



## O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS COMO POSSIBILIDADE PARA A PROMOÇÃO DE DISCUSSÕES SOCIOCIENTÍFICAS

*The Precautionary Principle in science education as a possibility for promotion of socio-scientific discussions*

**Leila Cristina Aoyama Barbosa Souza** [aoyama.leila@gmail.com]

*Escola Técnica Estadual de Rondonópolis/MT, Brasil*

*Rodovia MT-270, km 06, Parque Sagrada Família, 78.735-901, Rondonópolis/MT, Brasil*

**Carlos Alberto Marques**<sup>1</sup> [carlos.marques@ufsc.br]

**Adélio Alcino Sampaio Castro Machado**<sup>2</sup> [amachado@fc.up.pt]

<sup>1</sup>*Departamento de Metodologia de Ensino*

*Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil,*

*Campus Universitário Trindade, 88.040-900, Florianópolis/SC, Brasil*

<sup>2</sup>*Departamento de Química, Faculdade de Ciências*

*Universidade do Porto, Portugal,*

*R. Campo Alegre, 687, Porto, 4169-007, Portugal*

### Resumo

Avaliar situações de risco e evitar impactos socioambientais oriundos da ciência e da tecnologia é o que fundamenta as abordagens precaucionárias. A fim de identificar como as produções acadêmicas da área de ensino de ciências vislumbram o Princípio da Precaução na educação, realizou-se um levantamento bibliográfico em periódicos brasileiros e internacionais da área. Observa-se a existência de trabalhos que destacam a importância de tal princípio na formação para a cidadania na educação científica. Entretanto, poucos são aqueles que aprofundam sobre o tema ou propõem modos de inseri-lo no ensino. Ao considerar estes aspectos, procuramos evidenciar maneiras de sua aplicação para a tomada de decisão em situações que apresentam incertezas científicas.

**Palavras-Chave:** Princípio da precaução; Incerteza científica; Alfabetização científica e tecnológica; Tomada de decisão participativa.

### Abstract

Assessing risk situations and avoiding social and environmental impacts from science and technology is what underlies the precautionary approaches. To identify how academic productions in the science teaching area discuss the Precautionary Principle in education, we carried out a bibliographic survey in Brazilian and international journals in this area, which showed the existence of works that highlight its importance for training science students for citizenship. However, few papers deal with this theme or propose ways to insert it in teaching. When considering these aspects we aim to find ways for using the principle in decision making in situations involving scientific uncertainty.

**Keywords:** Precautionary principle; Scientific uncertainty; Scientific and technological literacy; Participatory decision-making.

## INTRODUÇÃO

O Princípio da Precaução (PP) é um fundamento amplamente utilizado na área de direito ambiental e de biossegurança para avaliar situações passíveis de riscos de impactos socioambientais e que necessitam de tomada de ação (O’Riordan & Cameron, 1994). Em essência, tal princípio define que atividades que apresentem ameaças de danos, mesmo que incertos, ao ambiente e/ou organismos vivos, devem ter ações empreendidas a fim de evitá-los ou diminuí-los, ainda que signifique a suspensão da atividade.

A invocação do PP altera o questionamento sobre os riscos e nível de danos aceitáveis de uma atividade. Deixa-se de apenas considerar a mensuração dos riscos para se observar novas questões: “quanto de contaminação pode ser evitada? Quais são as alternativas para o produto ou atividade em questão? Elas são seguras? A atividade é realmente necessária?” (Tickner & Raffensperger, 1998, p. 03, tradução nossa). Considerar questões desse tipo remete à uma abordagem precaucionária de Ciência e Tecnologia (C&T). Isto significa que, ao tomarem consciência dos danos que uma atividade pode provocar no ambiente, a comunidade científica decida por ações cautelosas sobre a continuidade da atividade ao invés de promoverem avanços em pesquisas, considerando apenas aspectos políticos e econômicos, respaldados pelo discurso de ciência para o progresso e bem-estar social.

No campo educacional – especificamente no ensino de ciências – o PP é citado como elemento importante para uma educação científica voltada à tomada de decisão e formação de cidadãos participativos (Praia, Gil Pérez & Vilches, 2007). Entretanto, raras são as publicações educacionais que esclarecem sobre esta inserção, promovendo, desse modo, uma alfabetização científica crítica, como a defendida por Auler e Delizoicov (2001) e Santos (2008). Tal perspectiva vislumbra a aprendizagem de conteúdos científicos associado à discussão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e considera fundamentos da educação problematizadora de Freire (2006) em busca da emancipação dos sujeitos.

Neste trabalho, em um primeiro momento, a partir de um levantamento bibliográfico em periódicos brasileiros e internacionais da área de ensino de ciências, buscamos analisar e discutir o que já existe de consolidado sobre a relação entre o PP e o ensino de ciências. A investigação não representa, todavia, um levantamento de “estado da arte”. Mas apenas busca descrever algumas definições presentes na literatura e que consideramos mais significativas sobre esse princípio, reportando sua aplicação para a tomada de decisão em situações que apresentam incertezas científicas, por exemplo, a liberação do cultivo e consumo de organismos geneticamente modificados (OGMs). O destaque é para descrição e análise em situações onde se evocam possibilidades de formação científica em processos de ensino e aprendizagem de ciências.

Posteriormente, ao considerar a análise do levantamento bibliográfico realizado, procuramos evidenciar maneiras da aplicação do PP para a tomada de decisão em situações que apresentam incertezas científicas. Portanto, este trabalho pretende contribuir à área do ensino de ciências ao compilar informações de pesquisas que valorizam a perspectiva não reducionista da ciência (apenas conteudista), possibilitando o desenvolvimento da consciência crítica dos sujeitos para o desvelar da realidade (Freire, 2006). Busca, ainda, reforçar uma alfabetização científica e tecnológica que valorize e contribua com uma formação voltada à análise e atuação nas questões ambientais alicerçadas na precaução e não na remediação.

## DEFINIÇÕES DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

A partir da década de 1980, o PP foi amplamente invocado em diversos instrumentos de políticas ambientais. Sandin (1999) analisou dezenove formulações do PP em fontes primárias (tratados, legislações e documentos oficiais) e secundárias (produções acadêmicas), constatando que todas apresentavam um enunciado básico: “*Se há uma ameaça [ao ambiente ou às formas de vida], na qual há incertezas, então, algum tipo de ação é obrigatória [para evita-la ou reduzi-la]*” (p. 891, tradução nossa). Tal autor identificou, ainda em suas análises, quatro dimensões que, acordo com os graus de precisões e de cautela, tornam a formulação do PP mais próxima às forças econômicas ou às ambientais (Sandin, 1999), bem como mais (ou menos) plausível de ser operacionalizado. As quatro dimensões são expressas por: 1 - ameaça (possíveis ameaças existentes que são oriundas das atividades antrópicas); 2 - incerteza (limites do conhecimento); 3 - ação (resposta a ser dada a uma ameaça); e 4 - decisão (modo na qual a ação está prescrita).

No Quadro 1 apresentamos duas das principais formulações do PP. A que constitui o princípio 15 da *Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento* (Organização das Nações Unidas, 1992), elaborado durante a Eco-92, é vista como *fraca* por trazer definições vagas que não garantem a proteção ao

meio ambiente e se alinham mais às questões econômicas. Já a definição presente na *Declaração de Wingspread* (Science and Environmental Health Network, 1998), considerada *forte* por visar a proteção ambiental, é criticada por alguns pesquisadores, como Morris (2002), por considerá-la paralisante ao avanço científico devido a sua formulação mais rígida. O Quadro realça ainda outras diferenças entre elas.

**Quadro 1** – Comparação entre as definições fraca e forte do PP quanto às dimensões apresentadas (baseado em Sandin, 1999; Morris, 2002).

