

A perspectiva da complexidade e da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade para enriquecer uma proposta de aulas de natureza ambiental

Carla Sarmento Santos e Giselle Watanabe

Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil. E-mails:
carla.bio.ciencias@gmail.com, giselle.watanabe@ufabc.edu.br

Resumo: Tem sido cada vez mais necessário promover um ensino de ciências voltado às demandas do mundo contemporâneo, o que inclui os desafios socioambientais. Para tratá-los de forma crítica será necessário formar sujeitos que tomem decisões considerando as incertezas e os riscos desse mundo. Isso pode se dar por meio de uma abordagem complexa capaz de também incorporar elementos da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Diante disso, esse artigo traz elementos da perspectiva da complexidade e da abordagem CTS visando enriquecer uma proposta de aulas de ciências intitulada Células: como são e se organizam? Metodologicamente, as aulas foram produzidas em colaboração com os professores da escola pública brasileira e então enriquecidas com tais elementos que, por sua vez, são obtidos através da Análise Textual Discursiva. Os resultados indicam a importância de contemplar os conceitos metadisciplinares de interação, sistema e reorganização permanente; e a uma Educação Ambiental complexa em que ganhe espaço as diversas dimensões do ser humano, como biológica, social, cultural e histórica, e aspectos da tecnologia relacionados a questões sociais.

Palavras-chave: CTS, complexidade, educação ambiental, proposta de aulas de ciências.

Title: The perspective of complexity and the STS approach to enrich a proposal for environmental classes.

Abstract: It has become increasingly necessary to promote science education focused on the demands of the contemporary world, which includes socio-environmental challenges. To address them critically, it will be essential to educate individuals who make decisions while considering the uncertainties and risks of this world. This can be achieved through a complex approach capable of also incorporating elements of Science, Technology, and Society (STS). This article presents elements from the perspective of complexity and the STS approach, aiming to enrich a proposed science lesson titled Cells: What Are They and How Are They Organized? Methodologically, the lessons were developed in collaboration with Brazilian public school teachers and then enhanced with these elements, which, in turn, were obtained through Discursive Textual Analysis. The results indicate the importance of including metadisciplinary concepts such as interaction, system, and permanent reorganization, as well as a complex Environmental Education that embraces the diverse dimensions of human beings—biological, social, cultural, and historical—and aspects of technology related to social issues.

Keywords: complexity, environmental education, science class proposal, STS

Introdução

Uma Educação Ambiental (EA) capaz de mobilizar os sujeitos para a tomada de decisões também se preocupa com os crescentes desafios ambientais e sociais que permeiam o mundo contemporâneo. Com raízes em movimentos ativistas e de conscientização, essa EA tem buscado engajar indivíduos e comunidades em ações sustentáveis voltadas ao cuidado com o meio. No entanto, com a intensificação das crises socioambientais os seus riscos e incertezas foram expostos, de modo que também foi evidenciado o fracasso dos modelos tradicionais de EA. Tais modelos frequentemente adotam abordagens fragmentadas, simplificadoras e reducionistas (Morin, 2015), em que se desconsideram as inter-relações entre natureza, sociedade, economia, política e cultura, por exemplo. Nesse cenário, é possível que a EA permaneça restrita a uma única disciplina escolar ou se limite a aspectos biológicos e físicos do ambiente, sem articulação com contextos que originam (ou potencializam) os problemas ambientais; além disso, há uma tendência a estimular ações individualizadas, como economizar água em situações domésticas, sem discutir ou aprofundar possíveis transformações estruturais e coletivas que incluem gerar problematizações acerca da influência das grandes corporações.

Essa preocupação com uma outra EA aparece nos documentos que orientam o ensino no país. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) enfatiza a interação entre sujeito e ambiente e a importância de abordar assuntos correlatos de forma transversal e integradora. No mesmo caminho das orientações da BNCC (Ministério da Educação, 2017) e dos PCN+ (Ministério da Educação, 2002), a Resolução nº 2/2012 do Ministério da Educação (2012) reforça a importância da Educação Ambiental como componente transversal e interdisciplinar nos currículos escolares e que, como dispõe o seu Artigo 6º, deve superar “a visão despolitizada, acrítica, ingênua e naturalista ainda muito presente na prática pedagógica das instituições de ensino” (Ministério da Educação, 2012, p. 2).

Isso demanda, do nosso ponto de vista, considerar tendências e vertentes que incorporem a interconexão entre os sistemas naturais, sociais e econômicos. Layrargues e Lima (2014) descrevem três correntes de pensamento que orientam as práticas e discussões sobre EA no Brasil, a saber: macrotendência conservacionista que se volta à preservação, com foco em ações como a criação de áreas protegidas, promoção do ecoturismo e do consumo consciente; macrotendência pragmática que se volta aos interesses de mercado, com foco em ações como a coleta seletiva, reciclagem e consumo sustentável; e macrotendência crítica que se volta à promoção da participação popular e a transformação social, com foco em ações como organização de movimentos sociais e luta por políticas públicas que assegurem a justiça ambiental. Em convergência a essas ideias, Rodríguez e García (2009) trazem discussões sobre como os modelos de EA estão articulados ao processo de ensino e aprendizagem. Destacam os modelos Naturalista, Conservacionista, Tecnocrático e de Ação Social, que tendem a apresentar limitações pedagógicas, seja pela falta de aprofundamento didático, pelo foco técnico ou pela superficialidade nas ações práticas. Nesse contexto, o modelo ativista é frequentemente adotado, mas com pouca ênfase na construção crítica do conhecimento. Os autores propõem a EA integradora, em que se destaca como mais abrangente e complexa, uma vez que reconhece a importância da interdisciplinaridade, da construção do conhecimento pelos estudantes em conjunto às propostas curriculares e da reflexão crítica sobre os problemas socioambientais. Em

consonância a essas ideias, Watanabe (2021) e Watanabe e Kawamura (2014) ressaltam a EA_{CCR} (Educação Ambiental Crítica, Complexa e Reflexiva), apontando para a necessidade de formar sujeitos capazes de compreender a complexidade da temática ambiental, a exemplo de relações de poder e as desigualdades sociais. Elas descrevem as perspectivas formativas a partir das dimensões para a complexidade, a saber: educacional, ensino-aprendizagem e epistemológica. A dimensão educacional, em especial, busca promover a reflexão sobre as próprias ações e seus impactos, promovendo a consciência dos riscos e a participação crítica na sociedade.

