

**ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM PARA UMA EDUCAÇÃO
CIENTÍFICA SOB A ÓTICA DE PROBLEMAS COMPLEXOS EM CENÁRIOS DE
RISCO E INCERTEZA**

NÉSTOR ALEXANDER ZAMBRANO-GONZÁLEZ

Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, Brasil
nazambranog@usp.br | <https://orcid.org/0000-0001-6579-1921>

MAURICIO PIETROCOLA

Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil
mpietro@usp.br | <https://orcid.org/0000-0003-1839-8005>

RESUMO

Neste texto, empreendemos uma reflexão teórica em busca de explorar subsídios que permitam repensar a educação científica para o risco numa sociedade onde as ameaças se distribuem de forma não excludente. Com esse objetivo, partimos das noções de educação científica moderna reflexiva, complexidade e globalização, para em seguida discutir algumas estratégias de ensino-aprendizagem. Organizadas em grupos, argumentamos que essas estratégias, em suas dimensões didático-pedagógicas para a educação científica e tecnológica, devem preparar os estudantes para abordar problemas complexos em cenários próximos às dinâmicas contemporâneas. Para cada grupo, apontamos uma série de recursos educacionais e de pesquisa que buscam fornecer ferramentas para atuar em um mundo em constante transformação, marcado por conflitos, guerras, desigualdades, pandemias, *fake news*, negacionismos e desafios tecnocientíficos e socioambientais cada vez mais urgentes. Finalmente, ressaltamos a necessidade de incentivar o desenvolvimento de perspectivas críticas, criativas e reflexivas, nas quais a compreensão do conhecimento científico se articule com a riqueza de outros modos de conhecer.

PALAVRAS-CHAVE

modernidade reflexiva; globalização; problemas complexos; riscos manufacturados; ensino de ciências.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 13, ISSUE 01,

2025, PP 74-93

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.38063>

CC BY-NC 4.0

**TEACHING-LEARNING STRATEGIES FOR SCIENCE EDUCATION THROUGH
THE LENS OF COMPLEX PROBLEMS IN CONTEXTS OF RISK AND
UNCERTAINTY**

NÉSTOR ALEXANDER ZAMBRANO-GONZÁLEZ

Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, Brazil
nazambranog@usp.br | <https://orcid.org/0000-0001-6579-1921>

MAURICIO PIETROCOLA

Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brazil
mpietro@usp.br | <https://orcid.org/0000-0003-1839-8005>

ABSTRACT

In this text, we undertake a theoretical reflection in an attempt to explore ways of rethinking science education for risk in a society where threats are distributed in a non-exclusive way. To this end, we begin with the notions of modern-reflective science education, complexity and globalization, and then discuss some teaching-learning strategies. Organized into groups, we argue that these strategies, in their didactic-pedagogical dimensions for science and technology education, should prepare students to tackle complex problems in scenarios close to contemporary dynamics. For each group, we point out a series of educational and research resources aimed at providing tools to act in a world in constant transformation, marked by conflicts, wars, inequalities, pandemics, fake news, denialism, and increasingly urgent techno-scientific and socio-environmental challenges. Finally, we emphasize the need to promote the development of critical, creative and reflective perspectives, in which the understanding of scientific knowledge is articulated with the richness of other ways of knowing.

KEY WORDS

reflexive modernity; globalization; wicked problems; manufactured risks; science teaching.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 13, ISSUE 01,

2025, PP 74-93

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.38063>

CC BY-NC 4.0

**ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA UNA EDUCACIÓN
CIENTÍFICA DESDE LA PERSPECTIVA DE PROBLEMAS COMPLEJOS EN
ESCENARIOS DE RIESGO E INCERTIDUMBRE**

NÉSTOR ALEXANDER ZAMBRANO-GONZÁLEZ

Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, Brasil
nazambranog@usp.br | <https://orcid.org/0000-0001-6579-1921>

MAURICIO PIETROCOLA

Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, Brasil
mpietro@usp.br | <https://orcid.org/0000-0003-1839-8005>

RESUMEN

En este texto, emprendemos una reflexión teórica para explorar fundamentos que permitan repensar la educación científica para el riesgo en una sociedad donde las amenazas se distribuyen de forma no excluyente. Con este objetivo, partimos de las nociones de educación científica moderna reflexiva, complejidad y globalización, para luego discutir algunas estrategias de enseñanza-aprendizaje. Organizadas en grupos, argumentamos que estas estrategias, en sus dimensiones didáctico-pedagógicas para la educación científica y tecnológica, deben preparar a los estudiantes para abordar problemas complejos en escenarios próximos a las dinámicas contemporáneas. Para cada grupo, apuntamos una serie de recursos educativos y de investigación que buscan proporcionar herramientas para actuar en un mundo en constante transformación, marcado por conflictos, guerras, desigualdades, pandemias, noticias falsas, negacionismos y desafíos tecnocientíficos y socioambientales cada vez más urgentes. Finalmente, resaltamos la necesidad de incentivar perspectivas críticas, creativas y reflexivas, en que la comprensión del conocimiento científico se articule con la riqueza de otros modos de conocer.

PALABRAS CLAVE

modernidad reflexiva; globalización; problemas complejos; riesgos manufacturados; enseñanza de las ciencias.



SISYPHUS

JOURNAL OF EDUCATION

VOLUME 13, ISSUE 01,

2025, PP 74-93

DOI: <https://doi.org/10.25749/sis.38063>

CC BY-NC 4.0

Estratégias de Ensino-Aprendizagem para uma Educação Científica sob a Ótica de Problemas Complexos em Cenários de Risco e Incerteza

Néstor Alexander Zambrano-González¹, Mauricio Pietrocola

A consciência da complexidade nos faz compreender que não poderemos escapar jamais à incerteza e que jamais poderemos ter um saber total: “a totalidade é a não-verdade”.

Morin, 2005, p. 69.

(o trecho entre aspas corresponde a uma frase de Adorno retomada pelo autor)

INTRODUÇÃO

Discutir sobre estratégias de ensino-aprendizagem para uma educação científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza parece-nos² implica considerar a educação em ciências em seu diálogo com outros *modos de conhecer*³ num cenário de mudanças globais crescentes. Situados dentro dessa perspectiva, neste texto empreendemos uma reflexão teórica em busca de explorar subsídios que permitam repensar a educação científica para o risco em uma sociedade em que as ameaças são distribuídas de forma não excludente e cujos efeitos não necessariamente impactam a todos os atores sociais de forma igualitária.

Partindo de que as práticas sociais, como o currículo escolar, legitimam um projeto de sociedade, conforme aponta Giddens (2003) em sua teoria da estruturação, destacamos a importância de refletir sobre as realidades da educação científica para a cidadania no século XXI. Neste sentido, um primeiro passo é reconhecer que, em termos de formação, continuamos utilizando, em sua maioria, modelos educacionais do século XX forjados sob as tradições e influências de visões de mundo vigentes em séculos anteriores.

