas propostas de sala de aula. Para nós, ter os elementos destacados (como *conhecimento escolar complexificado*, integração dos conhecimentos, conhecimento cotidiano, problemas e situações reais/ naturais, questões socioambientais, ordem/desordem, entre outros) foi fundamental no

momento de organizar as ideias e as propostas de aulas. Dizer que uma aula é complexificada sem que tais elementos estejam efetivamente evidenciados dificulta o trabalho docente. Cabe destacar que elementos como conhecimento metadisciplinar raramente foi utilizado pelo pesquisador, o que nos leva entender que o termo ainda necessita de maior aprofundamento teórico.

Também foi possível identificar a adequação na escolha do tema entropia, visto as possibilidades de abordagens oferecidas ao longo do trabalho. Em especial, essas abordagens que estão implícitas nos LD parecem mesmo ser a porta de entrada para tratar das questões socioambientais em currículos mais tradicionais e lineares.

A rede de conceitos científicos escolares e assuntos, voltadas à entropia, conseguiu explicitar os principais aspectos que podem trazer à tona trabalhos mais abertos e complexos. Em nosso entendimento, especificamente ao articular os elementos da complexidade presentes no Quadro 1 com as resultados das etapas da pesquisa, a discussão acerca do conceito de entropia pode perpassar por diversos assuntos que vão desde transformações de energia e sua degradação, destacando os conceitos de energia útil e não útil, passando pela questão do tratamento da poluição - água, ar e solo - com foco no aumento da entropia e sua irreversibilidade, o que permite abordar temas como sustentabilidade, consumo, riscos e princípio da precaução, até a discussão sobre a vida, dando espaço para tratar a auto-organização dos sistemas que parece contradizer a 2ª lei da termodinâmica. Evidentemente, que isso não pode ser direto/pontual e tampouco se pautar por uma única estratégia de trabalho. Há de se considerar as outras esferas do conhecimento que podem contribuir para desvelar o problema a ser estudado.

Também há de se destacar que o conjunto de parâmetros encontrados, sistematizados pelos elementos da complexidade e os conceitos científicos escolares e assuntos (rede), servem apenas para orientar o(a) docente, de forma que as escolhas permanecem em suas mãos. Ou seja, os objetivos primeiros do ensino em seus contextos devem ser privilegiados; as realidades dos sujeitos devem ser contempladas em quaisquer uma das possibilidades de percursos obtidos com os resultados desta pesquisa.

Por fim, há de se considerar que esses elementos podem contribuir para a construção de aulas de ciências mais abertas e dinâmicas, próximas das realidades dos sujeitos. Eles efetivamente estão longe de ser únicos e orientadores de trabalhos complexos, mas delineiam possibilidades. E talvez, nos ajudem a ampliar a discussão acerca da importância de promover um ensino mais crítico e pautada na ciência, capaz de dar voz aos alunos, às alunas, aos professores e às professoras, que são agentes essenciais para a manutenção e ao mesmo tempo à caoticidade auto-organizada que pretendemos encontrar no futuro. E nos cabe finalizar esse trabalho dando destaque ao papel da ciência e a sua valorização na busca por uma sociedade menos linear e empobrecida culturalmente, tal como apresenta García e Watanabe (2019),

E nesta luta para racionalizar e complexificar a nossa percepção dos problemas do mundo é fundamental a revalorização da Ciência. Como já destacamos, não podemos renunciar a um conhecimento organizado que a humanidade vem construindo ao longo do tempo e que é um instrumento essencial para resolver problemas. Obviamente, rejeitamos a instrumentalização da Ciência pelo capitalismo e acreditamos que devemos complementar as contribuições da Ciência com as de outras formas de conhecimento. Mas dado que não estamos em um debate em uma sala de aula, mas diante de uma questão de sobrevivência, qualquer hipótese, qualquer proposta de ação, deverá ser submetida a uma avaliação crítica, à negociação das "verdades" argumentadas com evidências empíricas, sem assumir dogmaticamente determinados postulados que possam supor a nossa extinção.

## Agradecimentos

Essa pesquisa refere-se ao processo nº 2018/19136-3, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), a qual agradecemos o financiamento.