Dimensões	Definição “fraca” de PP	Definição “forte” de PP
<b>Formulação</b>	Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Organização das Nações Unidas, 1992)	Declaração de Wingspread sobre o Princípio da Precaução (Science and Environmental Health Network, 1998)
<b>Definição</b>	Com o fim de proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deverá ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. (Organização das Nações Unidas, 1992, p. 03).	Quando uma atividade representa ameaças de danos ao meio-ambiente ou à saúde humana, medidas de precaução devem ser tomadas, mesmo se algumas relações de causa e efeito não forem plenamente estabelecidas cientificamente. Neste contexto, cabe ao proponente da atividade, ao invés do público, o ônus da prova (Science and Environmental Health Network, 1998, p. 1, tradução nossa).
<b>Ameaça</b>	Somente considera danos de alto grau de ameaça (graves ou irreversíveis).	Considera graus variados de ameaças (qualquer dano ao ambiente ou saúde humana).
<b>Incerteza</b>	Considera a falta de certeza científica absoluta.	Considera a incerteza em si (não estabelecimento de relações de causa e efeito).
<b>Ação</b>	Busca a execução de medidas rentáveis, ou seja, economicamente viáveis; demonstrando certo grau de alinhamento com as questões econômicas.	Busca medidas de precaução (mesmo que não esclarecidas quais), a inversão do ônus da prova (comprovar que se trata de um processo seguro) e um processo participativo na tomada de decisões.
<b>Decisão</b>	Não esclarece a necessidade ou obrigatoriedade de medidas a serem tomadas.	Garante a obrigatoriedade da adoção de medidas para o controle da situação.

A definição forte do PP, aqui exemplificada pela formulação da *Declaração de Wingspread*, contribui para um olhar cauteloso ao processo de avaliação de risco, uma vez que deixa de observar apenas as evidências de danos – como proposto na *Declaração do Rio-92* – para também valorizar o grau desses mesmos danos e as atividades/processos alternativos para evita-los. Entretanto, a “força” manifestada nesse tipo de definição recebe duras críticas de alguns pesquisadores. Por exemplo, sobre a inversão do ônus da prova, Morris (2000) questiona se a real intenção desta exigência não seria ampliar a supervisão regulatória do Estado, e de expandir os poderes das organizações ambientais e dos consumidores em decidir sobre regulamentos e legislações. Para nós, o posicionamento desse autor apoia a manutenção do modelo tecnocrático de tomada de decisão, isto é, em que a decisão sobre os problemas/impactos da C&T cabe exclusivamente aos *experts* (especialistas e técnicos). Concordamos com Ashley (2000) sobre o fundamental papel da dimensão científica, representada por pesquisadores e comissões científicas, para a resolução de problemas contemporâneos. No entanto, assim como Auler (2011), entendemos que temas de caráter sociocientíficos, a exemplo, os organismos geneticamente modificados, o desenvolvimento de células-tronco e as alterações ambientais provenientes das mudanças climáticas, necessitam ter discussões amplamente divulgadas na sociedade. Pois a tomada de decisão limitada à dimensão técnico-científica pode contribuir à maximização do lucro privado e manutenção de um modelo civilizatório pautado por valores consumistas e de obsolescência programada.

Ainda sobre a adoção de definições “fortes” do PP, seus defensores apontam casos de inovações em que o uso de uma abordagem precaucionária poderia ter evitado problemas ao ambiente e à saúde humana. Kaiser (2004) relembra que a publicação de *Silent Spring*, de Rachel Carson, na década de 1960,

trazia resultados negativos de avaliação de riscos quanto ao uso do diclorodifeniltricloroetano (DDT), que à época foram desconsideradas e, posteriormente, revelou-se como problemas ambientais reais. Assim, observa-se que, por vezes, os benefícios resultantes das atividades científicas e tecnológicas podem produzir novos problemas, como, por exemplo, os efeitos colaterais não intencionais ou não observados preliminarmente.

Outros exemplos de inovações que evidenciaram problemas ambientais posteriormente são o uso do amianto no fim do século XIX (utilizado pelas indústrias de construção civil devido suas propriedades de isolamento térmico e baixo custo produtivo, posteriormente demonstrou elevado potencial cancerígeno) e do clorofluorcarbono (CFC) no século XX (utilizado em aparelhos de refrigeração e aerossóis, mostrou-se, desde 1970, prejudicial à camada do gás ozônio). “Os primeiros avisos poderiam ter levado a ações anteriores para reduzir os riscos, a um custo total menor para a sociedade” (Harremoës et al., 2001, p. 3, tradução nossa). Contemporaneamente, a abordagem precaucionária pode ser considerada para análise das influências das atividades antrópicas no quadro global de mudanças climáticas. O Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) parece representar uma tentativa para isso.

Discussões sobre a função do PP nas legislações e políticas ambientais estão longe de alcançar um consenso e uma resposta convergente, visto que há pensamentos diversos sobre sua precisão e operacionalização. Mas, como Ewald (2002), acreditamos que

*“O princípio da precaução pressupõe uma nova relação com a ciência e com o conhecimento. Sabemos que o conhecimento científico é relativo a um certo estado de conhecimento, que a sua validade é limitada, que cabe à ciência progredir continuamente e, portanto, reformar-se sem cessar. [...] Dentro do seu domínio de validade, a ciência produz, se não certezas definitivas, pelo menos uma compreensão de referências, reconhecida pela comunidade científica. O princípio da precaução nos convida a antecipar o que ainda não se sabe, levando em conta as hipóteses que contém dúvidas e suspeitas. Ele convida a levar as previsões mais improváveis a sério, as previsões de profetas, sejam verdadeiras ou falsas.”* (Ewald, 2002, p. 288, tradução e grifo nossos)

Sendo assim, o PP apresenta “duas propostas inter-relacionadas, uma que recomenda cautela face à aplicação tecnológica de resultados científicos bem confirmados, [e] a outra que enfatiza a importância de empreender investigação em áreas comumente pouco pesquisadas” (Lacey, 2006, p. 375). A tomada de consciência para as incertezas científicas que certos temas possuem - a exemplo, do consumo de alimentos transgênicos e impactos ambientais provenientes de sua produção ou as consequências à saúde e ao ambiente quanto ao uso do glifosato nas lavouras, pode emergir de discussões públicas sobre o PP. Brunet, Delvenne e Joris (2011) acreditam que este princípio funciona como uma ferramenta estratégica para gerir a incerteza científica, pois dá a oportunidade a outros setores, além do Governo, de manifestar seus anseios e opiniões sobre o futuro que querem e qual ambiente desejam para viver.

Desse modo, observa-se a relevância epistemológica do PP ao se discutir e reconhecer as incertezas científicas oriundas de situações que envolvem riscos (Cezar & Abrantes, 2003), estimulando-se a participação da sociedade nos processos de tomada de decisão (Fernandes, 2009; Brunet, Delvenne & Joris, 2011) – o que contraria os modelos tecnocráticos.