No que diz respeito à perspectiva da complexidade, ela possibilita analisar o conhecimento de forma semelhante ao conceito de um sistema aberto, considerando variáveis que o influenciam, incluindo imprevisibilidade e incerteza (Morin, 2015). Segundo Morin (2015, p.13), a complexidade “é um tecido (*complexus*: o que é tecido junto) de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas: ela coloca o paradoxo do uno e do múltiplo”. Criticando, de forma consequente, a hiperespecialização e o distanciamento entre áreas do conhecimento para compreensão de fenômenos do mundo real; um dos propósitos do pensamento complexo, então, é integrar as partes do todo. Importante também destacar a visão acerca da relação entre o humano e o meio em que vive, enquanto parte constituinte, que interfere e é influenciado. Nesse modo, entender o ser humano como agente que emerge da própria sociedade a qual ajuda a criar é um pensamento importante para a complexidade. No contexto escolar, García (1998; 2004) entende a escola enquanto espaço viável para construção de um conhecimento com características próprias: o conhecimento escolar, que agrega diferentes esferas de conhecimento. Discute, então, o conhecimento escolar complexificado, que emerge a partir da interação entre o conhecimento cotidiano e o conhecimento científico em processos de enriquecimento, a partir de uma aprendizagem não linear. Segundo García (1998; 2004), o conhecimento escolar é determinado por meio da integração transformadora e das contribuições de diversas formas de conhecimento. Ainda, defende que a escola propicie uma mudança radical na forma de pensar, incentivando a mudança de formas de pensamento simples por outras mais complexas.

No que diz respeito à abordagem CTS, Delizoicov e Auler (2011) discutem a influência de demandas sociais no desenvolvimento de ciência e tecnologia, elucidando a não neutralidade ligada à produção de conhecimento. Os autores destacam a íntima relação entre CTS influenciadas por interesses sociais, políticos e econômicos num contexto local e temporal. Por exemplo, a seleção de temas de pesquisa, as fontes de financiamento e as próprias carreiras científicas estão inseridas em um contexto social que influencia a visão de mundo. Dagnino (2014) discute aspectos da tecnologia e sociedade fazendo paralelos entre a tecnologia convencional (TC) e a tecnologia social (TS) - a TC, geralmente desenvolvida por empresas privadas, concentra-se em maximizar lucros e eficiência, priorizando a produtividade e a automação; já a TS, geralmente prioriza soluções próximas às realidades e necessidades da comunidade, se propõe a ser uma ferramenta para a inclusão social e o desenvolvimento sustentável. A TS defende, dentro da abordagem CTS, que o conhecimento deve ser construído de forma colaborativa e participativa. Nesse contexto, Strieder (2012) aponta para as articulações entre propósitos CTS e parâmetros educacionais, incentiva um olhar mais amplo incorporando condições ambientais, políticas, sociais, etc, ao desenvolvimento de ciência e tecnologia.

No ensino de ciências há trabalhos que demonstram uma preocupação em articular este campo com a complexidade e abordagens CTS. Autores como Macêdo *et al.* (2025) destacam que não existe um nível fixo de complexidade aplicável a todas as situações, uma vez que ela é inerente à própria realidade, e o grau de aprofundamento dependerá das escolhas e mediações docentes. Como possíveis caminhos de aproximar o ensino de ciências das abordagens da complexidade e CTS, os autores sugerem estratégias, como a união de saberes dispersos entre as disciplinas e abordagens a partir de temas (Macêdo *et al.*, 2025). Vasconcelos e Freitas (2012) acrescentam a essas ideias ao discutir a importância de um ensino contextualizado e socialmente comprometido. As autoras enfatizam dois grandes eixos para a articulação entre complexidade, CTS e ensino de ciências: a educação científica e a interdisciplinaridade, fundamentados em quatro pontos-chave: cidadania, tomada de decisão, contextualização com foco nas realidades locais e compreensão das implicações sociais da ciência e da tecnologia (Vasconcelos e Freitas, 2012, p. 101).

E como então articulamos a EA com a perspectiva da complexidade e a abordagem CTS? Os aspectos discutidos na EA integradora (Rodríguez e García, 2009; Garcia, 2004), na macrotendência crítica (Layrargues e Lima, 2014) e na EA_{CCR} (Watanabe, 2021; Watanabe e Kawamura, 2014), trazem aproximações com os elementos que fundamentam a perspectiva da complexidade (Morin, 2021; 2015; 2000; Garcia, 1998; 2004) e a abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (Strieder, 2012; Delizoicov e Auler, 2011; Dagnino, 2014). Isso se dá, por exemplo, ao destacar que a ciência e a tecnologia não estão isoladas da sociedade, mas inseridas em um contexto social e histórico complexo, em que as relações de causa e efeito são multidimensionais; a incerteza e a imprevisibilidade são fatores presentes; e a ação humana é fundamental para compreender e transformar as realidades. A EA quando articulada à essas perspectivas deixa de ser tratada de forma isolada, passando a se aproximar efetivamente dos problemas da realidade dos nossos estudantes.

Nesse sentido, buscamos pensar uma EA complexa que apresente algumas dessas características, ou seja, que considere o ser humano enquanto parte constituinte do meio em que vive - atuante e ativa, reconhecendo as relações, interações e influências recursivas da sociedade quanto ao desenvolvimento de ciência e tecnologia. A partir desses pressupostos e preocupações, este artigo propõe trazer elementos da perspectiva da complexidade e da abordagem CTS visando enriquecer uma proposta de aulas de ciências intitulada Células: como são e se organizam? Para isso, foram produzidas as aulas em colaboração com os professores da escola pública brasileira no período da pandemia e agora são revisitadas e enriquecidas com elementos da complexidade e da abordagem CTS.