## Referencias

- Calafell, G., Bonil, J. & Pubill, M. J. (2015). ¿Es posible una didáctica de la Educación Ambiental? ¿Existen contenidos específicos para ello? *Revista Eletrónica do Mestrado em Educação Ambiental*, volume especial (abril de 2015), 31-53. Disponible en: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/4987>
- Carvalho, F. R. (2017). *As hipóteses de progressão numa proposta de aulas complexificada sobre o tema aquecimento global*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC.
- Carvalho, I. C. M. (2004). Educação ambiental crítica: nomes e endereçamentos da educação. In: *BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Identidades da educação ambiental brasileira*. Brasília, 13-24. Disponible en: [http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/\\_arquivos/livro\\_ieab.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/livro_ieab.pdf).
- Cavalcanti, T. (2018). *Aspectos da complexificação para tratar a entropia nas aulas de Física*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do ABC.
- Covolan, S. C. T, Silva, D. da (2005). A entropia no Ensino Médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução dos conceitos. *Ciência & Educação*, 11(1), 98-117. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/09.pdf>
- Díaz, J. E. & Watanabe, G. (2019). Menos pode ser mais: do decrescimento e descomplexificação à complexidade. *Linhas Críticas*, 25, 10-33.
- Flores-Camacho, F., Ulloa-Lugo, N. (2014). ¿Cómo enseñan la entropía los profesores universitarios? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 201-221.
- García, J. E. (1988). Fundamentos para la construcción de un modelo sistémico del aula. In: Porlán, R., García, J. E., Canál, P., orgs. *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*. Sevilla, Díada.
- García, J. E. (1998). A natureza do conhecimento escolar: transição do cotidiano para o científico ou do simples para o complexo? In M.J. Rodrigo & J. Arnay (org), *Conhecimento cotidiano, escolar e científico: representação e mudança*. São Paulo: Ática.
- García, J. E. (2004). *Educación Ambiental, Constructivismo y Complejidad*. 1ed. Espanha: Díada.
- García, J. E. (2005). Complejidad y Construcción del Conocimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, numero extra, VII Congreso. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/13309879.pdf>
- Gonçalves Filho, A., Toscano, C. (2013). *Física: Interação e Tecnologia*. São Paulo: Leya.
- Guimarães, M. (2004). Educação ambiental crítica. In: *BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Identidades da educação ambiental brasileira*. Brasília, 25-34. Disponible en: [http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/\\_arquivos/livro\\_ieab.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/livro_ieab.pdf).
- Guimarães, J. O. de S., Piqueira, J. R. C., Carron, W. (2013). *Física*. São Paulo: Ática.
- Jacobi, P. (2003). Educação Ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa*, 118, 189-205. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cp/n118/16834.pdf>
- Jacobi, P. R. (2009). *Educação e sustentabilidade: caminhos e práticas para uma educação transformadora*. São Paulo: Evoluir Cultural.
- López-Lozano, L., Ramírez, E. S. (2015). Energía, problemas socioambientales y libros de texto: ¿una relación compleja?, *Investigación en la escuela*, 86, 61-73. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/41451>
- Martini, G., Spinelli, W., Reis, H. C. & Sant'Anna, B. (2013). *Conexões com a Física*. São Paulo: Moderna.

- Moraes, R.; Galiuzzi, M. C. (2007). *Análise Textual Discursiva*. Ijuí: Unijuí.
- Morin, E. (2007). *Introdução ao pensamento complexo*; tradução de Eliane Lisboa. Porto Alegre: Sulina.
- Pietrocola, M., Pogibin, A., Andrade, R. de & Romero, T. R. (2013). *Física – Conceitos e contextos: pessoal, social e histórico*. São Paulo: FTD.
- Prigogine, I., Stenger, I. (1984). *A nova aliança*. Brasília: Universidade de Brasília.
- Rodríguez-Marín, F. & García, J. E. (2009). El activismo que no cesa: obstáculos para incorporar la metodología didáctica basada en la investigación del alumno a la práctica de la educación ambiental. *Investigación en la Escuela*, 67, 23-36. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/60787>
- Rodríguez-Marín, F., Fernández-Arroyo, J. & García, J. (2014). Las hipótesis de transición como herramienta didáctica para la educación ambiental. *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(3), 300-318. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/287574/375727>
- Torres, C. M. A., Ferraro, N. G., Soares, P. A. de T. & Penteadó, P. C. M. (2013). *Física – Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Moderna.
- Stefanovits, A. (2013). *Ser Protagonista - Física*. São Paulo: SM.
- Watanabe, G. (2012). *Aspectos da complexidade: contribuições da Física para a compreensão do tema ambiental*. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, Brasil.
- Watanabe, G. & Rodríguez-Marín, F. (2018). Aspectos da complexidade nas questões socioambientais: as abordagens no Brasil e na Espanha. *Ciência & Educação*, 24(3), 543-562. Disponible en: <http://www.redalyc.org/toc.oa?id=2510&numero=57536>

### Información sobre los autores

Autor: Thiago Cavalcanti  
Institución: Universidade Federal do ABC  
Email: [thiago.cavalcanti@ufabc.edu.br](mailto:thiago.cavalcanti@ufabc.edu.br)

Autor: Giselle Watanabe  
Institución: Universidade Federal do ABC  
Email: [giselle.watanabe@ufabc.edu.br](mailto:giselle.watanabe@ufabc.edu.br)





Revista académica evaluada por pares y de acceso abierto

Número 98

31 de julio de 2019

ISSN 2443-9991



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. Los/as lectores/as pueden compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, así como adaptar, remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente. Para ello, deben de hacerlo bajo los siguientes términos: dando crédito de forma adecuada, brindando un enlace a la licencia e indicando si se han realizado cambios. Si se remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Más detalles de la licencia de Creative Commons se encuentran en <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

Cualquier otro uso debe ser aprobado en conjunto por el autor/es, o Investigación en la Escuela.



Revista Editada por la Universidad de Sevilla. <https://editorial.us.es/es/revista-investigacion-en-la-escuela>

Por errores y sugerencias contacte a [secretaria@investigacionenlaescuela.es](mailto:secretaria@investigacionenlaescuela.es)

La revista Investigación en la Escuela desde su origen en 1987 hasta su nº 87 (2015) fue editada por Díada Editora.

---