Acreditamos que para a inserção do PP em discussões sociocientíficas no ensino de ciências é preciso considerar formulações de definição “forte”, uma vez que elas manifestam maior capacidade de questionar a realidade e de posicionamento crítico, em vez das formulações de definição “fraca”, as quais trazem definições vagas e se alinham mais às questões econômicas. Outro exemplo de definição forte é aquela definida pela Comissão Mundial sobre a Ética do Conhecimento Científico e Tecnológico (COMEST):

*“Quando atividades podem conduzir a dano moralmente inaceitável, que seja cientificamente plausível, ainda que incerto, devem ser empreendidas ações para evitar ou diminuir aquele dano. “Dano moralmente inaceitável” refere-se a dano para os seres humanos ou para o ambiente, que seja uma ameaça à vida ou à saúde humanas, ou que seja sério e efetivamente irreversível, ou injusto com as gerações presentes e futuras, ou imposto sem a adequada consideração dos direitos humanos daqueles afetados. O juízo de plausibilidade deve estar fundado em análise científica. As análises devem ser contínuas, de modo que as ações escolhidas sejam submetidas a revisão. “Incerteza” pode aplicar-se, mas não necessita limitar-se, à causalidade ou aos limites do dano possível. “Ações” são*

*intervenções empreendidas antes que o dano ocorra que buscam evitar ou diminuir esse dano. Deve-se escolher ações que sejam proporcionais à seriedade do dano potencial, com consideração de suas conseqüências positivas e negativas, e com uma avaliação tanto da ação como da inação. A escolha da ação deve ser o resultado de um processo participativo” (World Commission on the Ethics of Science and Technology, 2005, p. 14).*

Tal formulação é defendida por Lacey (2006), apresentando um texto mais específico e preciso que o da *Declaração de Wingspread* (analisada anteriormente). O enunciado do PP elaborado pela COMEST define os danos a serem considerados, traz a obrigatoriedade da adoção de medidas cautelares e indica a função e importância das atividades científicas para a avaliação de riscos. Essas características podem representar facilidades para o desenvolvimento de uma prática pedagógica na educação científica visto que apresenta definições claras e objetivas que permite o diálogo com diversos públicos – da educação básica ao ensino superior.

A seguir, apresentamos informações sobre o modo que o PP vem sendo considerado na educação científica, algo visto por meio de produções acadêmicas nacionais e internacionais ligadas ao ensino de ciências.

### **O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS: LEVANTAMENTO EM PERIÓDICOS**

Para identificar a relação entre o ensino de ciências e o PP nas produções acadêmicas dessa área, realizou-se, em dezembro de 2014, uma busca pelos termos: “princípio da precaução”, “principio de precaución” e “precautionary principle” em periódicos brasileiros e internacionais, que julgamos serem representativos da área de Ensino de Ciências. A produção acadêmica contemplada refere-se ao período compreendido entre 2014 a um período anterior aberto, isto é, atemporal, a fim de identificar as primeiras discussões sobre o PP na área de ensino. Portanto, a data inicial de nossa busca variou de acordo com os registros históricos dos periódicos. As revistas brasileiras, por exemplo, têm, em sua maioria, as primeiras publicações datadas dos anos 1990. Outros periódicos internacionais, como o *Journal of Chemical Education* e o *Science Education*, apresentam números publicados desde 1920.

Os periódicos nacionais considerados foram dez: *Alexandria*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ciência e Educação*, *Ciência e Ensino*, *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, *Experiências em Ensino de Ciências*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *Química Nova na Escola*, *Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia* e *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Em relação aos periódicos internacionais, foram consultados treze: *Cultural Studies of Science Education*, *Góndola - Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, *International Journal of Science and Mathematics Education*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Chemical Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Journal of Science Education and Technology*, *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Eletrônica de Investigación en Educación en Ciencias*, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *Science & Education*, *Science Education* e *Tecné, Episteme y Didaxis*. Também a base de dados de pesquisas em educação ERIC (Educational Resources Information Center) foi consultada, pois foca em revistas da área de ensino de ciências. As buscas foram efetuadas nas páginas da internet de cada periódico (sites), a partir de suas ferramentas de busca por palavras-chave, utilizando os três termos citados anteriormente.

Nos periódicos brasileiros somente foi encontrado 01 (um) artigo (Jesus, Böck & Crhisipino, 2014) que aprofunda a discussão do PP a partir da reflexão sobre a necessidade de uma ciência reguladora e precaucionária para a análise de riscos tecnológicos. A ênfase maior do trabalho não foi a educação científica; no entanto os autores apontaram a inserção do PP no currículo de ciências em seus diversos níveis (educação básica e ensino superior) e salientaram o grande desafio envolvido nesse processo.

Já em periódicos internacionais foi possível localizar 21 artigos, publicados em 10 revistas: *International Journal of Science Education* (6), *Cultural Studies of Science Education* (3), *Science Education* (3), *Journal of Chemical Education* (2), *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias* (2), *Environmental Education Research* (1), *Góndola - Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias* (1), *Journal of College Science Teaching* (1), *Journal of Research in Science Teaching* (1) e *Science & Education* (1).

A leitura dos artigos mostrou como o tema em questão se encontra inserido nas produções científicas, as quais são resumidamente descritas no Quadro 2.

**Quadro 2** – Produções em periódicos internacionais de ensino de ciências sobre o Princípio da Precaução.

Referência	Como o artigo discute o Princípio da Precaução
Ashley, M. (2000). Science: an unreliable friend to environmental education?. <i>Environmental Education Research.</i> , 6(3), 269-280.	Discute sobre como o PP é visto pelo ambientalismo e pela ciência em geral e defende a sua inserção no currículo de ciências, visto que contribui na tomada de decisão dos cidadãos.
Dinan, F., & Bieron, J. F. (2001). To spray or not to spray? A debate over DDT. <i>Journal College Science Teach.</i> , 31(1), 32-36.	Apresenta um material didático para o ensino da natureza e do impacto da ciência e da tecnologia na sociedade, tendo o PP como um dos fundamentos.
Simonneau, L. (2001). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. <i>International Journal Science Education</i> , 23(9), 903-927.	Compara o impacto de um <i>role-play</i> e de uma discussão convencional na argumentação dos alunos sobre um problema envolvendo transgenia animal. Alguns alunos citaram o PP para ser aplicado quando em situações de incertezas científicas.
Duggan, S., & Gott, R. (2002). What sort of science education do we really need?. <i>International Journal Science Education.</i> , 24(7), 661-679.	Numa investigação do papel da ciência na percepção de empregados em indústrias e do público em geral, o PP foi contemplado nas discussões públicas para a tomada de decisão. É destacado que as indústrias o utilizam de modo inverso (a não evidência de riscos é entendida como indícios de um processo seguro).
Gough, N. (2002). Thinking/acting locally/globally: Western science and environmental education in a global knowledge economy. <i>International Journal Science Education</i> , 24(11), 1217-1237.	Avalia uma série de abordagens para "pensar globalmente" na educação ambiental. Cita o PP como aspecto constituinte da educação ambiental e que deve ser desenvolvido de forma cooperativa pelos cientistas, pensadores ambientais e comunidades locais.
Glaser, R. E., & Carson, K. M. (2005). Chemistry ts in the news: taxonomy of authentic news media-based learning activities. <i>International Journal Science Education</i> , 27(9), 1083-1098.	Apresenta proposta de atividade para um curso de Química Orgânica de maneira a relacioná-la com fatos do mundo real, por meio de uma taxonomia de seis níveis de atividades de aprendizagem baseadas em meios de comunicação. Em uma das etapas explica que os alunos poderão diferenciar as bases constituintes do Princípio da Equivalência Substancial e o PP.
Vásques-Alonso, A., Acevedo-Díaz, J. A., & Mas, M. A. M. (2005). Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i> , 4(2).	Ao analisar o ensino de ciências na educação propedêutica, no início dos anos 2000, e visando a alfabetização científica em uma perspectiva humanística, os autores apontam que tal modelo educacional deveria ao mínimo submeter-se ao PP. Não é dado explicações para tal afirmação.
Colluci-Gray, L., Elena Camino, G.B., & Gray, D. (2006). From scientific literacy to sustainability literacy: an ecological framework for education. <i>Science Education</i> , 90(2), 227-252.	A partir de uma reflexão sobre ciência e educação em relação ao ensino e pesquisa das questões socioambientais controversas e complexas, cita o PP como elemento importante a ser discutido em sala de aula a fim de alterar as percepções sobre gestão de risco (menos probabilística e mais voltada à precaução).
Kolstø, S. D. et al. (2006). Science students' critical examination of scientific information related to socioscientific issues. <i>Science Education</i> , 90(4), p. 632-655.	Avalia os critérios que estudantes (graduandos de licenciaturas de duas universidades norueguesas) utilizam para analisar a confiabilidade de informações científicas. Cita o PP a partir de um trabalho anterior do autor, afirmando que os estudantes tendem a confiar mais em especialistas que manifestam uma atitude precaucionária e que demonstram pensamento crítico ao analisar uma situação científica controversa.
Kolstø, S. D. (2006). Patterns in students' argumentation	Relata um estudo qualitativo sobre os argumentos de alunos da educação básica para a tomada de decisão de uma questão

