

A Ciência Reguladora e Precaucionária na Análise dos Riscos Tecnológicos

(Regulatory and Precautionary Science in the Analysis of Technological Risks)

CARLOS SILVA DE JESUS, BRUNO STEFONI BÖCK e ÁLVARO CHRISPINO

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia – PPTEC/CEFET/RJ (crsjesus@yahoo.com.br, brunostefoni@gmail.com, alvaro.chrispino@gmail.com)

Resumo. Este artigo discute a ciência reguladora e precaucionária à luz dos riscos tecnológicos, entendidos como resultado do desenvolvimento tecnocientífico na sociedade. Inicialmente é considerada a contextualização social da ciência e tecnologia e a caracterização da sociedade tecnocientífica. Segue-se a apreciação dos riscos tecnológicos para então expor o conceito de ciência reguladora, enfatizando sua contribuição na orientação das políticas de regulação em ciência e tecnologia. Evidenciado o princípio da precaução na essência da ciência precaucionária, destaca-se, finalmente, a contribuição da conjugação do modelo regulador e precaucionário para a análise e gestão dos riscos tecnológicos. Visando à área de educação o texto discute por fim os desafios da formação cidadã em C&T e os benefícios da admissão da temática nos currículos escolares.

Abstract. This article discusses the regulatory and precautionary science in the light of the technological risks, understood as a result of technoscientific development in society. Initially it is considered the social contextualization of science and technology and the technoscientific society is characterized. Following, it is made an assessment of technological risks and the regulatory science's concept is presented, emphasizing its contribution in the orientation of the regulatory policies in science and technology. After evidencing the precautionary principle in the essence of the precautionary science, it is stressed the contribution of the conjugated precautionary and regulatory science model for the technological risks' analysis and management. Aiming at the education area the text discusses finally the challenges of citizenship education in S&T and the benefits of introducing this thematic in the school curriculum.

Palavras-chave: CTS, sociedade tecnocientífica, riscos tecnológicos, ciência reguladora, ciência precaucionária

keywords: STS, technoscientific society, technological risks, regulatory science, precautionary science

Introdução

O desenvolvimento científico e tecnológico tem alterado a configuração social no decorrer da história. A relação ciência e tecnologia (C&T) representa em si um processo inerentemente social. Atende às demandas sociais por encaminhamentos científicos e novas tecnologias, definindo a própria sociedade que, por sua vez, reage diante das implicações e condições sociais resultantes da interferência da ciência (LOPEZ CERREZO, 2002). Assim, paradoxalmente, ao conhecimento científico é frequentemente imputada a responsabilidade pelas consequências advindas de seu desenvolvimento, desencadeando tensões e discussões, inclusive éticas (DYSON, 1997).

Os aspectos sociais da ciência e da tecnologia têm sido objeto de estudos, sobretudo no campo de trabalho acadêmico denominado Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) cujo enfoque, segundo Bazzo *et al.*, “[...] concerne aos fatores sociais que influem na

mudança científico-tecnológica, como no que diz respeito às consequências sociais e ambientais” (2003, p. 119).

Na esteira dos incrementos tecnológicos, a admissão dos cidadãos nas discussões e decisões de políticas públicas nacionais têm se fortalecido. O avanço da tecnologia da informação e comunicação viabilizou a disseminação de informação junto aos cidadãos, impondo um desafio à prática política dominante. A tensão aumenta quando a sociedade experimenta incertezas quanto aos riscos do desenvolvimento tecnológico, percebidos com maior evidência no ambiente social e natural (GUIVANT, 2005; BECK, 2011).

Um modelo de análise dos problemas que considere os riscos do desenvolvimento e inclua a sociedade é necessário. No modelo atual, dois cenários de percepção de riscos coexistem, polarizados pela visão científica, eminentemente teórica e neutra dos fatos, e a visão protagonizada pelo público leigo que se fixa nas questões objetivas (GUIVANT, 2004). Mobilizações sociais recentes, muitas com forte viés político e econômico, como no caso das mobilizações no Oriente Médio, outras nas Américas e, resguardadas as proporções, as mais recentes no Brasil, demonstram que a temática da participação social está em ascensão e que a sociedade vem reagindo ao um padrão de desenvolvimento, e também de representação, cujo avanço ignore o contexto social e ambiental e, sobretudo, se afaste dos valores sociais e éticos a pretexto de seguir na esteira da ciência (LACEY, 2005).