Durante décadas, fomos ensinados a identificar as certezas. A noção de risco foi gradativamente se aproximando ao medo, à catástrofe ou à punição. A necessidade de evitá-lo — ou, se não for possível, de tentar minimizá-lo ao máximo — se tornou arraigada e o mercado de seguros começou a experimentar seu apogeu. No entanto, se analisarmos a estrutura da sociedade em que vivemos, é possível constatar que cada um de nós (direta ou indiretamente) tem um certo grau de responsabilidade pela forma como ela se desenvolveu. Isso nos leva à reflexão de que, se a soma de nossas ações históricas trouxe a sociedade para onde estamos hoje, com nossas decisões também podemos levá-la para outro lugar⁴. De certo modo, este pensamento ressoa como aquele

¹ Rua da Praça do Relógio, 109, térreo, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil.

² Adotamos o uso do plural para a redação deste texto, pois reflete nossa participação e interpretação nas discussões realizadas por um coletivo cujas vozes formam um grupo de pesquisa dedicado ao estudo desta temática.

³ Consideramos este termo chave, a partir da perspectiva de Latour, pois cada estrutura teórica (a ciência, a política, a arte, o direito, etc.) propõe um modo distinto de conhecer o mundo; sendo que nenhum é melhor ou mais universal do que outro. Cada um é capaz de produzir verdades que são indiscutíveis dentro da sua própria estrutura. Nada se reduz a nada. Nada engloba nada. Não há hierarquia, mas sim, superposição.

⁴ Em relação a essa afirmação, evitamos apontar categoricamente se os lugares para os quais a sociedade poderia ir como resultado de nossas decisões atuais e futuras serão melhores, iguais ou piores do que o que já conhecemos.



de Bruno Latour manifestado na Obra *Onde aterrar — Como se orientar politicamente no antropoceno* (Latour, 2020).

Em uma aproximação crítica, reconhecemos na *práxis* a existência de um descompasso entre o que acontece no mundo e o que está sendo ensinado. Diante disso, cabe à sociedade se perguntar periodicamente *o que e de que modo* deve-se ensinar/aprender ciências e tecnologia na escola frente às dinâmicas aceleradas próprias deste século. Essas dinâmicas envolvem, de forma explícita ou implícita, questões de risco, as quais pesquisadores como Schenk et al. (2019) têm integrado na construção de modelos provisórios para a investigação e a prática em educação científica. Entretanto, sabemos que se trata de uma questão atual que não é simples e que está longe de obter respostas consensuadas ou ainda mais conclusivas.

Ao conceber o risco como tema curricular para o ensino de ciências (Pietrocola & Souza, 2019), nos deparamos com propostas de que visam estudar situações de ameaças que podem atingir indivíduos ou populações, mas que ocorrem com certa regularidade e frequência, de modo que na sociedade tem se desenvolvido certa capacidade coletiva de previsibilidade e, portanto, de assegurabilidade. Neste texto, tais situações serão tratadas como *riscos externos*, pois sua caracterização passa por conceber a origem das mesmas em fontes mais ou menos imunes ao funcionamento da própria sociedade. Estariam nessas categorias, as quedas de raios, as erupções vulcânicas, os tufões e furacões típicos de algumas regiões do globo.

No entanto, enfrentamos também riscos cuja origem está vinculada ao progresso da ciência e da tecnologia e seu uso intensivo e extensivo. Estes serão tratados como *riscos manufacturados*, subprodutos da sociedade industrial que foram aos poucos se tornando visíveis e no momento atual configuram ambientes de risco para os quais a história nos forneceu pouquíssima experiência prévia e que serão tratados com mais profundidade mais adiante. Os riscos manufacturados permitem apreciar que esse processo de desenvolvimento social não deve limitar-se apenas aos benefícios evidentes, mas também às falhas, à latência de efeitos secundários, às distorções ou às imprevisibilidades em nossas discussões e análises. A combinação de uma sociedade baseada em conhecimento e práticas científicas e tecnológicas, com as implicações deste conhecimento para além dos objetivos iniciais e com os impactos no ambiente natural produz as ameaças contemporâneas envoltas em cenários complexos.

Para citar apenas alguns exemplos, entre os problemas complexos identificamos riscos manufacturados, tais como a modificação genética de organismos vivos, alimentos transgênicos, mudanças climáticas, riscos e desastres, transição energética, descarbonização da economia, pandemias, além de tecnologias/ inovações disruptivas — como Internet das Coisas (IoT), Redes de comunicação, Computação em nuvem, Big Data e Inteligência Artificial —, Produção Conectada e Inteligente, Bioprocessos e Biotecnologias Avançadas, Materiais Avançados, Nanotecnologias e Armazenamento de Energia⁵. Também se destacam *fake news*, negacionismos científicos, e outras questões relevantes (Brinkmann, 2020; Haltaufderheide, 2020; Mampuy, 2023; Schwab & Diaz, 2023).

Quanto à sua estrutura, este texto está organizado em três partes. A primeira parte pretende apontar elementos para tecer um panorama ao redor da educação científica moderna reflexiva, tendo como principal ponto de referência as ideias do sociólogo alemão Ulrich Beck. A segunda parte trata de questões relacionadas à teoria da complexidade de Morin aplicada à educação científica e os desdobramentos sobre a globalização na perspectiva de Giddens. Por fim, a terceira parte tem como objetivo

⁵ Esse grupo de oito tecnologias disruptivas foi elencado no âmbito do Projeto Indústria 2027, sob a liderança da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), coordenada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) no Brasil. <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/5/industria-2027-estudo-de-sistema-produtivo/>

empreender uma reflexão teórica acerca de possíveis estratégias de ensino-aprendizagem e recursos de pesquisa a serem explorados para promover uma educação científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza.

EDUCAÇÃO CIENTÍFICA MODERNA REFLEXIVA

A ideia de modernidade reflexiva é um conceito presente nas obras dos sociólogos Anthony Giddens, Ulrich Beck, e Scott Lash (1997), mas discutida com nuances diferentes por cada um deles em dimensões que atravessam aspectos como a reinvenção da política, os debates sobre a mudança de *status* da tradição e a consideração da reflexividade estética por sobre a reflexividade cognitiva na ordem social moderna.

No final da década de 1980, em seu livro *Sociedade do Risco*, Beck argumentou que a vida social moderna enfrenta novas formas de risco⁶ autogerado que desafiam a humanidade como coletivo e, cujas fontes ele afirma

(...) já não são mais o desconhecimento, e sim o *conhecimento*, não mais uma dominação deficiente, e sim uma dominação *aperfeiçoada* da natureza, não mais o que escapa ao controle humano, e sim justamente o *sistema de decisões* e coerções objetivas estabelecido com a era industrial. (Beck, 2011, p. 275, grifos do autor).

O acima exposto configura um cenário em que emergem novos desafios, um dos quais remete ao que Pietrocola e Souza (2019) chamaram de *educação científica moderna reflexiva*.

Na perspectiva da educação científica moderna reflexiva, a ciência abandona gradativamente o lugar das certezas para contribuir com a construção da consciência do risco. Acreditamos que isto implica numa transformação do modelo contemporâneo de formação cidadã, que visa a promover uma relação mais dialógica, reflexiva e comprometida por parte dos estudantes diante das questões relacionadas com ciência e tecnologia, tanto nos aspectos potenciais atrelados ao seu desenvolvimento quanto em seus desafios e opacidades. Desse modo, estamos nos referindo a uma perspectiva em que a modernidade reflexiva se configura como base ontológica nos cenários de risco e, por sua vez, a certeza emerge como um obstáculo à segurança ontológica.