Fundamentação teórica

Elementos da Complexidade

A perspectiva da complexidade questiona as visões fragmentadas da ciência para estudar sistemas dinâmicos e reais, e isso se estende a visões de mundo. Morin (2015) apresenta três princípios para a complexidade, são eles: dialógico, recursivo e hologramático. O princípio dialógico discute e aproxima conceitos aparentemente distantes e antagônicos, como ordem e desordem, e nos leva a compreender que forças opostas podem coexistir e se complementar, ao invés de se anular. No contexto da complexidade, então, o dialógico propõe uma

abordagem integradora, onde o conflito e a contradição são vistos como parte natural do desenvolvimento e da evolução de sistemas. O princípio recursivo, por sua vez, destaca a ideia de retroalimentação e interdependência entre os elementos de um sistema; ao invés de uma sequência linear de causas e efeitos, a recursividade sugere que os componentes de um sistema se influenciam mutuamente de maneira contínua, em um ciclo dinâmico. Isso pode ser observado em processos sociais, culturais ou biológicos em que simultaneamente há influências. O princípio hologramático indica que cada parte de um sistema complexo contém, em si, o todo desse sistema; ou seja, as partes e o todo são inseparáveis, e o todo não pode ser completamente compreendido sem considerar cada uma de suas partes. Sugere, por exemplo, que as dinâmicas globais de um sistema estão presentes em escala menor em cada um de seus componentes, como a relação entre o indivíduo e a sociedade ou entre o ser vivo e o ecossistema. Sobre isso, Morin (2000, p. 67) destaca que "assim como cada ponto de um holograma contém a informação do todo do qual faz parte, também, doravante, cada indivíduo recebe ou consome informações e substâncias oriundas de todo o universo."

Ainda no que diz respeito ao entendimento da complexidade e o homem, o autor apresenta as várias dimensões do ser humano, seja ela biológica, ética, cultural, histórica. Reforça a ideia de que é impossível compreender as relações sociais de forma mais profunda e justa a partir da disjunção das esferas que compõem o ser humano - como podemos entender a complexidade do mundo sem reconhecer a interconexão das múltiplas dimensões que definem a experiência humana? Essa perspectiva ressalta a importância de uma abordagem integrada que leve em conta a diversidade de fatores que moldam tanto o indivíduo quanto o contexto social e ambiental em que se insere. Morin (2021) aponta as várias influências para composição da identidade humana, como a identidade familiar, de cultura e costumes, étnico-religiosa, da que comporta ancestralidade e linhagem biológica. Ao tentar definir sua própria identidade, Morin (2021) nos contempla com o seguinte trecho "A vida, fenômeno terrestre, está em mim. E, como todo ser vivo é constituído por moléculas, que são composições de átomos, que são uniões de partículas, estão em mim todo o mundo físico e a história do universo." (Morin, 2021, p. 23). Acrescentando a essa ideia, é possível destacar também a reflexão que propõe acerca da identidade terrena, descrita pelo autor em "Os sete saberes necessários à educação do futuro" (Morin, 2000), são eles: as cegueiras do conhecimento, princípios do conhecimento pertinente, a condição humana, a identidade terrena, enfrentar as incertezas, a compreensão e a ética do gênero humano. Este saber - a identidade terrena - envolve, de modo geral, ensinar ao indivíduo a reconhecer-se como parte do todo planetário. Para isso, Morin propõe o desenvolvimento de uma "consciência ecológica" (p. 76), que enfatiza a coabitação de todos os seres vivos em um mesmo espaço planetário. Essa perspectiva é fundamental para cultivar uma compreensão mais ampla e integrada do nosso papel no mundo.

García (1998), também preocupado com aspectos da complexidade, discute os conceitos metadisciplinares de (i) diversidade; (ii) interação; (iii) sistema; (iv) mudança; (v) reorganização permanente. Para García (1998), os conceitos metadisciplinares ajudam a organizar ações e práticas pedagógicas, havendo uma grande conexão entre os cinco conceitos - e quanto maior a conexão e possibilidade temática de abordar mais conceitos, maior o caminho para a

complexificação do conhecimento. O terceiro e quinto conceitos são foco deste artigo.

O conceito de interação relaciona materiais que exercem influência mútua - sendo possível aproximá-lo do princípio de recursividade tratada por Morin (2015) - e que essa interação modifica, de alguma maneira, a própria natureza dos objetos. Além disso, é a interação que comporta a ideia de propriedades emergentes a partir das interações entre os sistemas, ou seja, novas propriedades podem surgir a partir dessas influências (Garcia, 1998). Para exemplificar, trazemos um comentário do autor acerca da interação ecológica entre presa e predador, a qual supõe uma regulação recíproca de ambas as populações, de forma que esse princípio pressupõe uma contínua evolução em suas histórias evolutivas - e configura uma organização trófica do ecossistema. (Garcia, 1998, p. 101). O conceito de interação incentiva, portanto, um novo olhar para as relações entre os organismos, em uma perspectiva de que novas interações podem gerar organizações mais complexas. Destaca-se que no conceito de interação se desenvolve a ideia do surgimento de propriedades novas - as propriedades emergentes, que não existiam isoladamente nos componentes do sistema antes da interação. Por exemplo, em um sistema social, as novas propriedades emergem das relações e interações entre os indivíduos; isso significa que um grupo social apresenta características que não estão presentes em cada pessoa individualmente. Além disso, os próprios indivíduos também adquirem novas qualidades ao se integrar e ocupar um "lugar" específico dentro desse sistema. (Garcia, 1998, p. 102).

Para tratar o conceito de reorganização permanente é importante antes abordar o conceito de sistema. A ideia está intimamente ligada à noção de fluxo, e um sistema pode ser caracterizado como aberto, quando permite trocas de matéria, energia e informação com o meio externo; ou fechado, quando não realiza essas trocas. Nesse contexto, Morin (2015) destaca um paradoxo fundamental: a permanência de certos fenômenos não se deve ao equilíbrio, mas sim ao desequilíbrio constante, que impulsiona a reorganização e a renovação contínuas do sistema. Nesse sentido, afirma que, "por um lado, o sistema deve se fechar ao mundo exterior a fim de manter suas estruturas e seu meio interior que, não fosse isso, se desintegraria. Mas é sua abertura que permite esse fechamento." (Morin, 2015, p. 21). Assim, para que o sistema mantenha uma estabilidade harmônica, é necessária uma reorganização permanente por meio de processos de auto-organização. Dessa forma, sistemas abertos apresentam um equilíbrio dinâmico, marcado por mudanças contínuas e adaptações constantes.

Percebe-se que os conceitos metadisciplinares são complementares e ressaltam o movimento da mudança do pensamento simplificador para o complexo, implicando em uma eventual mudança de postura e ações. Assim, estimula-se autonomia, senso crítico, criatividade e reflexão sobre seu posicionamento no mundo. Garcia (1998) elucida que a perspectiva da complexidade "supõe uma busca de novas formas de formular e enfrentar os problemas, mais do que novas verdades que nos explique a realidade" (p. 85). Nesse sentido, reforça o posicionamento da EA complexa enquanto integradora e não aditiva.