O enfoque CTS apresenta a educação em ciência e tecnologia com o objetivo de influenciar cidadãos capazes de intervirem e opinarem sobre as decisões políticas e científicas, considerando os riscos que o avanço da ciência e tecnologia impõe à sociedade e o desdobramento cultural, ambiental e ético das questões tecnocientíficas (DYSON, 1997; CERESO, 2002; BAZZO *et al.*, 2003).

Aikenhead (2005), Dos Santos e Mortimer (2002) e Praia *et al.* (2007) destacam a importância conferida pela educação em CTS à formação dos cidadãos pelo aumento da sensibilidade social. A ênfase se dá na contribuição da alfabetização em ciência e tecnologia ao educando, viabilizando sua atuação e posicionamento crítico e racional em relação às decisões e problemas tecnocientíficos.

Ciência e tecnologia no contexto social

O senso popular sobre a ciência é pautado por uma consciência ingênua que se manifesta numa percepção distorcida do papel do conhecimento científico na sociedade. Noção simplista também é atribuída à tecnologia, por vezes medida pelos aparatos

tecnológicos. Em geral, o conhecimento científico é aceito pelo senso comum desde que promova o desenvolvimento econômico e bem-estar social, uma visão herdada de uma concepção essencialista e triunfalista (LOPEZ CERESO, 2002). Nesta concepção, ciência e tecnologia se distanciam da sociedade, em decorrência da neutralidade e autonomia com que tratam as questões com as quais se envolvem (DYSON, 1997).

Este modelo de ciência, revisado nos anos 60 e 70 do século XX na esteira dos movimentos e dos estudos CTS, deu lugar a uma maior relação e participação da sociedade, revelando que os valores sociais e outros interesses estariam embutidos no conhecimento científico e tecnológico (DAGNINO e DIAS, 2007).

Neste contexto, alguns autores descrevem a relação da sociedade com a ciência e tecnologia:

Os estudos sociais em ciência e tecnologia, originários da Europa, são definidos por García Palacios *et al.*(2011) como esforços interdisciplinares de trabalho, nos quais áreas do conhecimento como sociologia, filosofia, história, economia e educação analisam de modo crítico a ciência e a tecnologia em sua dimensão social.

Para Mitcham (1990), os estudos CTS refletem uma época em que a sociedade procura exercer um controle social mais efetivo sobre a ciência e a tecnologia. Os cidadãos são admitidos na efetiva participação nas decisões tecnocientíficas, sendo atores ativos do processo decisório.

Latour e Woolgar (1997) realizaram uma etnografia em laboratório, buscando conhecer e desvendar de modo sistemático o universo científico e verificar como são determinados os fatos científicos em seu local de criação.

Pinch e Bijker (2008) elaboraram um modelo multidirecional para a construção social dos artefatos tecnológicos. Os consideram como resultado das soluções para diversos problemas demandados pelos grupos sociais dominantes, impactados por uma nova tecnologia em um processo não linear de variação e seleção de um determinado aparato tecnológico.

Feenberg (2010) acredita que há uma tendência de crescimento da participação popular em relação a desenvolvimento e *design* de produtos. Acredita ainda que entes governamentais vêm se abrindo lentamente ao público para consulta sobre aspectos técnicos, o que antes era restrito apenas aos especialistas. Espera que a tecnologia possa ser controlada pela sociedade em um processo de abarcamento da tecnologia pela democracia.

Considerar a inovação científica alienada do contexto social pode representar o que Comte-Sponville (2005) caracterizou como a barbárie tecnocrática - expressão atribuída à tirania dos especialistas concretizada na tentativa de submeter a lei e a política às ciências, às técnicas e à economia. Nesta ótica o povo de modo geral é menos capacitado que os especialistas, que estariam mais aptos a opinar sobre questões governamentais, criando assim o que chamou de um simulacro da democracia.

Esteve Pardo (2009) destaca que a incerteza é inerente à ciência. O autor questiona o modo como as decisões tecnocientíficas vêm sendo tomadas pelo poder judiciário em razão de conflitos judiciais, apontando para duas estratégias recorrentes nessas situações. A primeira demonstra o domínio da estrutura empresarial sobre a tecnociência, possuindo sistemas de auto-organização e autoregulação, criando um sistema jurídico paralelo. A segunda estratégia indica a transferência da responsabilidade do processo decisório em tecnociência aos cientistas. O autor aponta a necessidade de construção de um sistema de referências e apoios que possam auxiliar o poder judiciário na tomada de decisões em ciência e tecnologia, impedindo a polarização entre cientistas e o empresariado da tecnociência.