A pós-modernidade produz interfaces com a educação para a cidadania de tal forma que, nessa reconfiguração do nosso olhar sob a perspectiva dos riscos e incertezas derivados do desenvolvimento científico e tecnológico, a racionalidade científica não ocorre à margem das discussões sociais, políticas, econômicas, culturais e ambientais, pois, como afirma Beck (2011), parafraseando Emanuel Kant, “racionalidade científica sem racionalidade social fica vazia, racionalidade social sem racionalidade científica, cega” (p. 36).

Em outras palavras, nos encontramos diante de uma interdependência entre os atores ciência-tecnologia-sociedade-ambiente para aproximar-nos à compreensão dos fenômenos da natureza. Isto não implica na perda da identidade epistemológica de cada um dos construtos teóricos desenvolvidos pelas diversas áreas do conhecimento, mas que, de qualquer forma, na prática está ligada à necessidade de democratizar a educação

⁶ Nessa obra o autor apresenta os riscos como “um produto histórico, a imagem especular de ações e omissões humanas, expressão de forças produtivas altamente desenvolvidas” (2011, p. 275).



científica e tecnológica para a tomada de decisões informadas e socialmente responsáveis. Este é um desafio no qual consideramos que a inclusão das noções de risco e incerteza ocupam lugares centrais.

Antes de prosseguir, convém esclarecer que ao introduzirmos a palavra *democratização* não estamos limitados apenas às questões de acesso de maiores parcelas da população ao conhecimento científico e tecnológico, mas insistimos na necessidade de incluir outras instâncias do saber e do fazer de modo a construir uma representação integrada na qual o risco e a incerteza sejam concebidos como noções basilares para as discussões sobre os processos de desenvolvimento científico e tecnológico.

Dito isso, concordamos com Christensen (2009) em que, no processo de tomada de decisões típico da sociedade descrita por Beck e Giddens, a compreensão do risco desempenha um papel importante. Portanto, é necessário contextualizar a percepção escolar sobre o conhecimento científico confiável e seguro em tempos de riscos e incertezas crescentes, uma vez que as situações de ameaça global terão efeitos locais diante dos quais é essencial que os cidadãos estejam preparados para percebê-las e agir.

Na sociedade de risco global caracterizada por Beck, os riscos de crises ecológicas, os riscos de crises financeiras globais e os riscos de ameaças terroristas⁷ ultrapassam as fronteiras de países independentes, gerando potencial para o novo, configuração para o transnacional, condições para a dissolução do nativo e do estrangeiro. De acordo com Motta (2009), o conceito de sociedade de risco global formulado por Beck apresenta dois momentos: a reflexividade da incerteza e o momento cosmopolita, que juntos levam a uma *metamudança* da sociedade do século XXI com as seguintes características:

- as encenações, as experiências e os conflitos dos riscos globais alteram a base da ação e da existência coletiva em todos os campos, nacional e internacionalmente;
- riscos globais abrem questionamentos sobre como integrar o futuro no presente, como transformar as instituições para tratar do tema;
- há uma mudança cultural geral: outra concepção de natureza, do indivíduo, de “nós” e dos “outros”, de racionalidade, liberdade, democracia e legitimidade;
- uma nova ética de responsabilidade planetária, orientada para o futuro;
- os riscos se tornam causa e meio da mudança social, são o conceito básico sociológico para classificar, interpretar e organizar a vida social. (p. 389)

A ideia de educação científica moderna reflexiva nos remete a debruçarmo-nos sobre essa *metamudança* da sociedade. Nesse sentido, à medida que como comunidade avançarmos em nossos esforços teóricos e empíricos para explorá-la, amadurecê-la e expandi-la, continuaremos a encontrar elementos para pensar e repensar seus grandes desafios, suas potenciais contribuições e suas possíveis opacidades.

Mesmo sem a intenção de formalizar previsões verificáveis para o futuro ou de insistir em destacar apenas os benefícios associados ao desenvolvimento científico e tecnológico, esse caminho arriscado, permeado por complexidades, riscos e incertezas, mostra-se promissor para reconfigurar o ensino de ciências e tecnologia de modo a gerar ações reflexivas e transformadoras com envolvimento ativo dos estudantes e o

⁷ Essas três lógicas de riscos globais citadas pelo autor não têm a pretensão de constituir uma tipologia completa, conforme ressalva Motta (2009).

protagonismo mediador dos professores que, neste cenário, precisam de uma formação inicial e continuada adequada às demandas do século XXI.

Acreditamos que essa reconfiguração possa ser impulsionada, entre outras, pela interação constante da sala de aula com as problemáticas globais contemporâneas, a formulação de estratégias de ensino-aprendizagem articuladoras, e não apenas integradoras, e a construção de uma consciência do risco. A renovação dos nossos olhares sobre os propósitos da educação científica e tecnológica deve se dar por meio da apropriação das bases disciplinares, sejam elas acompanhadas pelos prefixos multi, meta, inter, trans ou pluri, com matrizes de conhecimento fora destes balizadores necessários para a tomada de decisões informadas e socialmente responsáveis.

COMPLEXIDADE E GLOBALIZAÇÃO

A complexidade não deveria ser concebida como um construto teórico alheio à dinâmica dos fenômenos que, aguarda passivamente para ser explicitada, mas como um atributo intrínseco da sociedade moderna. Isto porque a ciência e a tecnologia estão na base da sociedade industrial, e a complexidade, enquanto teoria, pretende integrar agentes diversos a fim de se aproximar diante de fenômenos multifacetados. Conforme apontado por Bachelard (2000):

Na realidade não há fenômenos simples; o fenômeno é um tecido de relações. Não há natureza simples, nem substância simples, porque a substância é uma textura de atributos. Não há ideia simples, porque uma ideia simples, como viu Dupréel, deve ser inserida, para ser compreendida, num sistema complexo de pensamentos e experiências. A aplicação é complicação. As ideias simples são hipóteses de trabalho, conceitos de trabalho, que deverão ser revisadas para receber seu justo papel epistemológico. As ideias simples não são a base definitiva do conhecimento; aparecerão, por conseguinte, com um outro aspecto quando forem dispostas numa perspectiva de simplificação a partir das ideias completas. (p. 130)

De fato, concordamos, conforme proposto por Morin (2003), que a complexidade faz parte essencial de uma necessária reforma do pensamento o que, em nosso entendimento, convida à reflexão sobre a transformação dos modelos tradicionais para o ensino de ciências e tecnologia. Um tal ensino deve incorporar a incompletude, a incerteza, o risco e a ideia de futuro, como eixos a serem considerados na construção dos modelos contemporâneos.

Em sua raiz etimológica, a palavra complexidade, que vem do latim *complexus*, refere-se à ideia de “aquilo que é tecido junto”, o que, por analogia, nos remete a imaginar uma teia, uma rede ou uma estrutura de fios entrelaçados. Silva (2011) descreveu-a como uma epistemologia audaciosa cuja “proposta é criar uma ‘epistemologia da epistemologia’, ou seja, pensar o conhecimento, colocar o próprio conhecimento como objeto” (p. 242).

