

Elementos do Risco, da Complexidade e da Educação Ambiental nas Formações em Ciências da Natureza

Elements of Risk, Complexity, and Environmental Education in Science Teacher Education

Elementos del Riesgo, la Complejidad y la Educación Ambiental en la Formación Científica

Helena Fonseca Laranjeira,  Carla Sarmento Santos,  Anna Cecilia de Alencar Reis, 
Luciano Fernandes Silva,  Leandro Londero da Silva,  Maurício Pietrocola,  e Giselle Watanabe 

Resumo

Assuntos que a realidade nos impõe, como aqueles permeados pelo risco e pelas incertezas, especialmente voltadas à questão ambiental, são preocupações também recorrentes na escola. Uma educação em ciências potencialmente capaz de lidar com essa realidade vem sendo estudada pelo Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades, Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares, Equipe de Educação em Física Susana Leher de Souza Barros e Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Educação Ambiental. Esses grupos de pesquisa promovem reflexões que abordam temas como o risco, a complexidade e a educação ambiental. Diante disso, este artigo investiga as aproximações e singularidades entre as abordagens desses investigadores, identificando os principais elementos que contribuem para uma formação capaz de lidar com a realidade dinâmica e complexa do mundo contemporâneo. Metodologicamente, os dados se referem às propostas e ações dos grupos, que foram organizadas em uma rede estruturada, e a análise baseia-se nos procedimentos da Análise de Conteúdo. Dos resultados, os grupos compartilham o entendimento de que a formação em ciências deve comportar uma reflexão sobre os riscos, as incertezas, o efeito bumerangue, a relação global-local, a criticidade, a dialogicidade e considerar elementos da interdisciplinaridade e da perspectiva freireana da Abordagem Temática.

Palavras-chave: risco, complexidade, educação ambiental, ensino de ciências

Abstract

Contemporary realities, often marked by risk and uncertainty, particularly regarding environmental issues, have increasingly become matters of concern within schools. Seeking to understand how science education can meaningfully engage with such contexts, researchers from Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades, Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares, Equipe de Educação em Física Susana Leher de Souza Barros and Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Educação Ambiental have been developing studies that explore the interconnections between risk, complexity, and environmental education. This article examines the intersections and distinctive perspectives that emerge from these research groups, identifying the key elements that contribute to an educational approach capable of addressing the dynamic and complex challenges of the contemporary world. Methodologically, the study draws on the proposals and actions of these groups, organized within a structured network, and employs Content Analysis procedures. The findings suggest that science education should foster reflection on risk and uncertainty, the boomerang effect, the global-local relationship, critical and dialogical thinking, as well as incorporate elements of interdisciplinarity and Freirean principles inspired by the Thematic Approach.

Keywords: risk, complexity, environmental education, science teaching

Resumen

Las realidades contemporáneas marcadas por el riesgo y la incertidumbre, especialmente en lo que respecta a las cuestiones ambientales, se han convertido en temas de creciente preocupación en el ámbito escolar. Con el objetivo de comprender cómo la educación científica puede responder de manera significativa a estos contextos, los grupos de investigación Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades, del Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares, de la Equipe de Educação em Física Susana Leher de Souza Barros y del Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Educação Ambiental vienen desarrollando estudios que exploran las relaciones entre riesgo, complejidad y educación ambiental. Este artículo analiza los puntos de convergencia y las particularidades que emergen de las perspectivas de estos grupos, identificando los principales elementos que contribuyen a una formación capaz de afrontar los desafíos dinámicos y complejos del mundo contemporáneo. Metodológicamente, el estudio se basa en las propuestas y acciones de los grupos, organizadas en una red estructurada, y utiliza procedimientos de Análisis de Contenido. Los resultados indican que la educación científica debe promover la reflexión sobre el riesgo y la incertidumbre, el efecto boomerang, la relación global-local, el pensamiento crítico y dialógico, e integrar elementos de la interdisciplinariedad y los principios freireanos del Enfoque Temático.

Palabras clave: riesgo, complejidad, educación ambiental, enseñanza de las ciencias

Introdução

Os riscos e as incertezas estão presentes na nossa realidade e caracterizam-se como elementos essenciais para abordar as questões de natureza ambiental. Em outras palavras, para tratar as questões ambientais, há de se considerar sistemas abertos e dinâmicos (Leff, 2010; Prigogine, 1996). Tais fatores, muitas vezes imprevisíveis e invisíveis (Beck, 2010), compõem o rol das preocupações da nossa sociedade. A escola, diante disso, enfrenta mais um desafio: como tratar, neste espaço, as questões ambientais contemporâneas (abertas e dinâmicas) e, ao mesmo tempo, formar sujeitos capazes de se posicionar sobre essa realidade? Essa é uma questão sem uma única resposta porque há distintas formas de abordá-la, por exemplo, focando no posicionamento dos estudantes a partir de uma ideia já consolidada, como plantar árvores, reciclar materiais etc.

Na busca por respostas, acreditamos que os elementos da complexidade (Morin, 2007, 2020; Mitchell, 2009; Watanabe, 2012) e do risco (Beck, 2010) e as preocupações com a Educação Ambiental (EA) (Layrargues; Lima, 2014; García, 2004) podem contribuir para um ensino de ciências mais contextualizado, que acompanha as mudanças atuais da sociedade. Neste artigo, queremos investigar como grupos de pesquisa vêm propondo estabelecer as relações entre esses elementos com o ensino de ciências a partir de aspectos e parâmetros teóricos. Entre eles, destacam-se o Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades (GrECC), o Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares (NUPIC), a Equipe de Educação em Física “Susana Leher de Souza Barros” (EduFis) e o Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Educação Ambiental (GPECEA), que articulam, em suas diferentes abordagens, a construção de um ensino de ciências comprometido

com os desafios contemporâneos. Em consonância com o projeto nº 2024/03921-4 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), foram selecionados grupos do Estado de São Paulo e um de Minas Gerais que apresentam uma significativa produção científica sobre os elementos de risco, complexidade e educação ambiental nas proposições teórico-metodológicas que oferecem avanços para se pensar e produzir o ensino de ciências na atualidade.

Nessa perspectiva, considerando os documentos que orientam a educação brasileira, a EA é tratada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Ministério da Educação, 2017), tendo como preocupação a interação sujeito-ambiente e enfatizando a necessidade de tratar questões socioambientais de forma transversal e integradora. Além disso, a Lei nº 9.795 (Política Nacional de Educação Ambiental) expõe a necessidade de implementar a EA nas escolas, visando fortalecer a consciência crítica sobre problemas socioambientais, incentivando ações individuais e coletivas na preservação do meio ambiente. Ainda ressalta a necessidade de incorporar a EA, interdisciplinarmente, em todos os níveis do processo educativo (Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999). As alterações propostas posteriormente deram destaque às mudanças climáticas, à proteção da biodiversidade e aos riscos e vulnerabilidades (Lei nº 14.926, de 17 de julho de 2024). A temática do risco aparece na BNCC em momentos específicos, por exemplo, no Ensino Médio, ao sugerir trabalhar competências e habilidades que auxiliem os estudantes a identificarem potenciais riscos ao buscar informações em diferentes mídias tecnológicas (Ministério da Educação, 2017, p. 474); e nas habilidades específicas das ciências da natureza, ao mencionar a avaliação de potenciais riscos à saúde e ao ambiente, em temas como radiação, toxicidade e reatividade de materiais e produtos (EM13CNT103 e EM13CNT104)¹ (Ministério da Educação, 2017, p. 555). Por fim, a BNCC aproxima-se de aspectos da complexidade ao trabalhar o compromisso com a educação integral e o desenvolvimento do estudante, indicando “compreender a complexidade e a não linearidade desse desenvolvimento, rompendo com visões reducionistas” (Ministério da Educação, 2017, p. 14); e ao indicar, nos componentes curriculares, o incentivo a processos e práticas de investigação, a intensificação do diálogo entre realidade, análises e intervenções, considerando contextos mais amplos e, conseqüentemente, complexos (Ministério da Educação, 2017, p. 551).