Abordagem CTS

A abordagem CTS assinala que questões relacionadas à ciência e tecnologia influenciam e são influenciadas pelas dinâmicas sociais, culturais e políticas, bem como propõe uma análise crítica do impacto das tecnologias na sociedade, ressaltando a importância de tomadas de decisões, incentivando a participação social. Um dos pressupostos é contribuir para a formação de cidadãos mais conscientes e capazes de compreender o papel da ciência e da tecnologia em suas realidades.

Delizoicov e Auler (2011) apresentam reflexões sobre a relação CTS com foco na "não-neutralidade" da ciência. A partir dessa perspectiva evidenciam a formação social do espaço e o papel da ação humana na construção do conhecimento científico e tecnológico. Percorrem a visão epistemológica da ciência, questionando a ideia tradicional de que a ciência é neutra e descolada da sociedade, e demonstrando como a produção de conhecimento é influenciada por fatores sociais, históricos e políticos, por exemplo. A ideia de um conhecimento objetivo e universal - as verdades absolutas - através de métodos racionais e imparciais não comportam explicações para situações. Os autores apontam a necessidade de reflexão ética e social, no sentido de que, ao reconhecer essa não-neutralidade, a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico estão mais alinhados a valores éticos e sociais comuns. Sobre isso, os autores afirmam que

[...] a demanda para CT ocorre, então, através de uma seleção que direciona a localização de problemas eleitos para serem investigados. Os critérios de seleção procuram atender a distintos e conflitivos interesses que são priorizados num determinado tempo e num determinado espaço (Delizoicov e Auler, 2011, p. 267)

Seguindo esse raciocínio de envolver a sociedade em questões de ciência e tecnologia, Strieder (2012) defende a superação de uma visão fragmentada da educação, a partir de dois planos que se articulam (propósitos e pressupostos), desde reconhecer a presença da tecnologia em nosso cotidiano, enquanto ferramenta e instrumentos, a desenvolver um olhar mais crítico, por exemplo ligado aos interesses e escolhas ao desenvolvimento de algum aspecto pelo viés ambiental, bem como questionar pontos positivos e negativos e estabelecer aproximação para as questões sociais e tomadas de decisão individuais e coletivas. Strieder (2012) também destaca as diferentes formas de organizar a sociedade considerando a "participação social", que trata: do reconhecimento da presença na sociedade, estabelecendo uma maior aproximação entre as pessoas e ciência e tecnologia, em geral aborda temas presentes na mídia e no dia-a-dia, como o uso do celular (p. 202); da discussão de riscos e benefícios, promovendo uma avaliação de pontos positivos e negativos sobre determinada tecnologia e envolvendo tomadas de decisões individuais (p. 204); da discussão de problemas e impactos ou transformações em que o foco está voltado a entender as implicações de ciência e tecnologia em contextos distintos, ampliando o olhar individual para um de tomada de decisões coletivas (p. 204); da identificação de contradições articuladas aos mecanismos de pressão, voltando a compreender propósitos e interesses políticos para implementação ou produção de determinado produto (p. 205); e das esferas políticas, ligadas à compreensão e discussão de políticas públicas, busca incluir interesses e motivações sociais.

Dagnino (2014) apresenta perspectivas da tecnologia ligada à inclusão social. Faz um comparativo entre a tecnologia convencional (TC) e a tecnologia social (TS), que apresentam abordagens distintas em relação ao desenvolvimento e à

aplicação de soluções tecnológicas. A TC, geralmente desenvolvida por empresas privadas, foca na maximização de lucros e na eficiência, priorizando a automação e a produtividade, tende a operar de maneira fragmentada, frequentemente ignorando os impactos sociais e ambientais de suas inovações. Comenta sobre o monopólio do conhecimento, a hegemonia para manter relações de hierarquia entre classes da sociedade e reforçar os detentores do poder. Assim, explica que

[...] a TC é também segmentada: não porque, ao sê-la, se torne mais eficiente ou "produtiva", e sim porque, ao não permitir o controle do produtor direto sobre o processo de trabalho, torna sempre necessário um patrão, um capitalista, um chefe, um capataz, ou, mais modernamente, um engenheiro. (Dagnino, 2014, p. 22)

A TS busca atender às necessidades locais e promover a inclusão social, enfatiza a construção colaborativa, envolvendo a comunidade no processo de desenvolvimento e escolha de interesses e demandas, visando impactos sociais e ambientais articulados às demandas de uma sociedade justa.

Percurso metodológico

Este trabalho faz parte de uma dissertação de mestrado. Configura-se como um trabalho de natureza qualitativa (Gerhardt e Silveira, 2009), utilizando a Análise Textual Discursiva (ATD) (Moraes e Galiuzzi, 2007) como metodologia de análise, em que a interpretação, compreensão dos significados dos textos e reformulações são fundamentais, se construindo a partir de uma perspectiva dinâmica. As etapas da pesquisa referem-se a: (1) produção de uma proposta de aulas de cunho ambiental; e (2) enriquecimento da proposta de aula com elementos da complexidade e abordagem CTS. Destaca-se que ATD foi utilizada para a análise teórica da perspectiva da complexidade (Morin, 2021; 2015; 2000; Garcia, 1998; 2004; Rodríguez e García, 2009; Watanabe, 2021; Watanabe e Kawamura, 2014) e da abordagem CTS (Strieder, 2012; Delizoicov e Auler, 2011; Dagnino, 2014), bem como para a organização de dados e elaboração das categorias temáticas apresentadas na etapa (2).

Em (1) foi construída uma proposta de aulas intitulada "Células: como são e se organizam?" (Santos e Watanabe, 2024), considerando o processo dialógico e interativo entre o grupo de pesquisa GrECC (Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades), do qual essas autoras fazem parte, e três professoras (atuantes nas disciplinas de ciências e biologia) de escola da rede pública estadual da região de Santo André, São Paulo/Brasil. A proposta de aulas buscou contemplar as demandas apresentadas pelas professoras, como o compromisso com o currículo e a inclusão de questões que favorecessem discussões contextualizadas. O público alvo refere-se ao Ensino Fundamental II, em especial para 6º e 9º anos (faixa etária de 11 a 14 anos). Sobre o processo de construção, foram realizados cerca de dez encontros, sendo parte presencial e parte virtual em decorrência da pandemia de Covid-19. Para a coleta de dados considerou-se as reuniões online realizadas pelos aplicativos *Zoom* e *Google Meeting*, e as anotações no Diário do Professor (Pórlan e Martín, 1997), em que se destaca a participação ativa dos professores e dos pesquisadores em um processo dinâmico de construção (Morin, Ciurana e Motta, 2009).