Nesse sentido, o pensamento complexo, que está na base desta teoria, é capaz de incorporar a incerteza e a contradição (Morin, 2005), questionando o paradigma da razão simplificada e a ciência como fonte primogênita para interpretar uma realidade polivalente, interligada e em transformação constante.



Em busca de promover o desenvolvimento do pensamento complexo na prática educacional no ensino de ciências e tecnologia será necessário incentivar a multidimensionalidade do conhecimento, desfragmentar a abordagem dos fenômenos e reformar alguns esquemas para formação de professores, tanto em nível inicial quanto em serviço. Aliás, embarcar-se neste desafio implicará abandonar os feudos das certezas, a segurança derivada do controle aparente das variáveis, o determinismo, a linearidade e renunciar à ideia de inquestionabilidade para explorar um mundo de temporalidades, paradigmas, possibilidades e inovações.

A inclusão das noções de risco e incerteza representa enormes desafios para a educação científica e tecnológica na sociedade contemporânea. No entanto, acreditamos que um dos principais desafios se encontra na educação básica, especificamente, no modo em que os estudantes podem ser sensibilizados pelos professores acerca dos riscos e incertezas inerentes ao desenvolvimento científico e tecnológico, não apenas do ponto de vista local, mas também em relação aos aspectos da ordem global.

Para Giddens (1995) o fenômeno da globalização entende-se como “a intensificação das relações sociais à escala mundial, relações que ligam localidades distantes de tal maneira que as ocorrências locais são moldadas por acontecimentos que se dão a muitos [mil] quilômetros de distância” (p. 52)⁸.

Ainda que, por algum tempo, tenha sido associada principalmente à dinâmica do sistema econômico capitalista, a globalização não se limita a esse aspecto — embora certamente o inclua. Giddens (2000) aponta que se trata de um fenômeno cada vez mais descentralizado que não está sob o controle de nações ou de grandes corporações e que, devemos acrescentar, tem repercussões tangíveis para a vida social e para a vida particular dos indivíduos.

Em relação a esse aspecto, Pietrocola e Souza (2019) apontam que “um dos impactos mais sensíveis da globalização na vida social é uma percepção difusa por parte dos indivíduos sobre o papel da ciência e tecnologia nos dias de hoje” (p. 63), o que, de certa forma, evidencia a urgência de explorar ações curriculares e pedagógicas alternativas que contribuam com a construção das bases de uma educação científica e tecnológica que dialogue com maior sincronia com a reconfiguração do papel da cidadania na contemporaneidade.

Com esse pano de fundo, a complexidade constitui-se como um atributo intrínseco da dinâmica planetária em diferentes esferas da vida, pois muitos dos eventos que ocorrem no mundo estão interconectados; por exemplo, podemos pensar no conceito de rios voadores, um fenômeno pelo qual a umidade é dispersada na forma de vapor de água da floresta tropical para muitas regiões do Sudeste do Brasil e da América do Sul. Um processo silencioso e constante que tem impacto positivo em diferentes formas de vida, na disponibilidade de água nos territórios e no clima ao longo de milhares de quilômetros e que atualmente encontra-se seriamente ameaçado pelo desmatamento e pelas mudanças climáticas.

Ao fazer essas colocações, não sugerimos que a complexidade represente um obstáculo. Seguindo a perspectiva de Salles e Matos (2017), entendemos que ela oferece uma oportunidade para que os sujeitos, entendidos como seres inacabados e por vezes contraditórios que lidam constantemente com riscos e incertezas, ampliem sua compreensão sobre o mundo e sobre a vida e identifiquem possibilidades para escapar da armadilha do controle total. Com a inclusão da teoria da complexidade, busca-se contribuir para a superação do pensamento simplificador e fragmentado promovido por modelos educacionais tradicionais, que muitas vezes permitem

⁸ Milhar acrescentado, dada a extensificação da globalização desde a publicação da obra.

enxergar apenas as partes individuais que compõem determinados fenômenos, mas raramente as conexões entre elas.

ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM SOBRE O RISCO E AS INCERTEZAS

Referir-se a estratégias de ensino-aprendizagem (ligadas pela preposição relacional *de* e por um hífen) ou a estratégias de ensino e aprendizagem (ligadas pela preposição relacional *de* e pela conjunção aditiva *e*) pode parecer um detalhe sem maior importância; no entanto, nessa variação aparentemente sutil, há diferenças substanciais. No primeiro caso, envolve um processo integrado, interdependente e interativo (dialógico) entre o professor e o estudante, no qual ambos os processos ocorrem em sinergia. No segundo, são reconhecidos dois processos distintos, mas complementares, nos quais as ações de ensino estão associadas ao professor e as ações de aprendizagem ao estudante. É claro que, dada sua proximidade com a nossa perspectiva, decidimos adotar neste texto a primeira (ensino-aprendizagem).

Pesquisadores influentes, como Piaget, Vygotsky, Bruner, Ausubel, Gardner, Dewey e Bloom, para citar apenas alguns, forneceram fundamentos teóricos que serviram de base para a configuração de várias estratégias que, organizadas sob diferentes modelos pedagógicos, são usadas pelos professores em busca de viabilizar os processos de ensino-aprendizagem.

No contexto que descrevemos nas seções prévias, parece-nos que as estratégias de ensino-aprendizagem, na essência de suas dimensões didático-pedagógicas para a formação científica e tecnológica no século XXI, devem preparar os estudantes em cenários próximos às dinâmicas contemporâneas. Isto implica em incorporar como conteúdo educacional a abordagem de problemas complexos, incentivando o desenvolvimento de perspectivas críticas, criativas e reflexivas em que a compreensão do conhecimento científico se articule com a riqueza de outros conhecimentos, de modo a fornecer recursos educacionais diversificados para atuar em um mundo em constante transformação e atualmente marcado por conflitos, guerras, desigualdades, pandemias, *fake news*, negacionismos e desafios tecnocientíficos e socioambientais cada vez mais urgentes.

A esse respeito, na literatura encontramos uma variedade de recursos que podem ser explorados a fim de possibilitar o que, neste texto, temos chamado de *educação científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza*. Dessa forma, nos encontramos diante de um projeto educacional amplo, na qual situações típicas de um mundo globalizado e tecnologicamente avançado, com múltiplos desenlaces possíveis e desprovidos de soluções simples, únicas ou definitivas, tornam-se questões curriculares a serem abordadas continuamente em diferentes níveis dos sistemas de ensino.

Cientes de que, por enquanto, não estamos buscando aprofundar cada uma das estratégias ou entrar em uma discussão específica acerca de seus limites ou possibilidades a partir de experiências, organizamos algumas delas que nos parecem relevantes em grupos, conforme apresentado no Quadro 1.



Quadro 1

Organização das estratégias de ensino-aprendizagem em cenários de risco e incerteza

Grupo*	Estratégias de Ensino-Aprendizagem
1	Configuração de situações-problema para abordar a temática dos riscos e das incertezas em sala de aula.
2	Uso de <i>wicked-problems</i> como pretextos para promover abordagens contextualizadas sobre temas complexos em sala de aula.
3	Formulação e análise de cenários prospectivos.