Considerando os estudos referenciados em EA, García (2004) ressalta a importância de promover processos educativos que favoreçam a complexificação do conhecimento, entendendo a EA como espaço de reflexão aberta, capaz de articular incertezas e os diferentes conhecimentos. Layrargues e Lima (2014) destacam a necessidade de reconhecer a natureza multidimensional da EA, que articula sociedade,

1 Código alfanumérico que identifica habilidade, área ou componente curricular e competência definida na BNCC. As habilidades são: a) EM13CNT103 - Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica; b) EM13CNT104 - Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis. (Ministério da Educação, 2017, p. 555).

indivíduo e educação. Contribuindo para o diálogo, Calegari et al. (2025) tratam de uma EA relacionada à biodiversidade, considerando a importância de discutir questões ambientais tanto no âmbito global quanto local, aspecto que converge com a perspectiva da complexidade. Já Fernandes e Parolin (2023) analisam uma educação transdisciplinar e consideram a EA como detentora de um pensamento complexo e contrarreducionista para abordar questões sociais e ambientais contemporâneas. Os trabalhos do GPECEA, como o elaborado por Pereira et al. (2021), buscam relacionar a complexidade, a EA e o ensino de ciências, considerando a perspectiva da complexidade como uma ferramenta para melhorar e promover reflexões sobre metodologias e práticas pedagógicas nessas áreas.

No que se refere aos estudos sobre risco, Beck (2010) e Beck et al. (1997) discutem a concepção da sociedade industrial e o conceito da modernização reflexiva, abordando os riscos e suas origens, percepções e possíveis consequências aos modos de vida atuais. Também tematizam o risco alguns trabalhos do NUPIC, tal como o de Pietrocola et al. (2025), que buscam estratégias para tratar elementos da teoria da sociedade de risco e riscos manufaturados no ensino de ciências. Para Pietrocola e Souza (2019), faz-se necessária a construção dessas estratégias, uma vez que os currículos não incorporam, ou incorporam pouco, a discussão sobre a sociedade de risco e seus riscos manufaturados. Já os trabalhos do EduFís, especificamente o de Silva et al. (2023), listam, a partir de uma coleção de livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2020–2024, a presença da abordagem de risco em temáticas de água e recursos hídricos nas obras.

Quanto à perspectiva da complexidade, Morin (2007) defende o conceito de pensamento complexo, propondo uma mudança de paradigma na qual se confrontam a fragmentação dos conhecimentos e a visão simplificadora do mundo, buscando promover uma visão sistêmica e interconectada da realidade. Já Alves e Bego (2020) dialogam indiretamente com a perspectiva da complexidade ao considerar, entre os resultados de uma revisão sistemática, as ideias de Morin em trabalhos sobre estratégias de ensino e aprendizagem. O GrECC defende a complexidade, julgando que é fundamental considerá-la em distintas dimensões. Por exemplo, Carvalho et al. (2022, p. 169) defendem que a formação nessa perspectiva permite que “o desenvolvimento de um conhecimento aberto, dinâmico e integrado possibilita a formação de um cidadão capaz de se tornar consciente e responsável, criando seu próprio saber do mundo”. Também indicam uma formação complexificada a partir de temáticas ambientais, por exemplo, ao abordar conteúdos de física pela questão das mudanças climáticas (Carvalho; Watanabe, 2025).

Diante desses elementos — complexidade, risco e EA — e considerando os grupos de pesquisa que se dedicam a pensar sobre a formação de sujeitos para a contemporaneidade, o objetivo deste artigo é investigar as aproximações e singularidades entre as abordagens do GrECC, GPECEA, NUPIC e EduFís, identificando os principais elementos que contribuem para uma formação de sujeitos capazes de lidar com a realidade. Tal formação implica propor ações escolares e/ou aprofundar perspectivas epistemológicas.

Referencial Teórico

Elementos da Educação Ambiental

Historicamente, a EA pode ser compreendida como um campo plural e em constante ressignificação, influenciado por transformações sociais, culturais e políticas e em resposta à crise socioambiental contemporânea. Layrargues e Lima (2014) investigam o campo da EA no Brasil utilizando referenciais que tratam da Ecologia Política e da noção de Campo Social de Bourdieu; argumentam que a EA não é um universo homogêneo, mas sim um espaço tratado por diferentes agentes com concepções e interesses distintos. Para compreender melhor essa diversidade, os autores identificam três macrotendências que se organizam em um espectro que vai das propostas mais conservadoras, centradas em mudanças individuais e setoriais, até perspectivas transformadoras, orientadas por mudanças estruturais e políticas. Nesse sentido, descrevem três correntes de pensamento que orientam as práticas e discussões sobre EA no Brasil: a macrotendência *conservacionista*, focada em uma prática educativa que busca despertar uma nova sensibilidade em relação à natureza, sob a lógica do “conhecer para amar, amar para preservar” (p. 27) e que enfatiza a “valorização da dimensão afetiva em relação à natureza” (p. 30); a *pragmática*, focada na gestão de resíduos e no consumo sustentável, superando a visão individualista, mas que se volta a tendências e interesses de mercado; e a *crítica*, que defende uma postura transformadora e procura “contextualizar e politizar o debate ambiental” (p. 33). Nos contextos sociais atuais, torna-se fundamental pensar a EA a partir da tendência crítica, ou seja, para além de abordagens fragmentadas e reducionistas, reconhecendo-a como prática que articula múltiplos saberes, promove a problematização da realidade e estimula a construção de alternativas sociais e ambientais mais justas e sustentáveis. Como afirmam os autores, “a magnitude dos desafios e das incertezas que vivenciamos na alta modernidade não comporta reduções, exige, ao contrário, abertura, inclusão, diálogo e capacidade de ver o novo e de formular respostas para além do conhecido” (Layrargues; Lima, 2014, p. 33). Em convergência com essas ideias, Rodríguez e García (2009) trazem discussões sobre como os modelos de EA (naturalista, conservacionista e tecnocrático) estão articulados ao processo de ensino e aprendizagem. Ainda apresentam a EA integradora, que defende a formação de cidadãos conscientes, críticos e capazes de agir de forma responsável em relação ao meio ambiente e se destaca como um modelo mais abrangente e mais complexo.

Aproximando as discussões do contexto escolar, García (2004) defende que a escola é um espaço possível para a promoção de reflexões abertas que considerem a dinamicidade e a complexidade das relações. O autor discute uma EA que ultrapasse a visão fragmentada e reducionista, reconhecendo a interdependência entre sociedade, natureza e cultura. Para ele, tal perspectiva implica fomentar processos educativos que favoreçam o pensamento crítico, a problematização dos modos de vida e a construção coletiva de alternativas que dialoguem com a incerteza, a diversidade de saberes e os

desafios contemporâneos. Para isso, a ideia da complexificação do pensamento (García, 2004) é reforçada com as discussões dos conhecimentos científico, escolar e do cotidiano. Em convergência com essas ideias, Leff (2010, 2011) defende a aplicação de uma pedagogia ambiental, pautada na interdisciplinaridade ambiental e na complexidade ambiental, que visa aproximar e hibridizar conhecimentos considerados marginalizados com conhecimentos científicos, a fim de combater a crise ambiental gerada pelo reducionismo.

Em diálogo com essas reflexões, Watanabe e Kawamura (2014) ressaltam a EA_{CCR} (Educação Ambiental Crítica, Complexa e Reflexiva), que considera interconexões entre as diferentes dimensões dos problemas ambientais e a influência de fatores sociais, políticos e econômicos, por exemplo. Os autores questionam a visão tradicional do ensino de ciências, considerando-a insuficiente para lidar com a complexidade dos problemas socioambientais. Ainda, entendendo que as dinâmicas das sociedades estão cada vez mais complexas, com crises ambientais globais e desafios sociais urgentes, a EA_{CCR} contribui para a formação de sujeitos capazes de compreender a complexidade desses problemas, a exemplo das relações de poder e das desigualdades sociais.

Uma EA para a complexidade deve também considerar os riscos presentes na sociedade, reconhecendo que os posicionamentos dos sujeitos precisam ser construídos em outra perspectiva. Nesse sentido, a EA deixa de ser tratada de forma isolada e passa a integrar os processos sociopolíticos, socioculturais e históricos, tornando-se intrínseca ao mundo real, inclusive em contextos marcados por lutas pela sobrevivência. Adotar essa perspectiva significa, portanto, incorporar parâmetros conceituais e sociais que favoreçam reflexões e ofereçam aos estudantes condições para elaborar formas de lidar com as incertezas do presente. Watanabe e Kawamura (2014) discutem que isso exige uma mudança no modo de pensar, orientada por preceitos da complexidade que envolvem uma postura antirreducionista, capaz de identificar discursos simplificadores e enfrentar paradoxos e contradições próprios da contemporaneidade.