Referência	Como o artigo discute o Princípio da Precaução
confronted with a risk-focused socio-scientific issue. <i>International Journal Science Education</i> , 28(14), 1689-1716.	sociocientífica (local de construção de novas linhas de energia e o possível aumento do risco de leucemia infantil). Aponta o PP como um dos modelos argumentativos utilizados pelos alunos.
Lacey, H. (2009). The interplay of scientific activity, worldviews and value outlooks. <i>Science &amp; Education</i> , 18(6), 839-860.	Aborda valores e visões de mundo das atividades científicas. Trata da abordagem descontextualizada de ciência, estratégias materialistas e, em contrapartida, argumenta favoravelmente às estratégias agroecológicas e ao PP.
Simonneaux, I., & Simonneaux, J. (2009) Socio-scientific reasoning influenced by identities. <i>Cultural Studies of Science Education</i> , 4(3), 705-711.	Discute sobre a influência das identidades culturais na formação do raciocínio sociocientífico de estudantes. Trata do PP ao afirmar que quanto menor a evidência estabelecida, mais frágil torna-se o raciocínio construído.
Pence, L.E., Greene, E., & Pence, H.E. (2010). Using a google jockey to enhance classroom discussion. <i>Journal of Chemistry Education</i> , 87(3), 254-255.	É um relato de experiência sobre o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação em um curso sobre sustentabilidade. O PP foi um dos temas abordados no curso, mas não são explicados detalhes de sua utilização.
Fensham, P. J. (2011). Globalization of Science Education: comment and a commentary. <i>Journal Research Science Teaching</i> , 48(6), 698-709.	Ao comentar os artigos apresentados em uma edição especial da revista sobre Globalização da Educação Científica, aponta fragilidades em um deles, devido a desconexão entre aspectos de valores morais e a dimensão do conhecimento de conteúdo no quadro elaborado pelos pesquisadores. Não vislumbra o PP na perspectiva proposta naquele trabalho.
Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2011). El Antropoceno como oportunidad para reorientar el comportamiento humano y construir un futuro sostenible. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i> , 10(3), 394-419.	Ao discutir sobre o Antropoceno como um novo período geológico que trouxe grandes impactos ao planeta, mas que oportuniza a mudança de comportamentos humanos em busca de um futuro sustentável, os autores destacam a necessidade de cada indivíduo aplicar o PP ao avaliar as tecnologias ambientais e de exigir a aplicação desse princípio nas ações sociopolíticas para a sustentabilidade.
Levinson, R. et al. (2012). Risk-based decision making in a scientific issue: a study of teachers discussing a dilemma through a microworld. <i>Science Education</i> , 96(2), 212-233.	Trata sobre a temática da tomada de decisão em situações de risco presentes no currículo de ciências. Foi analisado os elementos que professores utilizaram para a tomada de decisão de uma situação fictícia sobre possibilidades de cura e riscos da realização de uma cirurgia – o dilema de Deborah. Os autores citam o PP pelas pesquisas desenvolvidas por Kolstø (2006) – supracitado.
Simonneaux, I., Panissal, N., & Brossais, E. (2013). Students' perception of risk about nanotechnology after an SAQ teaching strategy, <i>International Journal Science Education</i> , 35(14), 2376-2406.	Relata uma experiência de ensino sobre nanotecnologia na escola pelo uso de uma Questão Socialmente Aguda – perspectiva francesa. O PP esteve presente no debate quando houve uma discussão entre grupos sobre parar com as pesquisas relacionadas à nanotecnologia (moratória).
Vallée, A., Train, C., & Roux, C. (2013). Synthesis and properties of a thermochromic spin crossover Fe II complex: an undergraduate coordination chemistry laboratory experiment. <i>Journal of Chemistry Education</i> , 90(8), 1071-1076.	Descreve uma prática laboratorial. Cita o PP como elemento a ser considerado devido a manipulação de compostos com potenciais riscos na prática laboratorial descrita.
Fensham, P. J. (2014). Scepticism and trust: two counterpoint essentials in science education for complex socio-	Em resposta ao artigo de Bryce & Day (2013), trata do interesse comum de ambos os trabalhos no ensino do tema “mudanças climáticas nas escolas”. No entanto, diferente de Bryce e Day, que somente trata de aspectos científicos, Fensham busca ampliar o

Referência	Como o artigo discute o Princípio da Precaução
scientific issues. <i>Cultural Studies of Science Education</i> , 9(3), 649-661.	debate para a dimensão sociocientífica. Com isso, aponta a necessidade de observar as incertezas científicas existentes em tal tema, mencionando a formulação do PP definida pela UNESCO, (World Commission on the Ethics of Science and Technology, 2005).
Bryce, T. G. K., & Day, S. P. (2014). Scepticism and the science of global warming: a rejoinder. <i>Cultural Studies of Science Education</i> , 9(4), 1025-1037.	Em réplica a artigos que discutiram seu trabalho anterior (2013), dentre esses o de Fensham (2014), os autores se posicionam sobre a inserção do PP no ensino de ciências indicando as controvérsias existentes nas formulações de tal princípio. Assim, questionam a capacidade do PP em promover a discussão de incertezas científicas pois consideram-no tendencioso à paralisação dos avanços científicos.
Parga, D., Mora, W., & Cárdenas, Y. (2014). Dimensión ambiental: una inclusión necesaria para la formación de profesores de química. <i>Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias.</i> , 9(1), 38-46	Ao descrever a primeira etapa metodológica (diagnóstico) de um estudo de caso sobre a inserção da dimensão ambiental no programa de Licenciatura em Química da Universidad Pedagógica Nacional (Colômbia), os autores utilizam o PP como um dos elementos da categoria de análise “dimensão ética”.

A discussão sobre o PP no ensino de ciências nas produções científicas internacionais parece ter se iniciado a partir dos anos 2000 e teve maior volume de publicações em 2006 e 2014 (três publicações em cada ano). Entretanto, enquanto em 2006 as publicações convergiram em apontar a importância da inserção do PP em discussões sociocientíficas em sala de aula (Colluci-Gray, Elena Camino, & Gray, 2006; Kolstø et al, 2006, & Kolstø, 2006), um dos artigos do ano de 2014 apresenta críticas à ele (Bryce & Day, 2014).

Nota-se que em 2009 a temática se tornou frequente, porém a maior parte das publicações somente cita o PP, sem discuti-lo. Primariamente, conclui-se que, para os autores dos artigos citados no Quadro 2, o PP parece ser algo já estabelecido na educação científica e no currículo de ciências como um elemento a ser considerado para a promoção de uma educação cidadã. Exemplo disto são os trabalhos de Kolstø (2006) e Parga, Mora e Cárdenas (2014) que consideraram o PP como elemento de uma das categorias de análise de suas investigações.