Fonte: Elaboração própria.

* Esta ordem representa uma proposta de organização de algumas estratégias de ensino-aprendizagem (não hierárquica) sempre aberta a debates e possíveis reconfigurações.

Conforme destacado na nota explicativa que acompanha o quadro acima, ao organizar algumas estratégias de ensino-aprendizagem situadas em cenários de risco e incerteza, não estamos, de forma alguma, sugerindo hierarquias ou estabelecendo uma proposta fechada ao debate ou a possíveis reconfigurações. Tendo isso em vista, apresentamos a seguir uma breve referência para cada um dos grupos.

CONFIGURAÇÃO DE SITUAÇÕES-PROBLEMA PARA ABORDAR A TEMÁTICA DOS RISCOS E DAS INCERTEZAS EM SALA DE AULA

Um dos grandes desafios na busca de levar a temática dos riscos e das incertezas para a sala de aula é o perfil de situações de ensino-aprendizagem. Na grande maioria dos casos, estas situações visam o uso de conceitos e procedimentos para a busca de uma solução, normalmente definitiva, para problemas ou propostas. A matriz de conhecimento que subjaz à escolha das situações-problema é de natureza determinista, que implica em considerar as dimensões epistemológica, ontológica e axiológica predeterminadas ou envoltas na busca de certeza. De certo modo, no modelo clássico, almejava-se alcançar resultados altamente estáveis, como produto da aplicação sistemática de métodos nos quais o maior número possível de variáveis era passível de controle. No entanto, diante da complexidade característica dos problemas contemporâneos, esse objetivo torna-se cada vez mais desafiador.

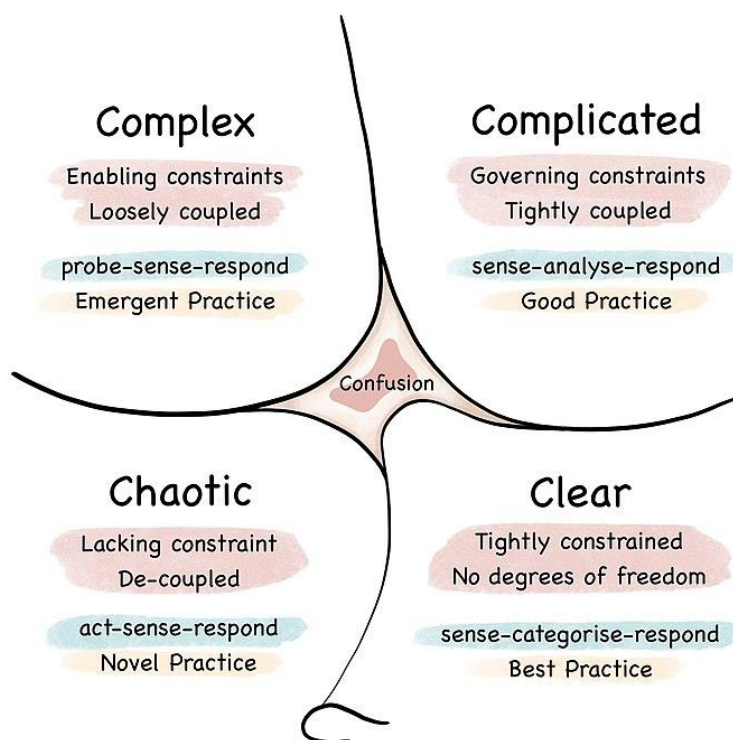
Diante desse panorama, Levrini et al. (2024) propõem reimaginar a educação científica para além do determinismo, reconhecendo as transformações decorrentes do desenvolvimento humano contínuo. Em suas palavras, ditas mudanças configuram um “cenário emergente de pesquisa [que] exige que questionemos os fundamentos epistemológicos tradicionais do pensamento científico, sobre os quais o projeto da modernidade foi construído desde o Iluminismo, no século XVIII” (p. 489, tradução nossa).

É claro que nos encontramos diante de um novo perfil de situações de ensino-aprendizagem, o qual exige a superação das fronteiras do currículo científico tradicional (Pietrocola & Gurgel, 2017). Nesse sentido, parece-nos que o cenário que estamos descrevendo demanda, entre outras ações, a atualização dos conteúdos curriculares, o questionamento dos fundamentos epistemológicos tradicionais do pensamento científico (conforme supracitado), a construção de interfaces entre os diferentes campos

do conhecimento e a revisão das estratégias de ensino e aprendizagem em ciências, uma vez que as necessidades sociais e pedagógicas evoluem ao longo do tempo.

Uma opção para a configuração de perfis de situações-problema que envolvem riscos e incertezas em sala de aula é o diagrama CYNEFIN, resultado “de vários anos de pesquisa-ação sobre o uso da teoria narrativa e da complexidade na troca de conhecimento organizacional, tomada de decisão, estratégia e formulação de políticas” (Kurtz & Snowden, 2003, p. 462, tradução nossa). Esse diagrama diferencia quatro tipos de problemas, categorizando-os como simples, complicados, complexos ou caóticos (Ver figura 1), e pode ser considerado um recurso promissor para a construção de sentido em um mundo caracterizado pela complexidade e pela imprevisibilidade.

Figura 1
Diagrama CYNEFIN



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Cynefin_framework

As atividades consagradas no ensino de ciências abordam de maneira quase exclusiva o lado direito do diagrama (regiões dos problemas simples e complicados). Nestas regiões, vigoram as boas e melhores práticas. O objetivo de aprendizagem se vincula à capacidade dos alunos em reconhecer os problemas e as práticas a eles associadas. Exemplos conhecidos de problemas escolares de ciências que emulam estas regiões são o cálculo estequiométrico em Química, a determinação de forças no equilíbrio de corpos ou a classificação dos seres vivos na Biologia. Em todas estas situações, existem boas ou melhores práticas capazes de resolver problemas propostos. Em contrapartida, problemas contemporâneos, como o aquecimento global ou o risco de novas pandemias, não se enquadram em problemas simples ou complicados. Não sabemos quais as melhores práticas para reverter o aquecimento global, nem para enfrentar uma nova



epidemia global. Problemas deste tipo são, algumas vezes chamados de *wicked problems*⁹ por terem características que tornam suas soluções difíceis de serem reduzidas a um conjunto estável de saberes. No contexto do diagrama CYNEFIN, o aquecimento global e futuras pandemias seriam problemas, muito provavelmente, pertencentes à região dos problemas complexos.

O desafio para abordar as situações de risco na escola seria a necessidade de desenvolver capacidades de lidar com problemas complexos, para os quais ainda não há boas práticas, pois eles se situam fora do domínio das certezas. Se a resolução de problemas-tipo, nos termos propostos pelo filósofo e historiador da ciência Thomas Kuhn, foi a base da educação científica dos séculos XVIII até meados do século XX, a resolução de problemas complexos é a base da educação científica do Século XXI. Não por uma opção epistemológica, mas por uma necessidade civilizatória: temos de educar pessoas capazes de tomarem decisão frente aos riscos civilizatórios contemporâneos.