Elementos da Complexidade

Para tratar questões ambientais no ensino, deve-se considerar uma perspectiva de ciência que inclua incertezas, riscos e a consciência de que essas questões são abertas e complexas. Temos três perspectivas de ciência: determinação, indeterminação e complexa (Cini, 1994). A perspectiva determinista é definida por Watanabe (2012) como aquela que traz previsibilidade, confiança e certeza, com respostas verdadeiras e únicas pelo isolamento do objeto analisado, gerando simplificação do sistema. Já a perspectiva da indeterminação é definida por Watanabe (2012, p. 102) como a que nos permite encontrar respostas sem que o objeto analisado seja conhecido, ou seja, foca nas relações no sistema, pautando-se na imposição de razões teóricas, como o princípio da incerteza de Heisenberg. Por fim, a perspectiva da complexidade nos permite analisar relações do mundo natural em que as situações são dinâmicas e fora do equilíbrio, apresentando caos e desordem, deixando de isolar os objetos de estudo e excluindo a possibilidade de

analisar um sistema em sua totalidade. Watanabe (2012, p. 103) define que ela busca, com o teor científico, trazer reflexões que aproximem a realidade das *incertezas*. Dentre elas, a perspectiva complexa parece ideal para tratar questões ambientais, já que considera a realidade. Pensando nisso, essa perspectiva é definida por Mitchell (2009) pela visão de sistemas, que são auto-organizados e compostos de forma simples, interagindo entre si sem depender de um controle central, causando padrões dinâmicos e imprevisíveis. Já Morin (2007) trata a complexidade pela interligação das informações, possibilitando um conhecimento completo, sem atingir a totalidade.

Nesse sentido, Mitchell (2009) nos apresenta uma visão da complexidade mais sistematizada, mostrando características comuns presentes nos sistemas, a saber: comportamento coletivo (as partes interagem para gerar padrões complexos), processamento de informação (capacidade de coletar, armazenar e utilizar dados) e adaptação (habilidade de mudar em resposta a um ambiente em mudança). Neste contexto, Mitchell (2009) trata dos sistemas dinâmicos e mostra uma de suas características principais: a sensibilidade dependente de condições iniciais, que caracteriza as mudanças constantes e imprevisíveis desses sistemas, além de tornar a possibilidade de previsão desafiadora, gerando incerteza. No entanto, a rota de bifurcação de período ao caos presente em sistemas nos permite verificar certa ordem, gerando coexistência entre ordem e desordem. É importante ressaltar que a presença de entropia em sistemas complexos é fundamental para compreender o comportamento caótico dos estados de ordem e desordem, mas, para comportar-se apropriadamente, a informação é uma peça-chave, já que permite a comunicação entre as partes do sistema. Com isso, Mitchell (2009) utiliza-se da computação e da biologia para mimetizar a natureza em computadores e identificar características computacionais no ambiente. Nesse processo, ela nos apresenta o dilema do prisioneiro, que estimulou o estudo, pela simulação computacional, sobre o funcionamento da sociedade. Pelas análises, a autora nos mostra que, para uma sociedade ser funcional e cooperativa, a população deve ter comportamento indulgente, retaliatório e claro.

Pelo olhar de Morin (2007), a perspectiva da complexidade propõe uma *mudança de paradigma* como ponto-chave, incentivando o abandono de visões deterministas em favor de uma compreensão abrangente e interconectada da realidade. Pensando nisso, propõe o *pensamento complexo*, que visa organizar os conhecimentos para superar a fragmentação gerada pelo determinismo, oferecendo instrumentos para lidar com questões da contemporaneidade. Outro ponto-chave do autor é em relação ao comportamento de sistemas complexos, como a auto-organização, com ordem e desordem coexistindo no sistema, de modo que, pela desordem, o sistema recupera a ordem; e a auto-eco-organização, em que também há ordem e desordem, mas o ambiente atua como coautor. Nesse sentido, considerando *aspectos locais e globais*, o autor nos apresenta o princípio da recursão organizacional, em que tudo o que é gerado volta-se ao gerador, produzindo um ciclo auto-organizador, como a sociedade (global), que sofre impactos pela ação individual (local). Ademais, Morin (2020) ressalta que,

devido à auto-organização, a *incerteza* está presente na perspectiva da complexidade, gerando um “festival de incertezas” em sistemas, como a sociedade. Para Morin (2007), o desenvolvimento do *pensamento complexo* envolve a transdisciplinaridade, que busca integrar as áreas do conhecimento, mas sem tirar suas identidades. Para ele, esses fatores, juntamente com a interação sujeito-mundo, possuem grande influência na formação de sujeitos, sendo um caminho para atingir o pensamento complexo.

Elementos de Risco

De acordo com Beck (2010), a Sociedade de Risco pode ser compreendida como um estágio em que os riscos e ameaças gerados pelo próprio sistema superam as riquezas e benefícios produzidos. Diferentemente dos perigos do passado, associados a uma perspectiva de alcance predominantemente local, os novos riscos podem ser interpretados como “efeitos colaterais” da própria modernização, da ciência e da tecnologia, e possuem também um caráter global. O risco atinge todas as classes sociais, sendo produzido pelo desenvolvimento da tecnologia e pela ação humana, assim como pode ser previsível e produto da própria sociedade (Giddens, 1991). Como são distribuídos de maneira desigual, atingem com maior intensidade as camadas mais pobres das sociedades, como afirma Beck (2010, p. 40), ao comentar que “as possibilidades e capacidades de lidar com situações de risco de contorná-las ou compensá-las acabam sendo desigualmente distribuídas entre distintas camadas de renda e educação”.

Nesse cenário, os riscos da modernização são produto “de série do maquinário industrial do progresso, sendo sistematicamente agravados com seu desenvolvimento ulterior” (Beck, 2010, p. 26). Eles criam ações/acontecimentos futuros, bem como produzem a constituição de perigo, uma vez que “[...] existe em circunstâncias de risco e é na verdade relevante para a definição do que é o risco” (Giddens, 1991, p. 34), podendo haver a consciência ou não, por parte dos indivíduos, sobre essa relação, quando se considera os “riscos calculados” ou a inconsciência das ações arriscadas (Giddens, 1991, p. 36). A consciência sobre os riscos pode desencadear ações preventivas sobre o espaço onde as ameaças acontecem, uma vez que o risco pode gerar a percepção de uma potencial catástrofe, possibilitando a gestão por meio de escolhas e tentativas de ações preventivas, não desconsiderando o contexto historicamente determinado que os produziu (Veyret, 2007).

O desenvolvimento científico e tecnológico, nesse contexto, revela-se ambivalente, pois, se por um lado gera novos riscos, por outro, fornece instrumentos para sua mitigação. Tal ambivalência (geradora de riscos e provedora de soluções) insere a sociedade em um ciclo de reflexividade, no qual se questionam continuamente as consequências dos próprios avanços e se reavaliam processos de decisão e gestão. É nesse sentido que Beck (2010) e Beck et al. (1997) expandem a discussão e apresentam o conceito de modernidade reflexiva, entendido como o processo pelo qual a sociedade industrial é obrigada a confrontar as consequências e os riscos que ela mesma produz, uma vez que se entende que os problemas e os riscos são reflexos do próprio avanço

decorrente dessa sociedade. Trata-se de uma forma de “(auto) destruição criativa” (Beck et al., 1997, p. 12) não resultante de uma crise externa, mas do próprio desenvolvimento da modernização. Essa transformação radicaliza a modernidade ao invadir os contornos da sociedade industrial, abrindo caminho para uma “outra modernidade”, sustentada em novas premissas e relações sociais. A reflexividade, nesse contexto, se configura como uma autoconfrontação inevitável, momento em que “a sociedade torna-se um tema e um problema para ela própria” (Beck et al., 1997, p. 19), sendo forçada a questionar suas bases sociais, políticas e econômicas. Assim, “as práticas sociais são constantemente examinadas e reformadas à luz de informação renovada sobre estas próprias práticas” (Giddens, 1991, p. 39). Isso inclui, segundo Giddens (1991), a reflexão sobre a natureza da própria reflexão, bem como a compreensão de que o conhecimento constitui parcialmente as formas de vida social, em que as práticas sociais vão sendo alteradas pela revisão da convenção que abrange os aspectos da vida humana, incluindo o impacto do avanço tecnológico, por meio de nova informação e conhecimento.

Um aspecto central desse debate é o efeito bumerangue, que destaca um retorno quase inevitável dos riscos àqueles que os produziram ou lucraram com eles. Em função da imprevisibilidade e do caráter global das ameaças, os riscos não respeitam fronteiras, retornando de forma direta ou indireta. A respeito desse conceito, Beck (2010) salienta que

(...) o efeito bumerangue não precisa se refletir, portanto, unicamente em ameaça direta à vida, podendo ocorrer também através de mediações: dinheiro, propriedade, legitimação. Ele não apenas atinge em repercussão direta o causador isolado. Ele também faz com que todos, globalmente e por igual, arquem com o ônus (Beck, 2010, p. 45).