Dois artigos nos chamaram a atenção por discutirem de modo mais amplo sobre o PP. O artigo de Ashley (2000), ao tratar sobre a relação entre ciência e educação ambiental, apresenta os diferentes valores considerados pela ciência (quando positivista) e pelo ambientalismo (centrado nas precauções quando em situações de incertezas científicas). “Esta relação difícil que tem se desenvolvido entre ciência e ambientalismo cristaliza-se em torno do princípio da precaução, sempre que a agenda de certos cientistas e alguns ambientalistas torna-se diferentes” (Ashley, 2000, p. 270, tradução nossa). Tais diferenças acabam por distanciá-los e originam interpretações distintas do PP: enquanto os cientistas positivistas o vislumbram como um entrave ao progresso científico e tecnológico, os ambientalistas compreendem o PP como um elemento a ser utilizado para as tomadas de decisões e promotor da participação coletiva da sociedade nestas decisões. Já o trabalho de Kolstø (2006) caracteriza um modelo de tomada de decisão pautado no PP ao discutir sobre diversos argumentos utilizados por estudantes para decidir sobre uma questão sociocientífica controversa (a implantação de linhas de energia aéreas ou subterrâneas e o risco de leucemia infantil). Utilizando desse padrão, os estudantes decidiram pela implantação de linhas de energia subterrâneas uma vez que as linhas aéreas remetiam a riscos maiores à saúde infantil. Outras características adotadas nesse modelo são: a observação de todas as pesquisas científicas realizadas (mesmo apresentando resultados antagônicos), consideração de variáveis além do custo-benefício e incentivo à participação da comunidade para a tomada de decisão.

Dos 21 artigos analisados, somente o de Dinan e Bieron (2001) descrevem uma metodologia de aplicação do PP no ensino de ciências. Ao elaborarem um texto sobre os riscos do uso do DDT para o combate à malária, os autores apresentam argumentos pautados no PP para a tomada de decisão. Trata-se de um texto-base que poderia auxiliar estudantes a decidirem seu posicionamento sobre tal tema, além de estimular professores ou formadores que pretendem discutir sobre o PP a elaborarem seus próprios materiais didáticos.

Em sentido inverso, Bryce e Day (2014), utilizando de referenciais que criticam o PP por o considerarem mal definido conceitualmente e com potencial de marginalizar a ciência, apontam o caráter

problemático nas formulações de tal princípio. Os pesquisadores parecem não ser contrários à sua utilização em salas de aula – exemplificando com a discussão das mudanças climáticas. Mas sugerem que, caso seja discutido de modo acrítico, o PP tende a encerrar as discussões sociocientíficas sempre paralisando as atividades científicas. Para eles:

*“[...] os aderentes ao princípio da precaução tendem a subscrever a opinião de que os governos de todo o mundo devem tomar precauções para proteger a saúde pública e o ambiente, mesmo na ausência de evidências claras de danos, como consequência, e não obstante os custos de tal ação. No caso das mudanças climáticas pode-se argumentar que os custos anuais envolvidos com a aplicação de um princípio tão “político” poderia infligir danos significativos para as economias dos governos desenvolvidos e as nações em desenvolvimento já que a solução prevista implicaria gastar enormes somas de dinheiro público para mitigar os efeitos das alterações climáticas (no caso dos países desenvolvidos) e poderia privar os países em desenvolvimento dos meios pelos quais eles poderiam aumentar a taxa de seu desenvolvimento econômico” (Bryce & Day, p. 1028, tradução nossa).*

Para nós, as críticas desses autores ao PP retomam ao que Auler (2011) alerta sobre a não neutralidade da ciência, que pode privilegiar aspectos de determinados sistema econômico e modelo civilizatório. Tais apontamentos também demonstram certo grau de alinhamento à racionalidade econômica (Layrargues, 1998), pois suas justificativas para o não uso do princípio centram-se em questões financeiras. Sobre o caso das mudanças climáticas, é preciso ressaltar, ainda, a existência de pesquisas que demonstram que as barreiras para adoção do uso de energias renováveis limpas, como a eólica, são, principalmente, política e social, e não tecnológica ou econômica (Jacobson & Delucchi 2011).

Como ocorre em muitos artigos internacionais, também em artigos publicados em periódicos brasileiros, como os trabalhos de Gil Pérez e Vilches (2004) e Firme e Amaral (2008), observa-se que o PP é apenas citado como elemento importante para uma educação científica voltada à tomada de decisão. Assim, parece que tal princípio necessita ser problematizado na formação inicial e continuada de professores de ciências para que o mesmo possa ser inserido no ensino em uma perspectiva que auxilie na análise de temas sociocientíficos<sup>1</sup> e na tomada de decisão sobre eles. Essa é uma discussão e proposição por nós já iniciada (Barbosa & Marques, 2013; Marcelino & Marques, 2013; Marcelino & Marques, 2014). E considerando a lacuna acima apontada, busca-se agora discutir a respeito de um modo de aplicação do PP para a tomada de decisão, a fim de que o mesmo possa ser problematizado em situações de ensino cujas temáticas envolvam situações de incertezas científicas.

## **A APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO EM SITUAÇÕES DE INCERTEZAS CIENTÍFICAS: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

A condição básica para a aplicação do PP (tomada de medidas *precaucionárias*) é a existência de incerteza científica, isto é, o risco desconhecido em uma situação (Sandin, 1999). Por sua vez, situações cujos riscos são conhecidos e quantificados, são manejáveis por medidas preventivas (Harremoës et al., 2001).

Muitas situações de risco que apresentam elevada incerteza científica podem ser exploradas no ensino de ciências a fim de contribuir, por exemplo, na formação de cidadãos conscientes de seu papel na tomada de decisão participativa. O levantamento bibliográfico realizado, cujos trabalhos são caracterizados no Quadro 2, indica alguns dos temas já considerados para discussão no ensino de ciências: mudanças climáticas (Ashley, 2000; Fensham, 2014), uso do DDT para combate à malária (Dinan & Bieron, 2001), transgenia animal (Simonneaux, 2001), riscos à saúde pela localização de linhas de alta tensão (Kolstø, 2006), sustentabilidade ambiental (Pence, Greene & Pence, 2010; Vilches & Gil Pérez, 2011) e nanotecnologia (Simonneaux, Panissal & Brossais, 2013). E como citado pelos autores desses estudos, o PP demonstra potencial para auxiliar os estudantes a posicionarem-se sobre tais questões cientificamente

<sup>1</sup> Denominadas internacionalmente como *socioscientific issues* e, nacionalmente, como *questões sociocientíficas*, tratam-se de temas que: apresentam base nas ciências e, frequentemente, na fronteira do conhecimento científico; envolvem a formação de opinião e escolhas; são frequentemente noticiados pela mídia; apresentam incertezas científicas; possuem dimensões locais ou globais ligadas a estruturas políticas e sociais; e envolvem análises de risco, de valores e, frequentemente, considerações sobre o desenvolvimento sustentável (Ratcliffe & Grace, 2003).

controversas<sup>2</sup> e refletirem sobre o papel da ciência e de sua não neutralidade no atual desenvolvimento científico e tecnológico.

Em busca de modelos norteadores da aplicação do PP, encontramos o proposto por Goklany (2001). Esse analista americano de políticas científicas e tecnológicas ressalta a necessidade da identificação dos possíveis benefícios e prejuízos provenientes da questão controversa analisada. Para tanto, ele formulou seis critérios hierárquicos (Quadro 3) a fim de classificar as ameaças com base em suas características e grau de certeza a elas associado.

**Quadro 3** – Critérios para classificação das ameaças em situações de incertezas científicas (baseado em Goklany, 2001)

<b>Critério</b>	<b>Definição</b>
<b>1. Saúde pública</b>	Ameaças à saúde humana prevalecem sobre quaisquer outras, superando desse modo às ameaças ao meio ambiente;
<b>2. Imediatismo</b>	Ameaças imediatas são consideradas primeiramente e, por isso, tem avaliação mais destacada que as ameaças em longo prazo;
<b>3. Incerteza</b>	Danos com maior probabilidade de ocorrer devem ter precedência sobre outros;
<b>4. Valor de expectativa</b>	Análise das ações a serem adotadas de acordo com seus resultados previstos. Isto é, se uma ação representa risco maior para a biodiversidade do que a inação, esta última deve ser favorecida;
<b>5. Adaptação</b>	Os impactos podem ser revistos conforme as ameaças sejam anuladas devido o desenvolvimento de tecnologias que se adaptem a resolver os problemas da incerteza;
<b>6. Irreversibilidade</b>	É dado maior prioridade a danos que gerem resultados irreversíveis ou que tendem a ser mais persistentes.