A proposta de aulas foi organizada em 4 encontros (Figura 1) e estruturada de forma que cada encontro não corresponda necessariamente a uma aula de 50 minutos, mas a um bloco temático, permitindo maior flexibilidade na abordagem

dos conteúdos. As aulas versam sobre conceitos de citologia e níveis de organização dos seres vivos, articulados a fatores sociais contextualizadores, como a pandemia de Covid-19.

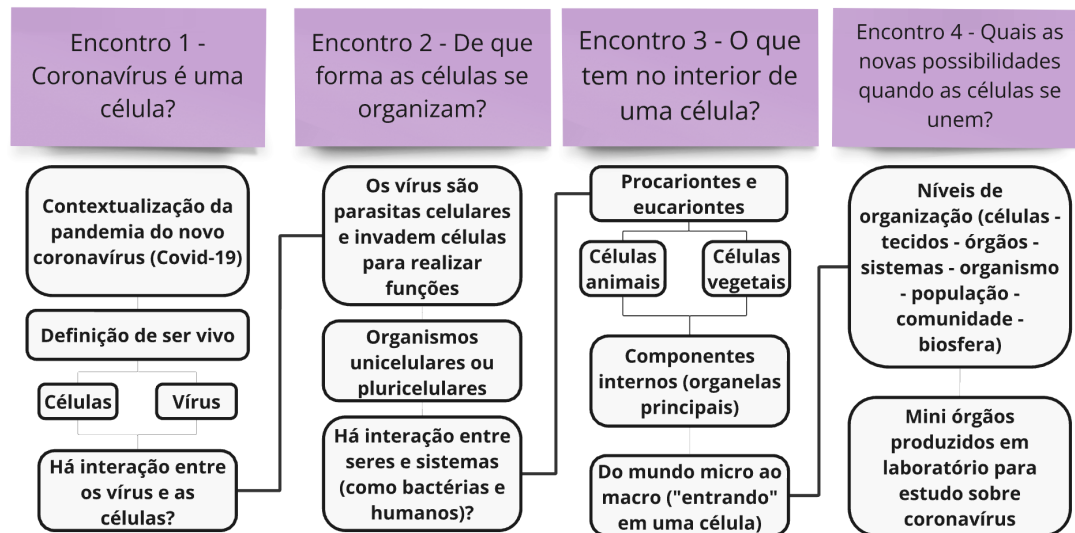


Figura 1: estrutura da proposta de aula evidenciando os assuntos e suas questões orientadoras.

O Encontro 1 tem como foco discutir o mundo micro e macro e vice versa, partindo de um contexto recente - a pandemia de Covid-19 - para tratar da existência de células e relacionar a pandemia viral - buscando estabelecer interações entre essas entidades celulares e virais; há sugestão de atividade de elaboração de carta nesse contexto. O Encontro 2 amplia a reflexão sobre a diversidade dos seres vivos e suas interações, sendo possível tratar sobre vacinas, carteira de vacinação e aprofundar conceitos biológicos de classificação; há sugestão de atividade de elaboração de iogurte caseiro. O Encontro 3 discute a célula destacando a dinâmica no seu interior desse sistema de forma que é possível explicitar as relações entre micro e mesocosmo. No Encontro 4 a discussão amplia a diversidade dos organismos e suas interações, apresentando conjuntos menores que interagem e formam conjuntos maiores que se articulam entre si e com os outros formando sistemas cada vez mais complexos; há sugestão de atividade de leitura de reportagem de caráter biotecnológico sobre mini-órgãos.

Em (2) realizou-se o enriquecimento da proposta de aulas apresentada em (1) a partir das indicações do referencial teórico e da ampliação da análise considerando novas situações latentes à sociedade no ano de escrita deste trabalho, 2024. Por exemplo, foi possível incorporar reflexões sobre a intensificação de queimadas e das chuvas a partir do uso de notícias veiculadas na mídia nacional (BBC Brasil) e internacional (Reuters). Especificamente para esse artigo, analisa-se o Encontro 4 visto que há maior potencial de articulação a esses fatos apresentados. Por fim, destaca-se que a partir da leitura aprofundada dos referenciais foi possível construir duas categorias emergentes que enriquecem as propostas de aulas, a saber: (C1) voltada aos conceitos metadisciplinares de interação, sistema e reorganização permanente (buscam a complexidade); e (C2) EA para a complexidade ao compreender as diversas dimensões do ser humano. O processo de categorização foi pautado pelo movimento constante entre desconstrução dos textos e reconstrução

interpretativa, característica central da ATD, possibilitando a identificação de elementos estruturantes que articulam a perspectiva da complexidade e da abordagem CTS, tendo como pano de fundo a busca por uma EA integradora, conforme discutido na introdução deste artigo.

Resultados e discussões

A proposta de aulas Células: como são e se organizam? (Santos e Watanabe, 2024) fundamenta-se na perspectiva da complexidade, o que, dentre outros aspectos, preserva a concepção aberta de organização. Isso significa que há possibilidades de ampliar as discussões a partir de outros interesses que contemplam a realidade de cada escola; de encerrar as reflexões a cada uma das aulas; e de trabalhar de forma desconectada (ou seja, não há necessidade de seguir uma ordem sequenciada, da aula 1 até a 4). Assim, indicamos situações possíveis para ampliar as discussões a partir de nossas intenções sem que, necessariamente, sejam essas as escolhas mais adequadas para cada realidade escolar. Ressalta-se que os assuntos (queimadas e chuvas) foram selecionados como aspecto a ser enriquecido na proposta devido à sua recorrência e preocupação social, refletidas na mídia — como a recomendação da Fiocruz Amazônia para o uso de máscaras durante períodos críticos de exposição à fumaça (Fiocruz Amazônia, 2024) e imagens divulgadas em reportagens mostrando o “corredor” de fumaça das queimadas se espalhando pelo país (BBC News Brasil, 2024). Além disso, esses assuntos costumam ser abordados em momentos distintos do currículo ou em outras disciplinas, como na geografia. Isso reforça a ideia de que ao abordar questões abertas e dinâmicas, é importante ir além das fronteiras disciplinares, permitindo que diferentes saberes se interrelacionem e contribuam para uma compreensão da totalidade contextualizada (interações entre fatores biológicos, sociais, culturais e ecológicos etc.).