Assim, o efeito ocorre por meio da produção desenfreada de riscos da modernização e, de forma generalizada, promove não somente a ameaça à vida, mas também ameaça “os interesses de propriedade e de comercialização daqueles que vivem da mercantilização da vida e dos víveres” (Beck, 2010, p. 46), configurando-se, então, como uma contradição entre os interesses de lucro e propriedade e as consequências ameaçadoras que os geram.

As discussões sobre risco, portanto, apontam para a necessidade de compreendê-lo sob outras dimensões. Aproximando-se do âmbito do ensino de ciências, são ideias fundamentais para a formação de sujeitos capazes de se posicionar frente aos dilemas e desafios atuais, a fim de que possam estabelecer uma relação mais dialógica e engajada com a ciência e a tecnologia a partir de temas e contextos referentes ao risco na modernidade reflexiva e às consequências da modernidade (Pietrocola; Souza, 2019). Assim, os riscos globais, invisíveis e imprevisíveis, reforçam a necessidade de repensar a formação escolar, abrindo caminho para outra forma de pensar, mais crítica, dialógica e sensível à complexidade, construindo caminhos para formular uma consciência de risco (Pietrocola; Souza, 2019).

Aspectos Metodológicos

Esse é um trabalho teórico-empírico de natureza qualitativa (Bogdan & Biklen, 1994; Lüdke & André, 1986), que se utiliza da Análise de Conteúdo (Bardin, 2016) para interpretação e categorização dos dados. Para a coleta de dados, foram acompanhados os componentes dos grupos (identificados como pesquisadores $P1$, $P2$, ..., Px) durante os encontros, tanto com equipe completa quanto com as equipes específicas. Esses encontros ocorreram em decorrência do projeto de pesquisa² “A perspectiva da complexidade para abordar questões socioambientais e riscos”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Vale ressaltar que a escolha dos grupos investigados ocorreu considerando a aproximação entre os temas de perspectiva da complexidade, risco e EA, o que evidencia um campo complexo e rico de investigação. Os critérios para a escolha destes foram definidos considerando três linhas de pesquisa, delimitadas a partir de elementos da complexidade e referenciais teóricos correlatos, a saber: (Linha 1, à qual pertence o Grupo 1) Dimensões da complexidade e as perspectivas da ciência; (Linha 2, à qual pertencem os Grupos 2 e 3) Riscos e incertezas do mundo; e (Linha 3, à qual pertence o Grupo 4) Perspectiva formativa da educação ambiental. Os grupos referem-se a:

- Grupo de Ensino de Ciências e suas Complexidades (GrECC) — propõe ações escolares que promovam uma formação crítica freireana, pautada em elementos que articulam aspectos da complexidade e do ambiente, além de abranger estudos relacionados à educação para o risco, modelos metodológicos pessoais, níveis de formulações e hipóteses de transição.
- Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares (NUPIC) — propõe desenvolvimento de material didático, formação inicial e continuada de professores, propostas curriculares e conhecimentos ligados a processos de ensino-aprendizagem na escola, baseados em educação para o risco, inovações de conteúdos de Física Moderna e questões de saúde pública.
- Equipe de Educação em Física “Susana Leher de Souza Barros” (EduFis) — com foco central na formação de professores, investiga os fatores que influenciam e os aspectos que condicionam a inserção da educação para o risco na educação em ciências; baseia-se na teoria da sociedade de risco e em uma formação crítica para trabalhar em suas pesquisas.
- Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Educação Ambiental (GPECEA) — atua no sentido de compreender as diferentes perspectivas e articulações teóricas e metodológicas entre os campos da educação em ciências e da EA. Baseia-se em CTS/CTSA e questões culturais para analisar concepções e práticas discursivas sobre a temática socioambiental e a educação em ciências.

² Este 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).

As três etapas que compõem a pesquisa são: (i) coleta de dados em cinco encontros *online*, com a equipe completa que compõe o projeto; (ii) coleta de dados em um encontro *online* com os grupos específicos; e (iii) sistematização dos dados e resultados. Em (i) e (ii), a coleta de dados ocorreu por meio de conversas durante as reuniões, que foram organizadas no Diário do Professor (Porlán; Martín, 1997) e entrevistas semi-estruturadas (Triviños, 1987; Manzini, 2012), orientadas pelas questões:

- (GrECC) (A) *Quais características das perspectivas da ciência são necessárias para lidar com o conhecimento contemporâneo?* (B) *O que caracteriza um sujeito contemporâneo formado a partir dos preceitos do pensamento complexo? O que caracteriza um sujeito considerando uma formação para a ciência contemporânea?*
- (EduFis e NUPIC) (A) *O que caracteriza os riscos vivenciados no século XXI?* (B) *Como formar sujeitos, especialmente os professores, para implementarem situações de ensino-aprendizagem que tratem do risco-confiança e envolvam situações de riscos e suas incertezas características?*
- (GPECEA) (A) *O que caracteriza a educação ambiental para a atualidade?* (B) *Que aspectos da educação ambiental contribuem para formar um sujeito contemporâneo?*

Nota-se que as questões orientadoras (A) e (B) foram elaboradas para cada grupo, considerando suas especificidades, e anunciadas pelos próprios investigadores e vinculadas às suas linhas de pesquisa. A questão (A) preocupa-se com a visão sobre o mundo e a (B) com a formação do sujeito para atuar neste mundo. Além disso, as questões para EduFis e NUPIC são iguais, visto o interesse mais central no risco. Os dados no Diário do Professor foram organizados em uma tabela com as respostas dos grupos a partir das questões orientadoras (A) e (B).

Durante os encontros da etapa (i), os autores anotaram as respostas dos membros dos grupos que indicavam seus referenciais, trabalhos e ideias acerca da temática de complexidade, risco e Educação Ambiental. Na etapa (ii), foram os coordenadores dos grupos que visitavam esse material para complementação e esclarecimentos. Especificamente em (ii), o encontro durou cerca de uma hora, constituído por falas referenciais dos pesquisadores vinculados. Em suma, essas falas diziam respeito aos seus referenciais teóricos principais, suas linhas de trabalho, às atividades de pesquisa e extensão que estavam sendo ou haviam sido desenvolvidas até o momento do encontro, além da apresentação da equipe.

Na etapa (iii), houve a sistematização dos dados obtidos em (i) e (ii) em uma rede, produzida por meio do aplicativo *Obsidian*, versão 1.9.14. Para essa sistematização, ou seja, para identificar a relação complexidade, conhecimento e epistemologia para cada um dos grupos, realizou-se a Análise de Conteúdo (Bardin, 2016), isto é, um conjunto de técnicas que visa à descrição sistemática e objetiva do conteúdo das comunicações. Nesse processo, seguimos as etapas de identificação das características e formulação dos elementos-chave para compreender as relações, leitura geral dos dados apresentados

no Diário do Professor, construída durante as etapas (i) e (ii), e posteriormente, da fragmentação dos conteúdos em unidades de registro, construindo uma interpretação ampla acerca das categorias apresentadas a seguir.

Resultados e Discussões

Este item está organizado em dois momentos de análise, em que estão sistematizadas as singularidades e as aproximações entre os grupos de pesquisa, considerando os parâmetros teóricos que os mobilizam, a saber: complexidade, risco e EA.

As Singularidades de Cada Grupo

As singularidades representam aquilo que cada grupo identifica enquanto intencionalidades de formação, com pouca ou nenhuma ligação com os outros grupos, identificadas durante os encontros das etapas (i) e (ii). Vale ressaltar que os grupos podem apresentar conceitos específicos que, embora dialoguem com o risco, complexidade e EA, não são trabalhados em profundidade.

No GrECC, os principais referenciais teóricos correspondem a Morin, Prigogine, Freire, Beck e García. Nesse sentido, fica evidente nas respostas dos pesquisadores à questão orientadora (A) os conceitos que fundamentam suas ações. Assim, as *dimensões da complexidade*, as *ênfases para a complexidade* e a *educação ambiental crítica, complexa e reflexiva* (EA_{CCR}) são proposições do GrECC baseadas nesses autores. As dimensões referem-se a espaços em que a perspectiva da complexidade pode ser trabalhada para promover uma formação crítica e reflexiva. São elas: *dimensão educacional* (identificação de parâmetros e perspectivas formativas na complexidade para formar sujeitos reflexivos, com pensamento complexo e capazes de *complexificar* conhecimentos, ou seja, o que se espera que o estudante desenvolva durante a aula além dos conteúdos); *dimensão ensino-aprendizagem* (refere-se àquilo com o que o professor pode trabalhar para promover a perspectiva da complexidade na escola, ou seja, práticas, ferramentas e métodos adotados para atingir os objetivos em sala de aula); e *dimensão epistemológica* (identificação das abordagens científicas e escolares que permitam trabalhar com a perspectiva da complexidade, isto é, abordagem epistemológica) (Watanabe, 2021; 2012). Já as *ênfases* são meios de articulações desses espaços com atividades escolares, a saber: ênfase dinâmica, temporal, entrópica e das inter-relações (Watanabe, 2025). Elas carregam elementos de vida, tempo e desenvolvimento, em que a entropia varia conforme ação humana e causa irreversibilidade (Watanabe; Kawamura, 2020). Definem que: “vida deve ser vista como sistema parte da complexidade; tempo deve considerar imprevisibilidade e irreversibilidade da passagem do tempo, considerando a história do ambiente, cultura e conceitos históricos, incluindo-os no sistema complexo; e o desenvolvimento se baseia em processos de evolução dos sistemas, em que natureza, contextos históricos e as intenções influenciam sua finitude, limitando o desenvolvimento e trazendo a sustentabilidade pela complexidade” (P5, extrato Diário do professor, 2025, p. 1).