Para exemplificar a utilização de sua metodologia, Goklany (2001) aplicou-a na análise de três temas cientificamente controversos e que apresentam algum grau de incerteza científica quanto aos impactos ocasionados: 1) o possível banimento do DDT para o controle do mosquito transmissor da malária; 2) o cultivo de plantações de OGMs e 3) o possível aquecimento global da Terra. A análise levou o analista a diferentes posicionamentos quanto ao uso do PP em cada um dos casos: favorável ao banimento do DDT em países que já erradicaram a malária, porém mantendo sua utilização nos países em que a doença ainda é frequente; contrário às ações de precaução para controlar as lavouras transgênicas; e contrário à adoção de medidas precaucionárias para as emissões de gases provocadores do efeito estufa. Nas duas últimas situações, Goklany (2001) concluiu que há mais benefícios do que prejuízos para a humanidade e para o ambiente quanto ao desenvolvimento da biotecnologia agrícola e à emissão de gases estufa pela industrialização.

Em uma análise primária dessas duas últimas questões expostas, e baseando-se em definições “fortes” do PP (Science and Environmental Health Network, 1998; World Commission on the Ethics of Science and Technology, 2005), posicionamo-nos pela adoção de medidas precaucionárias que podem melhor controlar o desenvolvimento desenfreado tanto das lavouras transgênicas quanto da emissão de gases do efeito estufa. Pois, entendemos que há pesquisas científicas que evidenciam impactos prejudiciais sobre o ambiente referente a essas atividades, a exemplo, os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014) e estudos sobre danos à saúde humana pelo consumo de alimentos transgênicos (Séralini et al., 2011).

Na discussão que fazemos, não pretendemos julgar os posicionamentos de Goklany (2001), porém discutimos sobre os critérios, por ele proposto (reportados no Quadro 3), para decidir sobre a necessidade de aplicação do PP em situações que envolvam incertezas científicas (entendidas pedagogicamente como temas sociocientíficos).

Whiteside (2006) faz críticas aos dois primeiros critérios. Para ele, o PP não faz distinções entre ameaças ao ser humano e ao meio ambiente (critério 1 – Saúde pública). No entanto, o autor proponente da metodologia tem consciência de que esse critério é assumidamente antropocêntrico (Goklany, 2001). Ainda

<sup>2</sup> Entendemos que temas de natureza controversa são aqueles que consideram questões de ética e moralidade em sua solução; de maneira que não exista apenas um posicionamento único. Tais temas são compreendidos como questões sociocientíficas e exigem a realização de discussões em que são considerados elementos de múltiplas dimensões, a exemplo, social, cultural, econômico e ambiental.

sobre tal aspecto, alerta-se que, por vezes, ameaças ao ambiente podem em longo prazo trazer prejuízos à saúde humana e, dessa forma, não deveriam ser desconsideradas (Whiteside, 2006). Mesmo com esse posicionamento contrário à posição de Goklany (2001), nota-se, entre os estudiosos do PP, a prevalência de uma visão antropocêntrica, talvez natural ao instinto de autoproteção (espécie humana), para depois se pensar nas demais vidas (tendência ao antropocentrismo, ao invés do biocentrismo).

Já em relação ao critério 2 (Imediatismo), Whiteside (2006) esclarece que situações de danos não imediatos não podem ser considerados insignificantes, uma vez que o PP se compromete com a geração presente e as futuras. Além disso, o que se coloca em cheque neste segundo critério é que as previsões são menos incertas em curto prazo do que em longo prazo, mesmo que Goklany (2001) possa ter se respaldado no critério 5 – sobre a revisão constante do conhecimento já estabelecido – para pensar sobre as ameaças mais imediatas de uma situação de risco. Sendo assim, consideramos que esse critério não se adequa à abordagem precaucionária de ciência, uma vez que é necessário vislumbrar possibilidades de ameaças em longo prazo.

Para os critérios 3 (Incerteza) e 4 (Valor de expectativa), nota-se a existência da subjetividade da análise de risco, pois como se trata do julgamento de temas cientificamente sem resultados unânimes, estes podem gerar entendimentos distintos. Por exemplo, alguns estudos demonstram o potencial carcinogênico dos transgênicos para a saúde; já outros atestam o resultado contrário. Por isso, os resultados da avaliação desses dois critérios são influenciados pela visão de natureza da ciência de quem a faz. Aqueles que acreditam na neutralidade da ciência, observando-a exclusivamente na dimensão técnico-científica, tendem a considerar os resultados de pesquisas científicas como fatos absolutos e/ou infalíveis (Ashley, 2000). O PP busca justamente o oposto: procura questionar os limites legítimos dessa dimensão e a possibilidade de outros padrões válidos de racionalidade (para além da científica).

Por sua vez, o critério 5 (Adaptação), atento aos avanços científicos e tecnológicos, indica que o posicionamento sobre a tomada de decisão é um processo dinâmico que deve ser revisto sempre que houver alterações nas incertezas científicas. Corrobora ideias de definições “fortes” do PP, como a formulação da World Commission on the Ethics of Science and Technology (2005). E o critério 6 (Irreversibilidade) considera que danos irreversíveis ou persistentes devem ser enfatizados para a tomada de decisão; porém destacamos que não pode ser dado menor significância aos danos reversíveis. Esse critério deve tratar-se apenas de uma classificação hierárquica.

Assim, os critérios propostos por Goklany (2001), apesar de algumas fragilidades, apresentam potencial para nortear discussões sociocientíficas em sala de aula, por mostrar possíveis elementos (mas não os únicos) a serem considerados na análise de atividades e produtos que representem ameaças ao ambiente e saúde. Com exceção do segundo critério (Imediatismo), consideramos que os demais são pertinentes à abordagem do PP no ensino de ciências. Entretanto, convém ressaltar que precisam estar articulados a aspectos da alfabetização científica de perspectiva crítica (Auler & Delizoicov, 2001; Santos, 2008), uma vez que o objetivo é incentivar os estudantes a questionar a neutralidade da ciência e a compreender as influências da C&T na sociedade e mundo contemporâneo. E, para tal, destacamos o fundamental papel da educação problematizadora (Freire, 1983, 2005), que, em um processo dialógico, visa a conscientização (desenvolvimento crítico da tomada de consciência) dos sujeitos (Freire, 1979).

Pedagogicamente, a metodologia dos três momentos pedagógicos (Delizoicov, Angotti & Pernambuco, 2002) – problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento – pode auxiliar professores a estruturarem sequências didáticas sobre temas sociocientíficos com abordagem do PP. Em tese de doutorado, Souza (2016) utilizou dessa metodologia para desenvolver uma atividade formativa com professores formadores de técnicos agrícolas sobre o tema “uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas” e tendo o PP como eixo estruturante. No trabalho em questão, a partir das definições de risco e incertezas científicas, de dados quantitativos sobre a comercialização de agrotóxicos no Brasil e informações toxicológicas e de periculosidade ambiental de alguns ingredientes ativos, discutiu-se sobre a necessidade de maior cautela para a liberação de registros e uso de agrotóxicos no país.

Também Martínez Pérez e Fúquene (2014) compilam, em sua obra, quatro unidades didáticas sobre questões sociocientíficas que permite incentivar professores a produzirem seu próprio material didático. Alguns temas são contextualizados à realidade colombiana, enquanto outros são de alcance global, sendo eles: o uso de águas residuais de indústrias para a irrigação de hortaliças; a produção e manejo de carnes para o consumo de hambúrgueres; alimentos transgênicos; e a experimentação com animais. Apesar de não abordarem explicitamente sobre o PP nessas unidades didáticas, observa-se que o mesmo está presente no desenvolvimento delas; pois o resultado final de todas visa a formação do

pensamento crítico dos estudantes. Outras publicações dos autores esclarecem que o PP é considerado para a promoção da educação científica para tomada de decisão (Martínez Pérez & Lozano, 2013a, 2013b).