O diagrama CYNEFIN pode ajudar na busca de novas situações-problemas e no desenvolvimento de habilidades para resolvê-las a serem incluídos nos currículos escolares.

Algumas pesquisas têm utilizado o diagrama CYNEFIN como referência para facilitar a percepção e a tomada de decisões em contextos complexos. No campo da pesquisa em ensino de ciências, por exemplo, Schnorr et al. (2024) investigaram recentemente a relação entre a teoria da sociedade de risco e a formação de professores de biologia, especificamente no contexto do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). Para isso, utilizaram, entre outros instrumentos de produção de dados, o diagrama CYNEFIN. Os resultados indicaram que o uso do diagrama permitiu aos futuros professores estruturar a categorização e a abordagem de problemas de forma mais organizada e que a articulação com a teoria da sociedade de risco possibilitou uma compreensão mais crítica dos desafios educacionais e sociais, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias voltadas à mitigação dos riscos nesses contextos.

USO DE WICKED-PROBLEMS COMO PRETEXTOS PARA PROMOVER ABORDAGENS CONTEXTUALIZADAS SOBRE TEMAS COMPLEXOS EM SALA DE AULA

Na educação, Achiam et al. (2021), mostraram que os ambientes fora da escola ligados à abordagem de *wicked problems* podem estimular um envolvimento disciplinar e interdisciplinar significativo entre os estudantes, o que acreditamos representa uma estratégia promissora a seguir explorando.

Diversos temas têm despertado o interesse das pesquisas em ensino de ciências que visam abordar os riscos manufaturados e a tomada de decisão. Nesse contexto, Silva et al. (2022) investigaram a percepção de risco de professores de ciências em formação inicial em relação a três riscos manufaturados distintos: a pandemia de COVID-19, o aquecimento global e a segurança alimentar e nutricional. O estudo foi conduzido com base na Teoria da Percepção Amplificada de Riscos (PAR), que analisa a percepção de risco a partir de três dimensões: acesso, urgência e alcance.

A PAR da turma foi medida antes e depois da participação em um curso que abordou o estudo desses riscos manufaturados e incluiu a produção de uma sequência de ensino sobre tomada de decisão. Os resultados preliminares indicaram diferenças

⁹ Em um artigo de 1973, Rittel e Webber, pesquisadores da Universidade da Califórnia, em Berkeley, forjaram a noção de *wicked problems* e delinearão propriedades distintivas para esse tipo de problemas.

estatisticamente significativas entre os pré e pós-testes, evidenciando um aumento na percepção de risco. Tanto o curso quanto a Sequência de Ensino e Aprendizagem implementados demonstraram-se eficazes para intensificar essa percepção, e o uso do diagrama da PAR contribuiu para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação voltada à análise de situações de ensino-aprendizagem.

A Inteligência Artificial (IA), considerada como outro risco manufaturado, foi objeto de estudo de Erduran e Levrini (2024), que investigaram seu uso em práticas científicas e analisaram suas implicações para o ensino de ciências. Os autores ressaltaram que, quanto mais cedo o papel da IA nas práticas científicas for explorado e integrado às políticas e práticas educacionais, menor será o risco de a educação se tornar desatualizada, garantindo que os alunos estejam preparados para um cenário científico em constante transformação.

Considerando o desenvolvimento da inteligência artificial e sua relação com o ensino de ciências, Ogata (2024) pesquisou a influência dos valores na avaliação de riscos manufaturados e, numa pesquisa recente, Ghidini e Pietrocola (2024) estudaram a tomada de decisão e a confiança depositada na ciência sobre situações envolvendo Usinas Nucleares e Efeitos biológicos da Radiação ionizante.

Tal como se pode apreciar nas pesquisas citadas anteriormente, os desafios da contemporaneidade se manifestam em situações-problema de contornos instáveis, conhecidas na literatura da área como *wicked problems*, caracterizadas pelo risco e pela incerteza. De fato, trata-se de problemas para os quais, nas palavras de Pietrocola et al. (2021), é “impossível definir uma resolução do tipo tentativa e erro, pois, na dinâmica do contexto, cada iteração que visa a uma resolução ocorre em um momento diferente e em um novo cenário” (p. 224, tradução nossa).

Os *wicked-problems* mostram que a ciência, por si só, não pode fornecer todas as respostas às perguntas que lhe são formuladas, portanto, a presença de múltiplas vezes oriundas de diferentes campos do conhecimento constitui um aspecto essencial, já que esses tipos de problemas estão situados nas interseções difusas entre ciência e sociedade, ciência e tecnologia e ciência e ambiente.

Os *wicked problems* diferem da maneira tradicional de formular e resolver problemas nas ciências (e no seu ensino) porque, próximos a contextos reais, apresentam várias causas interligadas que interagem entre si, o que implica que não tenham soluções simples. Introduzir este tipo de situações-problema em sala de aula pode contribuir para distanciarmos dos olhares reducionistas com os quais muitas dessas situações costumam ser abordadas.

FORMULAÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS

Finalmente, a referência aos estudos de futuro no ensino de ciências pode, a princípio, parecer disruptiva, pois, como afirma Bell (2009), o futuro não é fatural e as afirmações científicas são conjecturas. No entanto, o fato de que o futuro não seja evidente não representa um obstáculo para os estudos de futuro como atividade científica, considerando, nas palavras do autor, uma *ciência transdisciplinar* que encontra subsídio em múltiplos conhecimentos para atingir e justificar suas descobertas e afirmações, e uma *ciência da ação* que tem como um de seus objetivos informar a ação humana destinada a moldar o futuro.

Nessa perspectiva, propomos a inclusão da formulação e análise de cenários prospectivos dentro das estratégias de ensino-aprendizagem para uma educação



científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza. Fazemos esta proposta porque acreditamos que tal prática pode contribuir para que os estudantes analisem diferentes cenários e possam exercitar a habilidade de correlacionar múltiplas variáveis. Isso é determinante para orientar ações presentes, com a experiência e conhecimento do passado, mas que visam enfrentar futuros possíveis.

Ainda que esta não seja uma questão nova, a educação científica orientada para os futuros — no plural porque todas as possibilidades estão em aberto, algumas mais outras menos prováveis — envolve, entre outros aspectos, reconsiderar os fundamentos epistêmicos da ciência, investigar sobre os imaginários dos estudantes para entender suas narrativas de futuros (Barelli et al., 2022) e exercitar o pensamento futuro o que, no contexto da ciência contemporânea, oferece sinergias por meio de perspectivas compartilhadas sobre incertezas, probabilidades e pensamento criativo (Laherto & Rasa, 2022).

Sob denominações — na literatura da área — como *futures thinking* ou *futures education* (Buntting & Jones, 2015; Jones et al., 2012) um conjunto de iniciativas baseadas em narrativas para potencializar estruturas de pensamento futuro tem contribuído significativamente para a expansão deste campo de pesquisa dentro da educação científica contemporânea. Dois exemplos podem ilustrar este terceiro grupo de estratégias. O primeiro consiste em pedir aos estudantes que imaginem e descrevam o futuro da sociedade em termos científicos e tecnológicos, tanto a médio quanto a longo prazo, partindo do conhecimento disponível atualmente e considerando múltiplas variáveis da ordem social, econômica, política, ética, etc.