Enquanto a EA_{CCR} (Watanabe; Kawamura, 2014) indica elementos para uma formação socioambiental que incorpore elementos críticos, complexos e reflexivos, contribuindo para a formação de sujeitos preparados para viver em um mundo permeado por riscos e incertezas, incentivando uma postura crítica diante do conhecimento científico e social. Além disso, promove-se a participação ativa e consciente na busca por soluções socioambientais, a fim de que os indivíduos compreendam o ambiente enquanto um sistema dinâmico em transformação, onde novas condições e elementos podem emergir constantemente.

Considerando a questão (B), o grupo indica *sistemas e acaso, caos e desordem*, tomando como base os preceitos defendidos por Prigogine (1996) ao discutir as incertezas e os riscos nos sistemas naturais na Física do não equilíbrio. Ao discutir tais aspectos, apontam para as ênfases da complexidade, salientando especialmente as ênfases dinâmica e entrópica que trazem em seu cerne, respectivamente, a ideia de considerar a imprevisibilidade e as incertezas do sistema Terra ao tratar dos movimentos e possíveis trajetórias envolvidas nos processos; e explicitar a impossibilidade de fazer com que o sistema retorne ao seu estado inicial; com isso, destaca-se que sua organização só ocorre às custas do aumento da entropia global, dissipando energia para se auto-organizar e reconsiderando os 1º e 2º Princípios da Termodinâmica (Watanabe, 2025). Ainda, defendem a abordagem do *pensamento complexo* de Morin, que, ao invés de separar, relacionar e unir, busca a construção e a desconstrução a partir das incertezas e rupturas (Carvalho et al., 2022; Carvalho; Watanabe, 2025). Essas ideias são observadas, por exemplo, na fala de P1 (extrato Diário do Professor, 2025, p. 3) ao destacar uma formação de sujeito “que seja capaz de, pautado pela mudança de paradigma considerando a complexidade, lidar com as incertezas do mundo contemporâneo e compreender a visão do mundo por diferentes pontos de vista/perspectivas”.

O NUPIC trabalha com pesquisas relacionadas à elaboração, aplicação e análise de propostas de ensino-aprendizagem para o ensino de ciências. Possui como principais referenciais teóricos Beck, Giddens e Lipovetsky. Eles têm o risco como temática principal, articulando-a com questões de sustentabilidade, *saúde pública*, *tecnologias disruptivas*, mundo virtual, investigação científica na escola e direitos humanos. Para a questão (A), em um primeiro momento, indicam os fatores considerados por Beck (2010), como *reflexividade*, riscos manufaturados e sistemas peritos para entender a separação entre fato e percepção de risco; que os riscos surgem da sociedade e trabalham a ideia do fim da natureza e da tradição. Nesse sentido, ressaltam o fator da incerteza e o uso da ciência para lidar com questões de tempo como passado, presente e futuro. Mencionam que a determinação do presente é perdida e vivemos em um momento de risco em que há apenas o presente. Ao indicar Giddens (2002), destacam que a modernidade interpreta o passado, de modo que não temos um passado de fato, gerando uma pane de interpretação do futuro. Defendem que estamos em um presente perpétuo (já que não há passado e futuro), em que há caos e incerteza. Ao indicar Lipovetsky (2011), tratam do progresso além da sobrepotência científica. Ademais, ressaltam a importância de trabalhar com a

confiança neste contexto, já que para Giddens (2002), ela se torna um fator central no contexto social da modernidade tardia e é questionada pela presença do risco e incerteza no contexto da *segurança ontológica*. Essas ideias são observadas, por exemplo, na fala de P2 (extrato Diário do professor, 2025 p. 2) ao levantar questionamentos sobre o tipo de epistemologia científica necessária para compreender a noção temporal, afirmando que “há incertezas (e impotência) sobre o futuro”.

Considerando (B), o NUPIC parte do pressuposto de que o sujeito está imerso e é produto de uma sociedade de risco, da mesma forma que possui incertezas sobre o futuro. Além disso, o grupo concebe um *sujeito científico e formador social*. Nesse sentido, retoma o conceito de confiança e defende que deve ser trabalhado dentro da escola e, para isso, se faz necessário abordá-lo também na formação de professores, para que possam trazer tais questões na formação de sujeitos na escola. Ou seja, o grupo busca formar professores para entender e trabalhar a presença do risco e da confiança a partir de situações pedagógicas e estratégias de ensino e aprendizagem, considerando a produção de uma *educação científica moderna reflexiva*, que busca contribuir com a construção da consciência do risco por meio de uma relação dialógica e reflexiva acerca das questões de ciência e tecnologia (Zambrano-González; Pietrocola, 2025; Pietrocola; Souza, 2019).

O EduFis investiga os fatores que influenciam e que condicionam a inserção da educação para o risco na educação em ciências, apresentando como principais referenciais teóricos Beck e Veyret (que propõem discussões sobre riscos manufaturados e suas implicações na sociedade atual e educacional). Para a questão (A), que se refere à caracterização dos riscos vivenciados no século XXI, o grupo compreende que o *risco em tecnologia* configura os riscos contemporâneos, sendo estes fenômenos que rompem e ultrapassam o tempo e o espaço, caracterizados pela imprevisibilidade de suas consequências. Assim, os riscos modernos são produzidos e intensificados pela ação humana, pois se articulam com o avanço da produção e do conhecimento científico. Com isso, defendem que os riscos não são interpretados e vividos de uma mesma forma, abrangendo a noção de contexto discutido por Veyret (2007). Enfatiza-se a existência da dimensão subjetiva e política que impacta as sociedades de maneiras distintas. Nessa perspectiva, mesmo que considere o efeito bumerangue (Beck, 2010) dos riscos, o modo como são vivenciados pelas sociedades mais vulneráveis difere da outra ponta do sistema capitalista, em que, a partir dessa lógica, as situações oriundas dos riscos podem gerar novas oportunidades para o mercado, explicitando o *risco do progresso*. Então, o grupo reconhece a necessidade de *construção de instrumentos para lidar com riscos*, entendendo esse movimento como papel da ciência atual. E para enfrentar as situações que geram riscos, é necessário, antes de mais nada, reconhecer as situações que podem provocar os riscos, seus possíveis impactos e o reconhecimento de que as crises promovidas pela efetivação dos riscos geram hoje uma interdependência mundial, considerando que os impactos não são somente em escalas locais.

Considerando a questão (B), que trata da formação de sujeitos, buscam-se maneiras de trabalhar em situações de ensino-aprendizagem. Procuram comportar nessa busca uma *formação crítica* que seja capaz de envolver a sociedade para lidar com os problemas, situações e desafios contemporâneos, que afetam não somente o momento presente, mas que impactam uma ideia de futuro. Para tanto, a formação para o risco não deve compor somente uma ideia de *prevenção*, mas deve abarcar modos reflexivos e críticos no enfrentamento dos pós-danos. As temáticas sobre o risco, bem como seu estudo na educação básica e na formação de professores, devem surgir na articulação com o *risco no cotidiano dos estudantes*, nas atividades diárias. Algumas atividades desse grupo podem ser mencionadas como forma de entender a ação teórico-prática produzida na educação para o risco. Uma delas é a análise de livros didáticos do PNLD, que evidenciou lacunas de objetos de estudo, como a temática de recursos hídricos enquanto risco (Silva et al., 2023). Essas ideias são observadas, por exemplo, na fala de P3 (extrato Diário do professor, 2025, p. 3), ao destacar a importância de uma formação crítica dos sujeitos, defendendo uma “educação para o risco que promova a reflexão crítica e envolva toda a sociedade no enfrentamento dos riscos”.