Retomando as definições do PP já discutidas, vale lembrar que ele engloba quatro dimensões: ameaça, incerteza, ação e decisão. Tais dimensões também se tornam elementos norteadores da condução de discussões sociocientíficas em sala de aula, principalmente as duas primeiras. Compreender os conceitos de danos, incertezas científicas e pensar em um modo de análise de risco para dada situação científica controversa são etapas necessárias à abordagem precaucionária de ciência. No entanto, a introdução do debate sobre incertezas científicas – tanto do aspecto técnico-científico, bem como das considerações sociais e culturais – apresenta demandas pedagógicas fora da zona de conforto dos professores de ciências (Bryce & Gray, 2004; Levinson et al., 2012). Por isso, evidencia-se a necessidade da inserção dessas discussões na formação inicial e continuada de professores dessa área para que, posteriormente, elas ocorram em sala de aula.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Assim como indicado pelos trabalhos de Martínez Pérez e Lozano (2013a, 2013b), acreditamos que a inserção do PP no ensino de ciências pode contribuir na discussão de temas sociocientíficos. Questões desse tipo se caracterizam pela controvérsia científica de origem conceitual e/ou procedimental, tratando-se de problemas sem resolução definida e de possíveis soluções múltiplas que consideram outras dimensões, além da científica (Sadler, 2011). Tais características se assemelham às das situações analisadas pelo PP e possibilitam a discussão de aspectos sobre CTS em uma perspectiva não reducionista, que vise à compreensão de temas socialmente relevantes e não somente pela compreensão de conceitos técnicos.

É possível observar que pesquisadores da área educacional têm associado o PP à alfabetização científica e a formação de consciência crítica das pessoas, de modo a extrapolar a discussão desse princípio das áreas do direito e saúde coletiva para leva-lo a espaços formais e não formais de ensino, incentivando a sociedade a participar das tomadas de decisão que lhes dizem respeito. Entretanto, são poucas as produções acadêmicas da área de ensino de ciências que discutem, problematizam e descrevem sobre tal princípio, principalmente no Brasil.

Nesse trabalho discutimos brevemente sobre o PP e alguns elementos que podem ser considerados ao tratar de temas, em sala de aula, que apresentem incertezas e controvérsias científicas e que possam contribuir para a tomada de decisão, especialmente em situações que envolvam problemas com o meio ambiente.

Compreendemos a importância dos argumentos de pesquisadores da área das ciências sociais sobre o PP – como Whiteside (2006), pois, em geral tais discussões estimulam reflexões sobre a relação entre C&T e sociedade. Vislumbramos, ainda, a necessidade da busca por modos de aplicação desse princípio, como o proposto por Goklany (2001), para que sua inserção extrapole o campo teórico e se concretize no ensino de ciências. Porém, não acreditamos em metodologias pedagógicas prescritivas. E, por isso, ao analisar os critérios do modelo proposto por Goklany (2001), encontramos fragilidades, mas também potencialidades, caso tais critérios sejam vislumbrados pela compreensão de ciência não neutra e relacionada à dimensão sócio-histórica de um determinado espaço-tempo (Delizoicov & Auler, 2011).

Desse modo, a abordagem precaucionária de C&T no ensino de ciências trata-se de uma linha investigativa que carece de maior aprofundamento, por meio de estudos teóricos e aplicados no ambiente educacional. Pretendemos dar continuidade a esses estudos que tem por temas de tal abordagem: o PP e metodologias para discutir a análise de risco e as incertezas científicas.

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES, pela concessão de bolsa no Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (Processo nº 99999.002910/2014-04).

## **REFERÊNCIAS**

Ashley, M. (2000). Science: an unreliable friend to environmental education?. *Environmental Education Research*, 6(3), 269-280. doi: [10.1080/713664678](https://doi.org/10.1080/713664678)

- Auler, D. (2011). Novos Caminhos para a Educação CTS: ampliando a participação. In Santos, W. L. P. dos, & Auler, D. (Orgs.), *CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa* (pp. 73-98). Brasília, DF: Editora UnB.
- Auler, D., & Delizoicov, D. (2001). Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Revista Ensaio: pesquisa em educação e ciências*, 3(3), 01-13. Recuperado de <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/44/203>
- Barbosa, L. C. A., & Marques, C. A. (2013). O princípio da precaução como aporte teórico para a educação ambiental. In *Atas do 7º Encontro Pesquisa em Educação Ambiental*. Rio Claro, SP: UNESP. Recuperado de [http://www.epea.tmp.br/epea2013\\_anais/pdfs/plenary/0055-1.pdf](http://www.epea.tmp.br/epea2013_anais/pdfs/plenary/0055-1.pdf)
- Brunet, S., Delvene, P., & Joris, G. (2011). O princípio da precaução como uma ferramenta estratégica para redesenhar a (sub) política: compreensão e perspectivas da ciência política de língua francesa. *Sociologias*, 13(26), 176-200. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/soc/v13n26/08.pdf>
- Bryce, T. G. K., & Day, S. P. (2014). Scepticism and the science of global warming: a rejoinder. *Cultural Studies of Science Education*, 9(4), 1025-1037. doi: [10.1007/s11422-014-9651-7](https://doi.org/10.1007/s11422-014-9651-7)
- Bryce, T.; & Gray, D. (2004) Tough acts to follow: the challenges to science teachers presented by biotechnological progress. *International Journal of Science Education*, 26(6). 717-733. doi: [10.1080/0950069032000138833](https://doi.org/10.1080/0950069032000138833)
- Cezar, F. G., & Abrantes, P. C. C. (2014). Princípio da precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 20(2), 225-262. Recuperado de <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8743/4920>
- Colluci-Gray, L., Elena Camino, G.B., & Gray, D. (2006). From scientific literacy to sustainability literacy: an ecological framework for education. *Science Education*, 90(2), 227-252. doi: [10.1002/sce.20109](https://doi.org/10.1002/sce.20109)
- Delizoicov, D., & Auler, D. (2011). Ciência, tecnologia e formação social do espaço: questões sobre a não-neutralidade. *Alexandria*, 4(2), 247-273. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37690/28861>
- Delizoicov, D., Angotti, J. A., & Pernambuco, M. M. (2002). *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo, SP: Cortez.
- Dinan, F., & Bieron, J. F. (2001). To Spray or Not To Spray? A debate over DDT. *Journal of College Science Teaching*, 31(1), 32-36. Recuperado de <http://sciencecases.lib.buffalo.edu/cs/files/ddt.pdf>
- Ewald, F. (2002). The return of Descartes's malicious demon: an outline of a philosophy of precaution. In Bakert, T., & Simon, J. (Ogs.), *Embracing risk: the changing culture of insurance and responsibility* (pp. 273-301). Chicago, IL: University Chicago Press.
- Fensham, P. J. (2014). Scepticism and trust: two counterpoint essentials in science education for complex socio-scientific issues. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), 649-661. doi: [10.1007/s11422-013-95600-1](https://doi.org/10.1007/s11422-013-95600-1)
- Fernandes, L. O. (2009). Processo decisório do REACH: a nova política europeia dos químicos. *Ambiente & sociedade*, 12(1), 189-202. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v12n1/v12n1a13.pdf>
- Firme, R. N.; & Amaral, E. M. R. (2008). Concepções de professores de química sobre ciência, tecnologia e sociedade e suas inter-relações: um estudo preliminar para o desenvolvimento de abordagens CTS em sala de aula. *Ciência & Educação*, 14(2), 251-269. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132008000200005>
- Freire, P. (1979). *Conscientização: teoria e prática da libertação*. São Paulo, SP: Cortez & Moraes.
- Freire, P. (1983). *Extensão ou comunicação?*. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra.
- Freire, P. (2005). *Pedagogia do oprimido*. São Paulo, SP: Paz e Terra.
- Freire, P. (2006). *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra.