O segundo envolve o desenvolvimento de novos cenários, com a participação ativa de especialistas, em que se consideram temas diversos como, por exemplo, os impactos das mudanças climáticas e as opções de mitigação e adaptação frente a alterações futuras que possam repercutir em nossos estilos de vida e possibilidades de sobrevivência (O'Neil et al., 2017; Shepherd, 2019). Acredita-se que esse tipo de exercícios incentivam os estudantes a refletir sobre possíveis desafios futuros, correlacionar variáveis e a reconhecer a importância de tomar decisões informadas e socialmente responsáveis.

Situados no campo da pesquisa em ensino de ciências, Laherto e Rasa (2022) analisam desafios contemporâneos na educação científica e apresentam razões para a introdução de uma perspectiva voltada para o futuro nas salas de aula de ciências. Os autores argumentam que pesquisas recentes demonstram o potencial de atividades de aprendizagem científica orientadas para o futuro, as quais envolvem pensamento sistêmico, desenvolvimento de cenários e *backcasting*¹⁰, para ampliar as percepções dos alunos, estimular a imaginação de alternativas e auxiliar na navegação diante da incerteza.

Antes de finalizar esta seção, cabe acrescentar que, na perspectiva da sociedade do risco todas as estratégias descritas poderiam se alinhar com aspectos fundacionais desta teoria para fomentar uma educação para a reflexividade crítica sobre o impacto dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos nas dinâmicas planetárias; para fortalecer enfoques curriculares em riscos globais e transnacionais; para incentivar discussões escolares sobre o princípio de precaução; para explorar narrativas em cenários de riscos e vislumbrar futuros possíveis; para empreender pesquisas sobre governança, política científica e meio-ambiental, para avançar numa educação para sistemas resilientes, para promover análises de casos históricos que envolvem riscos científicos e tecnológicos, discutir questões axiológicas, entre outros.

¹⁰ É uma técnica de planejamento estratégico que consiste em imaginar um futuro desejado e trabalhar para trás para determinar os passos necessários para alcançá-lo.

Considerando esse panorama, insistimos na urgência de explorar subsídios para repensar uma educação científica para o risco, na qual a tomada de decisões seja baseada em dados e evidências e esteja articulada com a construção de perspectivas cidadãs críticas e reflexivas, pois, de acordo com Pietrocola (2019), do ponto de vista educacional, “dotar os futuros cidadãos da melhor formação para viver e trabalhar num mundo em transformação exigirá, certamente, uma formação pelo e para o conhecimento” (p. 47).

Mas a que tipo de conhecimento estamos nos referindo? Embora existam muitas respostas possíveis para essa pergunta, nenhuma delas será simples, definitiva ou, melhor ainda, livre de dissensos.

Conscientes disso, arriscamos propor, para ampla discussão, que estamos nos referindo a conhecimentos voltados para uma educação científica moderna reflexiva. Esse tipo de conhecimento deve contribuir para a compreensão do contexto, dos desafios e das necessidades locais em sua relação com as dinâmicas globais. Isso é especialmente relevante em meio à imprevisibilidade que envolve fenômenos para os quais não temos precedentes.

Ademais, é importante considerar as consequências de desenvolvimentos científicos e tecnológicos construídos para determinados fins. Muitas vezes, esses desenvolvimentos, sem uma relação causa-efeito clara, dão origem a desdobramentos não contemplados inicialmente por seus idealizadores. Um exemplo disso é a produção de energia por meio da fissão nuclear de átomos pesados, que culminou na construção da bomba atômica utilizada como arma letal durante a Segunda Guerra Mundial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo das noções de educação científica moderna reflexiva, complexidade e globalização, neste texto buscamos discutir algumas estratégias de ensino-aprendizagem e apresentar alguns recursos de pesquisa para uma educação científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza. Assim, nosso objetivo nas duas primeiras partes foi traçar um percurso teórico que nos permitisse reforçar a urgência da construção de uma consciência do risco (Pietrocola & Souza, 2019) e a necessidade de uma reconfiguração curricular e das práticas de ensino para ciência e tecnologia em que se estabeleçam diálogos com as características decorrentes da *metamudança* da sociedade global do risco na contemporaneidade, conforme proposto por Beck (Motta, 2009).

Ao retomar a ideia de educação científica moderna reflexiva (Pietrocola & Souza, 2019) concebemos, na linha de Beck (2011), uma perspectiva de ciência para além da verdade e do esclarecimento e com poder para transformar-se a si mesma, concordamos com a urgência de uma quebra da utopia do autocontrole da modernidade e assumimos a defesa de uma pedagogia da racionalidade científica em que cabe às ciências sociais “fomentar a libertação das ciências do destino autoimposto de sua imaturidade e cegueira em relação aos riscos” (p. 273).

Embora estejamos cientes de que outras alternativas sempre poderão surgir, na terceira parte nos arriscamos a organizar em grupos algumas estratégias de ensino-aprendizagem e recursos de pesquisa que podem ser exploradas para lidar com cenários de risco e incerteza dentro da ideia de uma educação científica moderna reflexiva.

Conforme apresentado e discutido, algumas delas estão associadas ao perfil de situações de ensino-aprendizagem, um dos grandes desafios na busca de levar a temática dos riscos e das incertezas para a sala de aula; o uso de *wicked-problems* como pretextos para promover abordagens contextualizados sobre temas complexos em sala de aula e a



formulação e análise de cenários prospectivos, todas elas concebidas como potenciais recursos para abordar situações-problema de natureza complexa em sala de aula.

Esperamos que as reflexões que buscamos empreender neste texto suscitem amplos debates e desenvolvimentos em nossa área, que novas estratégias de ensino-aprendizagem na educação científica e tecnológica sejam exploradas, desenvolvidas ou adaptadas com o auxílio dos fundamentos da pesquisa educacional e que a complexidade, o risco e a incerteza estejam cada vez mais presentes nas perspectivas curriculares e nas práticas de ensino contemporâneas de países não industrializados.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORES

Conceitualização: N. Z. e M. P.; Metodologia: N. Z. e M. P.; Análise formal: N. Z. e M. P.; Investigação: N. Z. e M. P.; Redação do rascunho original: N. Z. e M. P.; Redação – revisão e edição: N. Z. e M. P.; Aquisição de financiamento: M. P.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - Processos nº. 2023/16247-7; nº. 2022/06977-5 e do CNPQ 420746/2022-6.

Os autores agradecem aos integrantes do Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares (NUPIC) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (FEUSP) pelas pesquisas concluídas e em andamento para uma educação científica sob a ótica de problemas complexos em cenários de risco e incerteza, bem como pelas valiosas partilhas e reflexões.

REFERÊNCIAS

- Achiam, M., Dillon, J., & Glackin, M. (2021). *Addressing Wicked Problems through Science Education. The Role of Out-of-School Experiences*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-74266-9>
- Bachelard, G. (2000). *A epistemologia*. (F. Lourenço & M. Carmino, Trad.). Edições 70.
- Barelli, E., Tasquier, G., Caramaschi, M., Satanassi, S., Fantini, P., Branchetti, L., & Levrini, O. (2022). Making sense of youth futures narratives: Recognition of emerging tensions in students' imagination of the future. *Frontiers in Education*, 7, 911052. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.911052>
- Beck, U. (2011). *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. (2ª Edição). Ed. 34.
- Bell, W. (2009). *Foundations of future studies. History, purposes, and knowledge. Human Science for a New Era*. (Transaction Publishers, Trad.). State University of New Jersey / Transaction Publishers.