O GPECEA tem como proposta apoiar o desenvolvimento de trabalhos e pesquisas que visam problematizar práticas discursivas que se voltam para a relação entre educação em ciências e temas socioambientais. O grupo se interessa por compreender as possibilidades e os limites do processo educativo frente às questões socioambientais, prezando pelo diálogo de saberes, pela justiça ambiental e pela valorização dos contextos culturais na construção de conhecimentos a partir de autores como Leff, Layrargues, Morin, Prigogine, Stengers, Saito, Malm e Freire.

Para a questão (A), a preocupação está em pensar a EA por uma perspectiva sociopolítica e de *justiça ambiental*, que implica o reconhecimento de suas interfaces com o *pensamento decolonial* latino-americano, estudos freireanos e epistemologias indígenas, ampliando as possibilidades de compreender e agir diante das desigualdades ambientais e epistemológicas. Nesse sentido, é compreendida pela perspectiva crítica e emancipatória, influenciada pela Teoria Crítica (que questiona as estruturas sociais que sustentam o colapso ambiental). Tal abordagem se articula com a dimensão da *afetividade* e da construção da subjetividade, valorizando a relação estética com os ambientes naturais. Assim, a EA é compreendida como prática discursiva, aproximando-se da perspectiva complexa. No contexto do ensino de ciências, em particular da física, emergem questões sobre quais elementos da EA podem ser mobilizados para qualificar práticas pedagógicas complexas e quais ferramentas o docente pode utilizar para incorporar em sala de aula as perspectivas freireanas, promovendo uma educação crítica, dialógica e comprometida com a transformação social e ambiental (Silva, 2025).

Assim, aspectos da complexidade, como o tratamento de processos naturais e sociais como sistemas abertos, dinâmicos e interconectados, marcados pela incerteza e emergência de adaptação, orientam o grupo. Nesse sentido, o grupo se alinha a uma abordagem que reconhece instabilidade e indeterminação como elementos constitutivos

dos saberes científicos e educativos. As questões socioambientais são tratadas como construções políticas e discursivas que demandam o envolvimento de diferentes saberes e atores sociais, assim como influências históricas e políticas. No que diz respeito à Educação em Ciências, as reflexões apontam para uma abordagem dialógica e crítica, em que o conhecimento científico é compreendido como construção cultural, atravessado por relações de poder, saberes e linguagem, além de incluir em aspectos da Educação *Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA)*. Essas ideias são observadas, por exemplo, na fala de P4 (extrato Diário do Professor, 2025, p. 2), ao destacar perspectivas plurais e questionamentos sobre EA, evidenciando a importância de “pensar a EA por uma perspectiva sociopolítica e de justiça ambiental (referenciando interlocução entre pensamento decolonial latino-americano, estudos freireanos e epistemologias indígenas)”.

Considerando a questão (B), questionam as concepções que desconsideram a influência das contradições, singularidades e dos contextos na formação dos sujeitos. A formação de um sujeito contemporâneo, portanto, implica pensá-lo enquanto ser global e integral, e não o idealizar como modelo fixo e normativo; nesse sentido, é imprescindível compreendê-lo enquanto parte de uma construção-formação que perpassa múltiplas dimensões — políticas, afetivas, culturais e históricas, por exemplo — e que seja capaz de pensar, intervir e transformar a sua realidade. Para o grupo, essa compreensão está alinhada às discussões propostas por referenciais teóricos como Freire e Levinson, abarcando perspectivas que tratam da formação *sócio-ecopolítica* dos indivíduos. Ademais, acreditam na formação de sujeitos capazes de agir na transformação das realidades a partir da Teoria Crítica. No contexto pós-crítico, isso implica considerar também as dimensões da sensibilidade e da *afetividade* nos processos formativos, reconhecendo que o vínculo com o mundo não se dá apenas de forma racional, mas também estética e emocional. Outro aspecto central é considerar os dados culturais indicados por Clifford Geertz, entendendo “o sujeito contemporâneo como produtor e também produto de *questões culturais*” (P6, extrato Diário do Professor, 2025, p. 4). A educação ambiental, portanto, precisa dialogar com essas questões, evitando o risco de impor uma visão “correta” ou “adequada” do mundo, como ocorre em propostas mais tradicionais, como uma EA normativa, centrada em ações individuais (Leite; Silva, 2021).

As Aproximações entre os Grupos

Analisando as aproximações, nota-se que o conceito de *risco* é unânime entre os grupos na defesa de uma educação para a contemporaneidade. Assim, representa um conceito-chave, juntamente à perspectiva da complexidade, para propor uma formação capaz de lidar com a realidade. O risco para o GrECC está baseado na teoria da sociedade de risco de Beck e nas questões de reflexividade apresentadas por Giddens (2002). Para ele, o risco está como elemento essencial para caracterizar a dimensão educacional da complexidade que, por sua vez, volta-se à formação de sujeitos que lidem

com os riscos e sejam capazes de encarar os problemas do mundo usando os preceitos do pensamento complexo. Essa intencionalidade está refletida na produção do grupo, que retrata a preocupação com o risco (Cuzziol, 2023), ao investigar as aproximações entre aspectos relacionados a ele do ponto de vista teórico e nas percepções de docentes do ensino básico da rede pública com foco no desenvolvimento de uma proposta de aulas de ciências. Para o GPECEA, o risco refere-se a uma visão que abarca valores sociais e interesses, sobretudo políticos, que envolve as questões ambientais. Para o NUPIC, trata-se de incorporar questões da teoria da sociedade de risco, reflexividade, sistemas peritos e riscos manufaturados, para subsidiar a percepção de risco, consciência de risco e formação de sujeitos que compreendam sua imersão e papel de produto em uma sociedade de risco. O EduFis, apoiado na teoria de sociedade de risco, considera importante destacar a subjetividade dos riscos modernos, a imprevisibilidade e suas consequências na sociedade, buscando formar sujeitos que reflitam criticamente para lidar com os riscos e trabalhar pela precaução.

O conceito de *efeito bumerangue* aparece no GrECC, EduFis e NUPIC, indicando uma convergência na compreensão de risco como parte de processos reflexivos, ainda que mobilizado de formas distintas nos diferentes contextos formativos e teóricos. No GrECC, aparece entre os conceitos teóricos que situam a dimensão educacional da complexidade. Por exemplo, o trabalho de Santos e Watanabe (2025) propõe um conjunto de aulas que parte da concepção de um sujeito capaz de reconhecer-se como parte indissociável do ambiente, de compreender as inter-relações entre os fenômenos naturais e sociais e de agir de forma crítica e responsável, tomando decisões que considerem as incertezas e os riscos do mundo contemporâneo. No EduFis, o grupo considera o efeito bumerangue como base conceitual, especialmente ao defini-lo na perspectiva de risco: “o risco acaba afetando os mais vulneráveis, mas pode voltar ao seu gerador (grandes empresas e parcelas mais ricas da sociedade, por exemplo). No entanto, o risco não afeta o capitalismo, de modo que se transforma em oportunidades de mercado (lógica capitalista)” (P3, extrato Diário do Professor, 2025, p. 1).

Embora o NUPIC não trate explicitamente sobre o efeito bumerangue, entende-se que o grupo o considera também na etapa conceitual e como parte que fundamenta as ações de formação. Isso porque, diante dos riscos manufaturados, a consciência de risco deve perpassar pelo entendimento sobre a contradição da produção desses riscos, bem como os impactos dos sistemas peritos. Portanto, os riscos produzidos pela modernidade retornam sobre seus próprios produtores, sendo necessário incorporar o reconhecimento desses riscos e suas interdependências para a construção de uma reflexão crítica sobre os acontecimentos.

Ainda no contexto de risco, o GrECC compartilha com o NUPIC o elemento de *incerteza*, indicando convergência quanto à sua presença na realidade, embora os grupos utilizem diferentes autores para trabalhá-lo. O GrECC trata das incertezas considerando principalmente as ideias de Prigogine ao abordar questões abertas e dinâmicas. As incertezas são apresentadas como fundamentais tanto na dimensão educacional

quanto epistemológica e isso, por sua vez, reflete na ênfase temporal. Essa ênfase contempla o caráter temporal do sistema terrestre, salientando que está condicionado às contingências históricas, de modo que as interferências atuais no ambiente podem resultar em alterações futuras, levando a novas situações de equilíbrio que podem (ou não) proporcionar condições para a manutenção da vida na Terra. Também considera a impossibilidade de inferir resultados precisos em um curto período de tempo, por exemplo, ao trabalhar, na Física do não equilíbrio, o conceito de ‘flecha do tempo’, flutuações e bifurcações, considerando as incertezas dos modelos (Watanabe, 2025).

O NUPIC trata da incerteza ao apresentar discussões acerca do futuro e do presente, a partir do paradoxo do demônio de Laplace e da determinação de tempo presente em Beck e da concepção de tempo em Giddens. Assim, considera-se na formação de sujeitos as incertezas sobre o futuro.