O Encontro 4, que é o foco desta análise, trata dos níveis de organização dos seres vivos a partir da realidade dos estudantes, o mesocosmo (García, 2004), incentivando a discussão de interações entre os seres vivos - desde organizações celulares a populacionais e da biosfera. Esta aula tem por objetivo discutir o potencial de quando as células se articulam e trabalham juntas. Sinaliza-se, então, que pequenas estruturas celulares compõem um grande sistema que está em constante interação e as células, nesse sentido, assumem possibilidades e desempenham novos papéis, ou seja, funções diferentes. A intenção é destacar o potencial de interação entre os sistemas considerando os níveis de organização dos seres vivos. Privilegia-se então o potencial da interação, caracterizando propriedades emergentes (considerando a perspectiva da complexidade). Nesse caso, destacam-se que os níveis de organização dos seres vivos seguem caminhos de maior complexidade, uma vez que pressupõem maior interação entre os elementos. Ao final desse encontro, indica-se a leitura de uma reportagem de caráter biotecnológico, que apresenta miniórgãos criados em laboratório para estudo de Covid-19, dando margem para trabalhar o papel da divulgação da ciência e tecnologia e sua projeção futura. Essa perspectiva pode trazer fundamentos da educação CTS à medida em que aborda a tecnologia e suas contribuições para o avanço científico. Ainda, desperta possibilidades para se tratar de temas como a biotecnologia.

Para enriquecer essas reflexões da proposta inicial - Encontro 4, foram consideradas duas possibilidades de intervenção/ abordagem, organizadas por

C1 e C2. A Figura 2 identifica tais categorias e seus principais assuntos no Encontro 4.

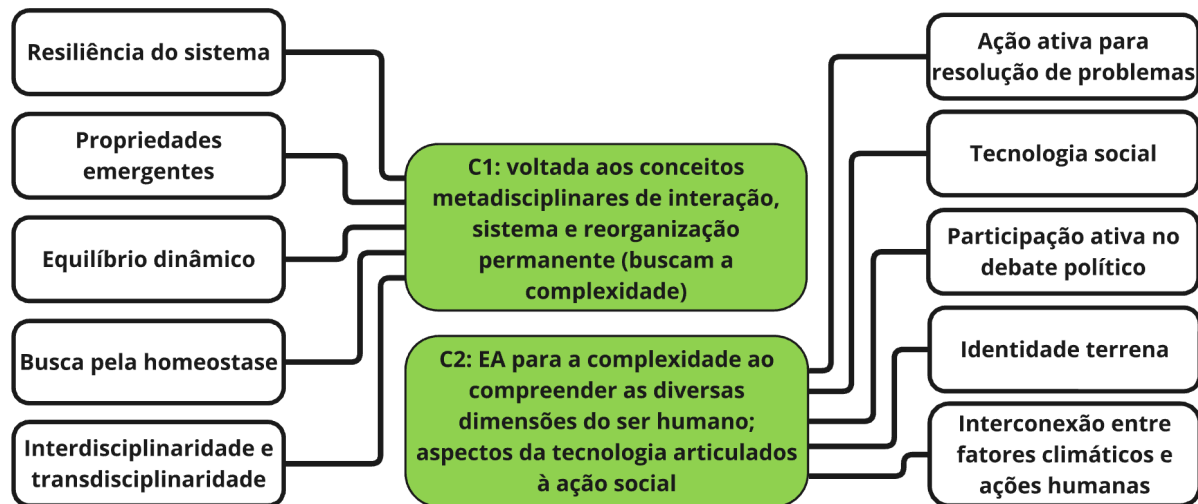


Figura 2: apresenta as categorias C1 e C2, representadas pelos retângulos centrais mais escuros; e os elementos que as caracterizam, representados pelos retângulos adjacentes conectados a cada uma (à esquerda, refere-se a C1; à direita, refere-se a C2).

Em C1, voltada aos conceitos metadisciplinares de interação, sistema e reorganização permanente. Considerando o conceito metadisciplinar de reorganização permanente é possível enriquecer a aula por meio da abordagem sobre a busca pela homeostase, seja a nível intracelular (microcosmo), a nível de comunidade clímax no ecossistema (macrocosmo), ou a nível do funcionamento dos sistemas fisiológicos (mesocosmo). Havendo, com isso, a promoção de uma discussão sobre a busca por equilíbrio dinâmico. O conceito metadisciplinar de interação pode promover uma maior articulação entre diferentes disciplinas e contribuir para abordagens mais integradas dos fenômenos. Por exemplo, ao incorporar reflexões como o sistema imunológico (biologia) em interação com fatores ambientais (geografia) e comportamentais (filosofia/sociologia) e questões abertas, como as possibilidades de respostas adaptativas diante de variação ambiental, estresse ou doença, contribui-se para que os sujeitos compreendam a influência mútua desses fatores. Além disso, reforça a ideia de que o sistema corpo humano é composto por um conjunto de subsistemas que interagem para mantê-lo em funcionamento, podendo emergir novas relações/interações. De acordo com Garcia (1998) o pensamento simplificador não rejeita a interação entre elementos do sistema, mas não compreende que ela gera novas propriedades - as emergentes - a partir dessas interações. A relação estabelecida neste pensamento é superficial e fragmentada, inclusive entre disciplinas - reforçando suas fronteiras. Por isso, incorporar esses conceitos metadisciplinares dá oportunidade para que outras reflexões possam surgir de forma que o diálogo promova um pensamento que saia do simples rumo ao complexo (Morin, 2015).