- Gil Pérez, D., & Vilches, A. (2004). Compromisso por uma educação para a sustentabilidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21(3), 411-412. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6428/5944>
- Goklany, I. M. (2001). *The precautionary principle: a critical appraisal of environmental risk assessment*. Washington, DC: Cato Institute.
- Harremoës, P., Gee, D., Macgarvin, M., Stiling, A., Keys, J., Wynne, B., & Vaz, S. G. (2001). *Late lessons from early warnings: the precautionary principle, environmental issue - report n. 22*. Copenhagen/Dinamarca: European Environment Agency.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Summary for policymakers. In Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., ... White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1-32). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39(3), 1154-1169. doi: [10.1016/j.enpol.2010.11.040](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.040)
- Jesus, C. S. de, Böck, B. S., & Chrispino, A. (2014). A ciência reguladora e precaucionária na análise dos riscos tecnológicos. *Alexandria*, 7(2), 73-101. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/38216/29120>
- Kaiser, M. (2004). Uncertainty and Precaution 2: the precautionary principle and its relevance to science. *Global Bioethics*, 17(1), 81-92. doi: [10.1080/11287462.2004.10800845](https://doi.org/10.1080/11287462.2004.10800845)
- Kolstø, S. D. (2006). Patterns in students' argumentation confronted with a risk-focused socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 28(14), 1689-1716. doi: [10.1080/09500690600560878](https://doi.org/10.1080/09500690600560878)
- Kolstø, S. D., Bungum, B., Arnesem, E., Isnes, A., Kristensen, T., Mathiassen, K., ... Ulvik, M. (2006). Science students' critical examination of scientific information related to socioscientific issues. *Science Education*, 90(4), 632-655. doi: [10.1002/sce.20133](https://doi.org/10.1002/sce.20133)
- Lacey, H. (2006). O princípio de precaução e a autonomia da ciência. *Scientia e Studia*, 4(3), 373-392, 2006. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ss/v4n3/a02v4n3.pdf>
- Layrargues, P. P. (1998). *A cortina de fumaça: o discurso empresarial verde e a ideologia da racionalidade econômica*. São Paulo, SP: Annablume.
- Levinson, R., Kent, P., Pratt, D., Kapadia, R., & Yoguil, C. (2012). Risk-based decision making in a scientific issue: a study of teachers discussing a dilemma through a microworld. *Science Education*, 96(2), 212-233. doi: [10.1002/sce.21003](https://doi.org/10.1002/sce.21003)
- Marcelino, L. V., & Marques, C. A. (2013). O princípio da precaução no ensino de química para a regulação social da ciência e tecnologia. In *Atas do 9º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Rio de Janeiro, RJ: ABRAPEC. Recuperado de <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0882-1.pdf>
- Marcelino, L. V., & Marques, C. A. (2014). Biotecnologia no ensino de química: discussão axiológica para a promoção do princípio da precaução. In *Atas do 17º Encontro Nacional de Ensino de Química* (pp. 69-80). São Paulo, SP: SBQ, 2014.
- Martínez Pérez, L. F., & Fúquene, D. P. V. (Comps.). (2014). *Unidades didácticas sobre cuestiones sociocientíficas: construcciones entre la escuela y la universidad*. Bogotá, Colômbia: Colciencias; ALTERNACIENCIAS; Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez Pérez, L. F., & Lozano, D. L. P. (2013a). La emergencia de las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSA. *Góndola, enseñanza y aprendiz de las ciencias*, 8(1), 23-35. Recuperado de <http://comunidad.udistrital.edu.co/geaf/files/2013/08/2013Vol8No1-003.pdf>

- Martínez Pérez, L. F., & Lozano, D. L. P. (2013b) *Discurso ético y ambiental sobre cuestiones sociocientíficas: aportes para la formación del profesorado*. Bogotá, Colômbia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Morris, J. (2000). *Rethinking risk and the precautionary principle*. Oxford, UK: Butterworth/ Heinemann.
- Morris, J. (2002). The relationship between risk analysis and the precautionary principle. *Toxicology*, 181(182), 127-130. doi: [10.1016/S0300-483X\(02\)00268-8](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00268-8)
- O'Riordan, T., & Cameron, J. (1994). *Interpreting the precautionary principle*. London, England: Earthscan.
- Organização das Nações Unidas. (1992). Declaração sobre meio ambiente e desenvolvimento. *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*: Rio de Janeiro, RJ: Autor;
- Parga, D., Mora, W., & Cárdenas, Y. (2014). Dimensión ambiental: una inclusión necesaria para la formación de profesores de química. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 9(1), 38-46. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/GDLA/article/viewFile/7310/9008>
- Pence, L.E., Greene, E., & Pence, H.E. (2010). Using a google jockey to enhance classroom discussion. *Journal of Chemistry Education*, 87(3), 254-255. doi: [10.1021/ed800105f](https://doi.org/10.1021/ed800105f)
- Praia, J.; Gil Pérez, D.; Vilches, A. (2007). O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, 13(2), 141-156. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v13n2/v13n2a01.pdf>
- Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science Education for citizenship: teaching socioscientific issues*. Philadelphia, USA: Open University Press.
- Sadler, T. D. (2011). *Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research*. London, England: Springer.
- Sandin, P. (1999). Dimensions of the precautionary principle. *Human and Ecological Risk Assessment*, 5(5), 889-907. doi: [10.1080/10807039991289185](https://doi.org/10.1080/10807039991289185)
- Santos, W. L. P. dos. (2008). Educação científica humanística em uma perspectiva freireana: resgatando a função do ensino de CTS. *Alexandria*, 1(1), 109-131. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37426/28747>
- Science and Environmental Health Network. (1998). *Wingspread Statement on the Precautionary Principle*. Wisconsin, USA: Author.
- Séralini, G. e., Mesnage, E., Clair, E., Gress, S., Vendômois, J. S. de, & Cellier, D. (2011). Genetically modified crops safety assessments: present limits and possible improvements. *Environmental Sciences Europe*, 23(10). doi: [10.1186/2190-4715-23-10](https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-10)
- Simonneaux, L. (2001). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal of Science Education*, 23(9), 903-927. doi: [10.1080/09500690010016076](https://doi.org/10.1080/09500690010016076)
- Simonneaux, L., Panissal, N., & Brossais, E. (2013). Students' perception of risk about nanotechnology after an SAQ teaching strategy. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2376-2406. doi: [10.1080/09500693.2011.635164](https://doi.org/10.1080/09500693.2011.635164)
- Souza, L. C. A. B. (2016). *A problematização do Princípio da Precaução na formação do técnico agrícola: reflexões para o enfrentamento da racionalidade instrumental a partir de uma questão sociocientífica* (Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina), Florianópolis, SC. Recuperado de <http://tede.ufsc.br/teses/PECT0282-T.pdf>
- Tickner, J. A., & Raffenberger, C. (1998). *The precautionary principle in action: a handbook*. Windsor, North Dakota: Science and Environmental Health Network.
- Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2011). El Antropoceno como oportunidad para reorientar el comportamiento humano y construir un futuro sostenible. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 394-419. Recuperado de [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/REEC\\_10\\_3\\_1.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/REEC_10_3_1.pdf)

Whiteside, H. K. (2006). *Precautionary politics: principle and practice in confronting environmental risk*. Cambridge, UK: MIT Press.

World Commission on the Ethics of Science and Technology. (2005). *The precautionary principle*. Paris, France: UNESCO.

**Recebido em:** 19.05.2016

**Aceito em:** 16.08.2016