O GrECC e o GPECEA compartilham elementos da *Abordagem Temática, criticidade e dialogicidade, e aspectos globais e locais*, relacionando a abordagem de Freire à perspectiva da complexidade. O GPECEA destaca a importância da construção de propostas pedagógicas a partir da Abordagem Temática, tendo como base situações-problema e temas geradores. Justificam que isso intensifica o envolvimento dos estudantes, agregando significado a partir de seus interesses e motivação, promovendo um trabalho acerca da criticidade e dialogicidade. Além disso, percebem que a formação do sujeito passa por uma leitura de narrativas, símbolos, hábitos e discursos que circulam nas sociedades (local e globalmente), incluindo a tecnologia e os meios digitais. O GrECC considera esses elementos na aplicação de uma Educação Ambiental Crítica ao propor “um ensino que promova a investigação científica junto com a consciência crítica e responsabilidade social, cultural e econômica” (P1, extrato Diário do Professor, 2025, p. 1), preocupação presente na dimensão de ensino-aprendizagem da complexidade e na formação de sujeitos. O grupo busca considerar aspectos globais e não apenas locais para reconhecer os impactos que causam no ambiente, e propõe ações baseadas na realidade dos estudantes, a exemplo do trabalho que vincula a leitura de mundo a partir do rap “Chuva Ácida”, de Criolo (Roman, 2025).

O EduFis e o NUPIC compartilham a *interdisciplinaridade*, defendendo que, a partir dela, é possível trabalhar com risco e questões ambientais considerando, por exemplo, o efeito bumerangue. O EduFis contempla a interdisciplinaridade por meio de ações que vinculam o risco em atividades diárias dos estudantes; de projetos como o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID); e de produção de sequências didáticas. Ainda defendem a adoção de diálogos interdisciplinares para enfrentar os riscos gerados pelas crises globais (P7, extrato Diário do Professor, 2025, p. 1). O NUPIC trata desse elemento sobretudo na formação de sujeitos ao trabalhar a questão sobre como lidar com a noção de tempo e espaço, considerando o contexto de risco (P8, extrato Diário do Professor, 2025, p. 3).

Como síntese desses resultados, a Figura 1 apresenta as aproximações e singularidades entre os grupos. Para a sua leitura, é importante considerar que os nós cinzas correspondem às aproximações entre os grupos; os azuis correspondem às singularidades do GrECC; os laranjas, às singularidades do NUPIC; os verdes, às singularidades do EduFís; e os amarelos, às singularidades do GPECEA.

Figura 1

Singularidades e aproximações das principais ideias sobre complexidade, risco e EA que orientam os grupos



Conclusões e Implicações

Na busca por perspectivas epistemológicas, ações escolares e a intenção de formar sujeitos para a contemporaneidade, os grupos aqui envolvidos apresentaram características em comum ao buscar uma formação capaz de lidar com a realidade. Ou seja, com a intencionalidade de formar sujeitos nessa perspectiva, consideram fundamental promover um ensino e uma educação que incorporem aspectos (como questões e problemas) locais e globais; que abordem o risco, o efeito bumerangue e a incerteza (seja presente ou futura); e que se pautem nos elementos da Abordagem Temática, criticidade e dialogicidade, além da interdisciplinaridade.

De maneira mais singular, por exemplo, o Grupo 1 apontou como elementos essenciais aspectos como as *dimensões da complexidade; sistemas e acaso, caos e desordem e pensamento complexo* etc.; e o Grupo 4 apontou para as *questões culturais; justiça ambiental; pensamento decolonial* etc. Essas especificidades mostram que uma formação menos arraigada ao olhar conceitual e tradicional requer também considerar elementos que fortalecem e se comunicam com outros referenciais e com outras ideias. De certo modo, isso se conecta com a perspectiva da complexidade, a qual é capaz de lidar com a parte e o todo.

De forma menos generalista e mais centrada nos conceitos que orientaram esse trabalho — complexidade, risco e EA — esta pesquisa indica que a perspectiva da complexidade apresenta elementos como promover a mudança de paradigma através de um *pensamento complexo*, considerando as incertezas, os aspectos globais e locais e a interconexão entre as informações e questões presentes no mundo contemporâneo. Ademais, tratar sobre o risco neste contexto nos permite desenvolver diversas discussões e trabalhos acerca de temas como prevenção, confiança e como lidar com as incertezas e os próprios riscos presentes no mundo globalizado. Ainda nessa linha, ao incentivar que distintas áreas do conhecimento sejam articuladas, por exemplo em torno de questões socioambientais complexas, especialmente aquelas relacionadas à emergência climática, amplia-se a possibilidade de superar abordagens tecnicistas e fragmentadas. Essa integração favorece a construção de sentidos mais amplos e contextualizados, permitindo que os sujeitos compreendam múltiplas dimensões de questões ambientais e desenvolvam posturas e propostas mais consistentes e comprometidas com a transformação social.

No contexto da promoção de uma EA mais crítica, uma abordagem que evidencie os desafios do mundo contemporâneo e incentive práticas educativas que ultrapassem visões reducionistas e simplificadoras pode contribuir para preparar sujeitos capazes de compreender a imprevisibilidade do futuro, agir frente às crises socioambientais e construir alternativas em direção a sociedades mais justas e sustentáveis.

Na perspectiva do risco, destaca-se a necessidade de incorporar aspectos sociais, políticos e subjetivos que atravessam as questões ambientais, configurando-o como elemento essencial também na dimensão educacional da complexidade. A educação para o risco vai além das abordagens centradas unicamente na prevenção, exigindo o reconhecimento das situações que produzem riscos, de seus impactos e da sua dimensão global e interdependente. Nesse sentido, contribui para a formação de sujeitos capazes de lidar com as incertezas do mundo contemporâneo e de compreender a produção dos riscos, orientados pelo pensamento complexo e pela consciência de risco.

Por fim, as implicações deste trabalho apontam para a necessidade de desenvolver práticas pedagógicas formativas que incorporem as dimensões tratadas ao longo do texto, a fim de promover espaços de ensino e aprendizagem nos quais se formem sujeitos que se reconheçam como agentes de transformação. Além disso, reforçam a relevância de se discutir o ensino a partir das perspectivas da complexidade, do risco e da EA integradora, de modo a potencializar processos que sejam, ao mesmo tempo, contextualizados e que forneçam possibilidades para um futuro frente às incertezas.

Contribuições dos Autores

Administração do projeto: Laranjeira, H. F., Reis, A. C. A., Watanabe, G.; **Análise formal:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Watanabe, G.; **Conceituação:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Silva, L. F., Silva, L. L., Pietrocola, M., Watanabe, G.; **Gerenciamento de dados:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Watanabe, G.; **Escrita — Primeira versão:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Watanabe, G.; **Escrita — Revisão e edição:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Silva, L. F., Silva, L. L., Pietrocola, M., Watanabe, G.; **Investigação:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Watanabe, G.; **Metodologia:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Watanabe, G.; **Obtenção de financiamento:** Watanabe, G.; **Recursos:** Watanabe, G.; **Software:** Laranjeira, H. F.; **Supervisão:** Laranjeira, H. F., Watanabe, G.; **Validação:** Watanabe, G.; **Visualização:** Laranjeira, H. F., Santos, C. S., Reis, A. C. A., Silva, L. F., Silva, L. L., Pietrocola, M., Watanabe, G.

Disponibilidade de Dados de Pesquisa

Os dados serão fornecidos quando solicitados aos autores.

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). O presente trabalho também foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001.

Referências

- Alves, M., & Bego, A. M. (2020). A celeuma em torno da temática do planejamento didático-pedagógico: Definição e caracterização de seus elementos constituintes. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 20(2), 71–96. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u7196>
- Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Beck, U. (2010). *Sociedade de risco: Rumo a uma outra modernidade*. Editora 34.
- Beck, U., Giddens, A., & Lash, S. (1997). *Modernização Reflexiva*. Editora Unesp.
- Bogdan, R. C., & Biklen, S. K. (1994). *Investigação qualitativa em educação* (M. J. Alvarez, S. B. dos Santos, & T. M. Baptista, Trad.). Porto Editora.