Ainda em C1, o conteúdo curricular sobre níveis de organização dos seres vivos (Ministério da Educação, 2017) em geral é apresentado como uma relação hierárquica, sem aprofundamento entre a interação entre eles. Por exemplo, ao comentar sobre a formação de tecidos a partir da união de células, não se aborda sobre a propriedade emergente que o tecido muscular apresenta, como a

capacidade de contrair e relaxar, que não são presentes em células quando observadas individualmente. Além disso, ao abordar os níveis de organização apenas de maneira hierárquica, se perde a oportunidade de explorar a dinâmica entre organismos e seus ambientes, assim como as relações de interdependência que existem em ecossistemas. Assim, do ponto de vista da perspectiva da complexidade, ao estudar a interação a nível de ecossistemas, é possível discutir como essas relações contribuem para a manutenção da biodiversidade e a resiliência do sistema como um todo. Nesse sentido, tomando as reflexões de Morin (2015, p. 13) acerca da complexidade como um tecido de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas e as noções do princípio hologramático (Morin, 2000), torna-se possível compreender fenômenos como os *desastres* ambientais a partir de uma lógica não fragmentada. No caso das recentes enchentes na região sul do Brasil, por exemplo, uma abordagem complexa permite integrar dimensões ecológicas, sociais, econômicas, políticas e tecnológicas, evidenciando como esses eventos são resultado de múltiplas interações entre os ecossistemas. Por exemplo, podem ser tratadas a partir das relações entre o modo como ocupamos o solo, a desigualdade no acesso à infraestrutura em áreas urbanas, as mudanças climáticas globais e a gestão pública, para além dos fatores estritamente naturais. Ainda neste contexto, a abordagem CTS, tal como salientam Delizoicov e Auler (2011), indica a necessidade de trazer a discussão CT de forma que estejam articuladas e criticamente abordadas, o que leva a possibilidade de colaborar para as discussões envolvendo questões como a expansão urbana e se o uso de tecnologias ameniza as situações catastróficas. Ao analisar, por exemplo, os impactos das fortes chuvas, é possível evidenciar como a combinação de fatores naturais e antrópicos, aliada à desigualdade no acesso a tecnologias e serviços urbanos, podem agravar os efeitos dos desastres sobre determinadas populações. Quando se analisa criticamente como CT são mobilizadas nas decisões sobre a ocupação do solo, o planejamento urbano e a gestão ambiental, é possível tomar decisões em que se considere a forma como essas escolhas promovem o aumento da vulnerabilidade ou de resiliência de diferentes regiões e populações. Nesse sentido, áreas urbanizadas sem planejamento e sem infraestrutura adequada tendem a ser menos resilientes, enquanto cidades que integram saberes diversos (técnicos, ecológicos, sociais) no seu planejamento tendem a responder melhor a crises. Portanto, pensar a relação entre CT e sociedade nesse contexto permite discutir não apenas os efeitos dos desastres, mas principalmente as condições estruturais que afetam a capacidade de resposta e reorganização dos sistemas, tal como salienta Beck (2010) ao discutir o princípio da precaução. Incorpora-se, portanto, aspectos sociais e políticos a aspectos ecológicos e ambientais, reforçando as articulações entre complexidade e CTS, no âmbito da EA integradora.

Em C2, voltada para a EA para a complexidade ao compreender as diversas dimensões do ser humano, é possível promover o enriquecimento do Encontro 4 ao incorporar estudos sobre a dinâmica dos sistemas, por exemplo, analisando o processo das queimadas. Embora não sejam um fenômeno novo, elas parecem mais severas devido à combinação de fatores naturais e antrópicos. E essa relação é que deve ser analisada. Ou seja, é preciso analisar a dinâmica do próprio planeta (de seus sistemas e subsistemas) em contrapartida às ações de interferência dos seres humanos no meio, que potencialmente alteram as relações nesse sistema com uma velocidade nunca antes vivenciada por gerações recentes passadas. A mesma perspectiva pode ser evidenciada ao

tratar das chuvas intensas, tais como as que ocorreram na Europa, no segundo semestre de 2024, e as na região sul do Brasil, já citadas anteriormente. Esses eventos ilustram a interconexão entre fatores climáticos naturais e ações antrópicas, impactando a infraestrutura urbana e o próprio cenário natural, gerando prejuízos significativos. Essa relação pode ser discutida procurando estabelecer distintas conexões com aspectos políticos ao olhar para a necessidade de planejamento urbano e estratégias de gerenciamento de recursos hídricos para mitigar os efeitos das chuvas intensas, incluindo políticas de drenagem e prevenção de desastres; com aspectos socioeconômicos ao tratar do impacto nas comunidades, especialmente em áreas vulneráveis, em que as inundações podem resultar em perda de propriedades, aumento de custos de reconstrução e interrupção de serviços essenciais; com aspectos da própria dinâmica natural em que as consequências para o ecossistema incluem erosão do solo, contaminação de fontes de água e a perda de biodiversidade.

Sobre essas situações, Morin (2000) discute a intervenção a partir da identidade terrena, podendo então ser relacionada à proposta ao ressaltar a necessidade do ser humano reconhecer a condição de seres planetários, ligados ao destino da Terra e, portanto, também responsáveis por seu futuro. Ele defende que a educação deve ensinar a história da era planetária, mostrando como a humanidade se tornou interdependente e como os problemas globais afetam a todos. A EA complexa pode ser relacionada à proposta ao inserir o debate do indivíduo como parte integrante do sistema, para que possa compreender a relevância de suas ações e impactos. Assim, questões abertas, como discussões sobre incêndios em regiões da amazônia e os impactos da fumaça em outras regiões brasileiras contribuem para promoção de tal pensamento, pois permitem que os estudantes reflitam sobre as causas e consequências desse fenômeno em escala local e global. Ao reconhecerem que ações humanas, como hábitos de consumo e decisões políticas, estão conectadas a esses eventos, desenvolvem a noção de que fazem parte de um sistema planetário interdependente - como propõe Morin (2000). Ainda nesta linha, o autor aponta que a relação entre ser humano e a natureza deve evoluir da concepção de dominação para a interdependência. Para incentivar uma visão mais complexa e reflexiva, Watanabe e Kawamura (2014, p. 260) acrescentam que "os humanos se reconheçam, não como detentores de meios para o uso e dominação sobre a natureza, mas como parte dos processos e interações históricos que se estabelecem".

Ainda em C2 é possível relacionar a abordagem CTS ao tratar de aspectos da tecnologia articulados à ação social - reconhecimento, questionamento e reflexão. Tomando o conceito de tecnologia social (Dagnino, 2014) e relacionando a procura de integrar soluções às realidades, há um potencial de discussão da proposta de aulas, articulado a queimadas e chuvas intensas, no que diz respeito à promoção de uma educação para além do caráter informativo. Essas abordagens permitem análises de como as tecnologias sociais podem ser aplicadas para mitigar os impactos das queimadas e das inundações, por exemplo, e incentivam os estudantes a reconhecer sua responsabilidade e ação diante dessas questões socioambientais. Ao propor soluções que respeitem os modos de vida das comunidades locais, também é favorecida a participação ativa no debate político. Considerando os parâmetros e perspectivas educacionais de Strieder (2012), é possível ampliar esse debate ao incorporar reflexões sobre a diferença entre incêndios naturais e criminosos, incentivando os estudantes a questionar interesses econômicos e políticos envolvidos, os

impactos sobre as populações atingidas e a atuação (ou omissão) do poder público. Com isso, fomenta-se a formulação crítica e participativa de soluções coletivas.