- Brinkmann, R. (2020). Wicked Problems and Disasters. In *Environmental Sustainability in a Time of Change. Palgrave Studies in Environmental Sustainability* (pp. 55-82). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28203-5_4
- Buntting, C., & Jones, A. (2015). Futures Thinking in the Future of Science Education. In D. Corrigan, C. Buntting, J. Dillon, A. Jones & R. Gunstone (Eds.), *The Future in Learning Science: What's in it for the Learner?* (pp. 229-244). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16543-1_12
- Christensen, C. (2009). Risk and school science education. *Studies in Science Education*, 45(2), 205-223. <https://doi.org/10.1080/03057260903142293>
- Erduran, S., & Levrini, O. (2024). The impact of artificial intelligence on scientific practices: an emergent area of research for science education. *International Journal of Science Education*, 46(18), 1982-1989. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2306604>
- Ghidini, J., & Pietrocola, M. (2024). Between risk and trust: Contextual problems of nuclear energy. [Apresentação de trabalho, anais no prelo]. *17th Biennial International Conference of the IHPST Group*, Buenos Aires, Argentina.
- Giddens, A. (1995). *As consequências da modernidade*. Celta Editora.
- Giddens, A. (2000). *O mundo na era da Globalização*. Presença.
- Giddens, A. (2003). *A constituição da sociedade*. (A. Cabral, Trad.). Martins Fontes.
- Giddens, A., Beck, U., & Lash, S. (1997). *Modernização reflexiva. Política, tradição e estética na ordem social moderna*. (M. Lopes, Trad.). Editora da Universidade Estadual Paulista.
- Haltaufderheide, J. (2020). CRISPR-Cas and the Wicked Problem of Moral Responsibility. In B. Beck & M. Kühler (Eds.), *Technology, Anthropology, and Dimensions of Responsibility* (pp. 45-58). Techno: Phil – Aktuelle Herausforderungen der Technikphilosophie, vol. 1, J.B. Metzler, Stuttgart. https://doi.org/10.1007/978-3-476-04896-7_5
- Jones, A., Buntting, C., Hipkins, R. McKim, A., Conner, L., & Saunders, K. (2012). Developing Students' Futures Thinking in Science Education. *Res Sci Educ*, 42, 687-708. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9214-9>
- Kurtz, C. F., & Snowden, D. J. (2003). The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world. *IBM Systems Journal*, 42(3), 462-483. <https://doi.org/10.1147/sj.423.0462>
- Laherto, A., & Rasa, T. (2022). Facilitating transformative science education through futures thinking. *On the horizon: The international journal of learning futures*, 30(2), 96-103. <https://doi.org/10.1108/OTH-09-2021-0114>
- Latour, B. (2020). *Onde aterrar? — Como se orientar politicamente no Antropoceno*. (M. Vieira, Trad.). Ed. Bazar do Tempo.
- Levrini, O., Pietrocola, M., & Erduran, S. (2024). Breaking Free from Laplace's Chains. *Science & Education*, 33, 489-494. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00528-w>
- Mampuy, R. (2023). The Deadlock in European Decision-Making on GMOs as a Wicked Problem by Design: A Need for Repoliticization. *Science, Technology, & Human Values*, 48(6), 1329-1359. <https://doi.org/10.1177/01622439221097206>



- Morin, E. (2003). *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. (8ª Edição). Bertrand Brasil.
- Morin, E. (2005). *Introdução ao pensamento complexo*. (E. Lisboa, Trad.). Ed. Sulina.
- Motta, R. (2009). Sociologia de risco: globalizando a modernidade reflexiva. *Sociologias*, 11(22), 384-396. <https://doi.org/10.1590/S1517-45222009000200015>
- Ogata, J. (2024). *O ensino de ciências e o desenvolvimento da inteligência artificial: a influência dos valores na avaliação dos riscos manufaturados*. (Dissertação de mestrado não publicada). Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Pietrocola, M. (2019). Uma crítica epistemológica sobre as bases do currículo: A interdisciplinaridade como um saber de segunda ordem. *Educação, Sociedade & Culturas*, 55, 31-51. <https://doi.org/10.34626/esc.vi55.37>
- Pietrocola, M., & Gurgel, I. (Eds.). (2017). *Crossing the Border of the Traditional Science Curriculum*. Brill. <https://doi.org/10.1007/978-94-6351-041-7>
- Pietrocola, M., Rodrigues, E., Bercot, F., & Schnorr, S. (2021). Risk Society and Science Education. Lessons from the Covid-19 Pandemic. *Science & Education*, 30, 209-233. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00176-w>
- 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://doi.org/10.26512/lc.v25.2019.19844>
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4, 155-169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>
- Salles, V. O., & Matos, E. A. S. A. de. (2017). A teoria da complexidade de Edgar Morin e o Ensino de Ciência e Tecnologia. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e TECNOLOGIA*, 10(1), 116-127. <https://doi.org/10.3895/rbect.v10n1.5687>
- Schenk, L., Hamza, K. M., Enghag, M., Lundegård, I., Arvanitis, L., Haglund, K., & Wojcik, A. (2019). Teaching and discussing about risk: seven elements of potential significance for science education. *International Journal of Science Education*, 41(9), 1271-1286. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1606961>
- Schnorr, S. M., Faria, B. B. M., Rodrigues, E. V., & Pietrocola, M. (2024). O encontro da sociedade do risco na formação de professores de Biologia: análise das experiências formativas no PIBID. *Revista De Ensino De Biologia Da SBEnBio*, 17(nesp.1), 384-405. <https://doi.org/10.46667/renbio.v17inesp.1.1443>
- Schwab, J., & Diaz, N. C. (2023). The discursive blinkers of climate change: Energy transition as a wicked problem. *The Extractive Industries and Society*, 15, 101319. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101319>

- Shepherd, T. G. (2019). Storyline approach to the construction of regional climate change information. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 475(2225). <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0013>
- Silva, B. P. L. (2011). A teoria da complexidade e o seu princípio educativo: as ideias educacionais de Edgar Morin. *Polyphonia*, 22(2), 241-254. <https://doi.org/10.5216/rp.v22i2.26682>
- Silva, L., Sollero, P., Bernardes, J., & Pietrocola, M. (2022). Risk perception concerning COVID-19 pandemic, global warming and food and nutrition security by pre-service science teachers. In G. S. Carvalho, A. S. Afonso & Z. Anastácio (Eds.), *Fostering scientific citizenship in an uncertain world (Proceedings of ESERA 2021)*, Part 11 Evaluation and assessment of student learning and development, co-ed. L. Rokos & M. Ropohl (pp. 855-860). CIEC, University of Minho.

*

Received: October 7, 2024

Revisions Required: February 4, 2025

Accepted: February 25, 2025

Published online: February 28, 2025