- Calegari, A. dos S., Santana, C. M. B., Almeida, E. A. E. de, Soares, J. P. R., Jorge, J., Carvalho, F., & Watanabe, G. (2–5 de setembro, 2025). *Os conceitos escolares de física em uma proposta de aulas complexificada sobre as emergências climáticas*. XII Congresso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, València, Espanha.
- Carvalho, F., Santos, C., Costa, F., Cuzziol, G., Ceratti, T., Chierecci, R., & Watanabe, G. (2022). Educação para o risco: Contribuições da complexidade, da reflexividade e das produções socioambientais. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 16(2), 165–186. <https://doi.org/10.18675/2177-580X.2021-16508>
- Cini, M. (1994). *Un paradiso perduto*. Feltrinelli.
- Cuzziol, G. (2023). *Educação para o risco: Elementos para propor aulas de ciências sob a perspectiva da complexidade* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal do ABC.
- Fernandes, F. A., & Parolin, L. (2023). Viagem no tempo do Rio Iguaçu: Uma proposta de sequência didática. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 23, e39541. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2023u129155>
- García, J. E. (2004). *Educación ambiental, constructivismo y complejidad*. Díada Editora.
- Giddens, A. (1991). *As consequências da modernidade* (5ª ed.). Editora Unesp.
- Giddens, A. (2002). *As consequências da modernidade*. Editora Unesp.
- Layrargues, P. P., & Lima, G. F. da C. (2014). As macro-tendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira. *Ambiente & Sociedade*, 17(1), 23–40. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000100003>
- Leff, E. (2010). *Discursos sustentáveis*. Cortez Editora.
- Leff, E. (2011). Complexidade, interdisciplinaridade e saber ambiental. *Olhar de Professor*, 14(2), 309–335. https://revistas.uepg.br/index.php/olhardeprofessor/pt_BR/article/view/3515/2519/10014
- Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999 (1999). Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm
- Lei nº 14.926, de 17 de julho de 2024 (2024). Altera a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, para atualizar a Política Nacional de Educação Ambiental. Presidência da República. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14926.htm#art2
- Leite, D. A. R., & Silva, L. F. (2021). Motivations and challenges on the inclusion of environmental topics in Brazilian physics teacher education courses. *Physics Education*, 56(3), 035015. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abe2f0>
- Lipovetsky, G. (2011). *Os tempos hipermodernos*. Edições 70.
- Lüdke, M., & André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. EPU.

- Manzini, E. J. (2012). Uso da entrevista em dissertações e teses produzidas em um programa de pós-graduação em educação. *Revista Percurso*, 4(2), 149–171.
- Ministério da Educação. (2017). *Base Nacional Comum Curricular*. <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press.
- Morin, E. (2007). *Introdução ao pensamento complexo*. Editora Sulina.
- Morin, E. (2020). Um festival de incertezas. *Espiral*, 4, 5–12.
- Pereira, B. B., Silva, L. F., & Santos, J. R. dos. (2021). Um estudo sobre compreensões acerca de complexidade em teses e dissertações brasileiras de educação ambiental que se relacionam com a educação em ciências. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 16(1), 204–219. <https://doi.org/10.18675/2177-580X.2021-15134>
- Pietrocola, M., & Souza, C. R. de. (2019). A sociedade de risco e a noção de cidadania: Desafios para a educação científica e tecnológica. *Linhas Críticas*, 25, e19844. https://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-04312019000100406
- Pietrocola, M., Schnorr, S., & Rodrigues, E. (2025). Science education in a risk society: Addressing challenges and opportunities in an uncertain future. *Research in Science Education*, 55, 941–960. <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10238-0>
- Porlán, R., & Martín, J (1997). *El diario del professor: un recurso para la investigación en el aula*. Díada.
- Prigogine, I. (1996). *O fim das certezas: Tempo, caos e as leis da natureza*. Editora Unesp.
- Rodríguez, 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. <https://revistascientificas.us.es/index.php/IE/article/view/7123>
- Roman, R. B. (2025). *Uma formação crítica socioambiental utilizando o Rap “Chuva Ácida” como recurso pedagógico* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal do ABC.
- Santos, C. S., & Watanabe, G. (2025). A perspectiva da complexidade e da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade para enriquecer uma proposta de aulas de natureza ambiental. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (24), 487–502.
- Silva, L. F. (2025). Environmental education and complex systems: Brief notes for the classroom. In A. Galamba, S. El Droubi, & D. Kato (Orgs.), *Environmental education: Ideas and experiences from Brazil and the UK* (pp. 32–45). Editora Autografia.
- Silva, M., Rabelo, L., Silva, L., & Dornfeld, C. (2023). O risco hídrico em uma coleção didática do PNLD (2020–2024). *Scientific Journal ANAP*, 1(2).

- Triviños, A. N. S. (1987). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: A pesquisa qualitativa em educação*. Atlas.
- Veyret, Y. (2003). *Les risques* (pp. 3–48). SEDES.
- Watanabe, G. (2012). *Aspectos da complexidade: Contribuições da Física para a compreensão do tema ambiental* [Tese de Doutorado]. Universidade de São Paulo.
- Watanabe, G. (2021). As contribuições dos aspectos da complexidade para um ensino de física mais crítico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43.
- Watanabe, G. (2025). *Os riscos e as incertezas ambientais: O que será necessário aprender para ensinar?* Simpósio Nacional de Ensino de Física, Niterói, Rio de Janeiro.
- Watanabe, G., & Kawamura, M. R. (2014). Uma educação na perspectiva ambiental crítica, complexa e reflexiva. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(2), 255–264. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4366>
- Watanabe, G., & Kawamura, M. R. (2020). Contribuições das produções sobre a complexidade: Aportes para a educação científica escolar. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(2), 428–454. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p428>
- Watanabe, G., Cuzziol, G., Santos, C., Ceratti, T., & Chierecci, R. (2022). *Propostas de aulas socioambientais: Células: como são e se organizam?; A água pode acabar?; Emergências climáticas*. Letraria.
- Zambrano-González, N. A., & Pietrocola, M. (2025). Estratégias de ensino-aprendizagem para uma educação científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza. *Sisyphus*, 13(1), 74–93. <https://doi.org/10.25749/sis.38063>

 **Helena Fonseca Laranjeira**

Universidade Federal do ABC
Santo André, São Paulo, Brasil
helenalaranjeira08@gmail.com

 **Carla Sarmento Santos**

Universidade Federal do ABC
Santo André, São Paulo, Brasil
carla.bio.ciencias@gmail.com

 **Anna Cecilia de Alencar Reis**

University of Ottawa
Ottawa, Ontario, Canadá
annaceareis@gmail.com

 **Luciano Fernandes Silva**

Universidade Federal de Itajubá
Itajubá, Minas Gerais, Brasil
lufesilva@unifei.edu.br

 Editora Responsável: Aline Andréia Nicoli

Revisado por: Ana Cristina Vieira Lopes

Periódico financiado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências — ABRAPEC



Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e Isenção de Interesse e de Responsabilidade

Os autores declaram ser responsáveis pelo zelo aos procedimentos éticos previstos em lei, não haver qualquer interesse concorrente ou pessoais que possam influenciar o trabalho relatado no texto e assumem a responsabilidade pelo conteúdo e originalidade integral ou parcial.

Copyright (c) 2026 Helena Fonseca Laranjeira, Carla Sarmento Santos, Anna Cecilia de Alencar Reis, Luciano Fernandes Silva, Leandro Londero da Silva, Maurício Pietrocola, Giselle Watanabe



Este texto é licenciado pela **Creative Commons CC BY 4.0 License**

Você tem o direito de Compartilhar (copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial) e Adaptar (remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial). De acordo com os termos seguintes:

Atribuição: Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

Sem restrições adicionais: Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.

 **Leandro Londero da Silva**

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil
leandro.londero@unesp.br

 **Maurício Pietrocola**

Universidade de São Paulo
São Paulo, São Paulo, Brasil
mpietro@usp.br

 **Giselle Watanabe**

Universidade Federal do ABC
Santo André, São Paulo, Brasil
giselle.watanabe@ufabc.edu.br

 Editora Responsável: Aline Andréia Nicolli

Revisado por: Ana Cristina Vieira Lopes

Periódico financiado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências — ABRAPEC



Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e Isenção de Interesse e de Responsabilidade

Os autores declaram ser responsáveis pelo zelo aos procedimentos éticos previstos em lei, não haver qualquer interesse concorrente ou pessoais que possam influenciar o trabalho relatado no texto e assumem a responsabilidade pelo conteúdo e originalidade integral ou parcial.

Copyright (c) 2026 Helena Fonseca Laranjeira, Carla Sarmento Santos, Anna Cecília de Alencar Reis, Luciano Fernandes Silva, Leandro Londero da Silva, Maurício Pietrocola, Giselle Watanabe



Este texto é licenciado pela **Creative Commons CC BY 4.0 License**

Você tem o direito de Compartilhar (copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial) e Adaptar (remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial). De acordo com os termos seguintes:

Atribuição: Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

Sem restrições adicionais: Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.