Conclusões

Nesse artigo refletimos sobre aspectos da complexidade e de abordagens CTS a fim de pensar em elementos que ajudem a construir uma EA complexa. Para essa construção, compreendemos a necessidade de pensar sobre a não neutralidade da ciência, bem como as diferentes possibilidades de participação social envolvendo ciência e tecnologia; e defendemos, juntamente com nossos referenciais teóricos, a necessidade de promover a mudança de um pensamento simples para outro complexo, levando a mudanças de posturas e tomadas de ações que levem a incorporar as dinâmicas e incertezas do mundo real.

Imbuídas por essas ideias, identificamos a necessidade de considerar aulas que contemplem os conceitos metadisciplinares de interação, sistema e reorganização permanente; propusemos articular saberes e ampliar o olhar sobre os conteúdos escolares, incentivando conexões entre escalas biológicas, sociais e ambientais. Ao deslocar o foco de uma visão hierárquica e fragmentada para uma abordagem relacional e dinâmica, a proposta favorece a compreensão da complexidade dos fenômenos e das implicações das escolhas humanas na construção de um mundo mais resiliente, justo e sustentável.

Além disso, também entendemos a importância de contemplar o ser humano - e todas as suas dimensões - enquanto parte do meio em que vive. Esse é um fator fundamental para compreender a importância de aproximar a EA complexa da complexidade e da CTS. E isso foi contemplado ao tratar na proposta os conceitos de citologia e os níveis de organização dos seres vivos pela perspectiva micro ou macro, com articulações ao plano da realidade do estudante. Assim, criou-se espaços para discutir as dinâmicas de relações entre os seres vivos e não vivos. De forma geral, a proposta de aulas procurou caminhar por uma perspectiva da EA complexa, buscando superar a fragmentação de conteúdos e a abordagem reducionista de fenômenos naturais e sociais. Ela se pautou também pela dinamicidade e flexibilidade, em que o grau de aprofundamento de conteúdos e reflexões podem ser tomados a partir da escolha docente, considerando a realidade em que atua. Ou seja, trata-se de propostas abertas que podem iniciar e encerrar reflexões em uma única aula; ou ampliar suas abordagens a partir da mesma prerrogativa. A proposta de aulas pode oferecer, portanto, um outro olhar para se pensar o ensino de ciências e promover um maior aporte para lidar com os desafios contemporâneos.

Agradecimentos

Esse trabalho faz parte do projeto "A perspectiva da complexidade para abordar questões socioambientais e riscos", financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) referente ao processo nº 2024/03921-4. Plataforma Brasil (CAAE: 69067823.1.0000.5594).

Referências bibliográficas

BBC News Brasil. (2024, 19 de agosto). *As impressionantes imagens que mostram 'corredor' com fumaça de queimadas se espalhando pelo Brasil*. BBC News Brasil. <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cx29n0321k50>

Beck, U. (2010). *Sociedade de risco: Rumo a outra modernidade*. São Paulo: Editora 34.

Dagnino, R. (2014). A tecnologia social e seus desafios. Em *Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas* (pp. 19–34). Campina Grande: EDUEPB.

Delizoicov, D., e Auler, D. (2011). Ciência, tecnologia e formação social do espaço: Questões sobre a não-neutralidade. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 4(1), 1–27.

Fiocruz Amazônia. (2024, 13 de agosto). *Fiocruz Amazônia recomenda uso de máscaras nesse período crítico de exposição à fumaça*. ILMD/Fiocruz Amazônia. <https://amazonia.fiocruz.br/?p=47815>

Garcia, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Espanha: Díada Editora S. L.

Garcia, J. E. (2004). *Educación ambiental, constructivismo y complejidad*. Díada Editora, S.L.

Layrargues, P.P., e Lima, G.F.C. (2014). As macrotendências Político-Pedagógicas da Educação Ambiental Brasileira. *Revista Ambiente & Sociedade*, 17(1), 23–40.

Macêdo, L. C. A., Neves, M. C. D., Nunes, A. O., e Taveira, D. A. (2025). O ensino de ciências, a abordagem CTS e a complexidade: Desafios e possibilidades. *Revista Educação Ambiental em Ação*, 23(91).

Ministério da Educação. (2002). *PCNs+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação.

Ministério da Educação. (2012, 15 de junho). *Resolução nº 2, de 15 de junho de 2012: Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental*.

http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=10988-rcp002-12-pdf&category_slug=maio-2012-pdf&Itemid=30192

Ministério da Educação. (2017). *Base Nacional Comum Curricular: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação.

Moraes, R., e Galiazzi, M. C. (2007). *Análise Textual Discursiva*. Ijuí: Editora Unijuí.

Morin, E. (2000). *Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro*. (C. E. F. da Silva e J. Sawaya, Trads.). São Paulo: Cortez; Brasília: UNESCO.

Morin, E.; Ciurana, E. R., e Motta, R. D. (2009) *Educar na era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana* (3ª ed.). São Paulo: Cortez; Brasília: UNESCO.

Morin, E. (2015). *Introdução ao pensamento complexo* (E. Lisboa, Trad.; 5ª ed.). Sulina.

Morin, E. (2021). *Lições de um século de vida* (1ª ed.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Porlán, R., e Martín, J. (1997). *El diario del profesor*. Díada Editora.

Rodríguez, F., e 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. <https://doi.org/10.12795/IE.2009.i67.02>

Santos, C., e Watanabe, G. (2024). Elementos da complexidade em uma proposta de aula de ciências para uma Educação CTS. *Indagatio Didactica*, 16(3), 95-112. <https://doi.org/10.34624/id.v16i3.38433>

Strieder, R. B. (2012). *Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas*. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo.

Vasconcelos, E. R., e Freitas, N. M. S. (2012). O paradigma da sustentabilidade e a abordagem CTS: Mediações para o ensino de ciências. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 9(17), 89–108.

Watanabe, G., e Kawamura, M. R. (2014). Uma educação na perspectiva ambiental crítica, complexa e reflexiva. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(2).

Watanabe, G. (2021). As contribuições dos aspectos da complexidade para um ensino de física mais crítico. *Revista Brasileira de Ensino de Física (ONLINE)*, 43.