Superando a fase em que a ciência foi tomada como autônoma, neutra e alheia a interferências externas, o conhecimento científico é então considerado como socialmente construído. Esta contextualização social, com a desmistificação da ciência e tecnologia e na promoção da participação pública, como apontado nos estudos CTS, resulta em considerar os contextos históricos, políticos, sociais e econômicos, apreciando ainda aspectos éticos, culturais e ambientais (DYSON, 1997; LOPEZ CERREZO, 1997; 2002).

A sociedade tecnocientífica

Para melhor compreensão das características da definição de uma sociedade tecnocientífica (expressão que representa a interdependência e a intensa cooperação da ciência e tecnologia com a sociedade), é possível encontrar modelos de análise da sociedade sob a ótica tecnológica proposta por diversos autores como, por exemplo, Peter Drucker (1996), Ortega y Gasset (1997), Lewis Mumford (2010, 2001), Javier Echeverría (2003, 1999), Hughes (2008) e Ferreira (2010), além de autores que sintetizam as categorizações e ideias clássicas apresentadas como, por exemplo, Bazzo, Linsingen e Pereira (2003), Osorio (2005) e Tezanos Tortajada e López Peláez (1997).

Os autores citados se valem de perspectivas antropológicas que, mesmo por vezes gerando controvérsias, representam a tentativa de relacionar as ações humanas com a tecnologia, a fim de classificar as transformações sociais em função do conhecimento científico e caracterizar socialmente os fatores afetos à evolução científica. Para este trabalho, vamos desdobrar as ideias de Ortega y Gasset, Mumford, Echeverria, Ferreira e Hughes.

Ortega y Gasset, autor de *Meditación de la técnica* (1939), considera as sociedades conforme a relação com a técnica. O quadro 1 apresenta essa abordagem em que a técnica e a tecnologia representam a superação do homem à hostilidade do ambiente no atendimento das necessidades humanas.

Quadro 1 - As três técnicas (Ortega y Gasset)

Tipo de técnica	Sociedade	Atos técnicos	Técnico
Técnica do Acaso	Primitivas	Predominam os atos naturais, considerados como fixos e dados.	Ignora sua técnica, se valendo do que está disponível no ambiente natural. Não inventa ou inova conscientemente.
Técnica do Artesanato	Idade Média	Atos técnicos aumentam resultando na divisão de trabalho. Os produtos adquirem complexidade e recebem funcionalidades.	Sua habilidade está em aprender, manipular e transmitir a técnica. A ferramenta é uma extensão do artesão.
Técnica do Técnico	Sociedade atual	Abundam os atos técnicos especializados com o advento da máquina.	Não pode prescindir da técnica, dela dependendo conscientemente. Distingue-se o operário do técnico e da nova figura, o engenheiro.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Bazzo *et al.* (2003).

Lewis Mumford, em *Técnica y Civilización* (1934) e *Arte & Técnica* (2001) analisa as alterações introduzidas pela máquina no desenvolvimento da sociedade (quadro 2), cuja classificação conjugou meios de utilização da energia, formas de produção e de vida, avaliando as consequências (oportunidades e desafios) da tecnologia na sociedade.

Quadro 2 - Fases da técnica (Lewis Mumford)

Fases da Técnica	Recursos	Características	Efeitos
Eotécnica (1000 a 1750)	Água Vento Madeira	A utilização da força da água e do vento permitiu melhor aproveitamento dos materiais. Abundaram os inventos que alteraram a forma de produção e qualidade de vida.	As fontes de energia, embora eficientes e abundantes, se demonstram irregulares. As indústrias se movem para o campo ocupando áreas naturais e leito dos rios.
Paleotécnica (1700 a 1900)	Carvão Ferro	O vento e a água são substituídos pelo carvão, enquanto que a madeira e o vidro são substituídos pelo ferro.	O motor a vapor leva à produção em larga escala e trazem a ideia de progresso com as cidades industriais e a explosão populacional. O ambiente é afetado pela poluição do ar e contaminação da água.
Neotécnica (1832...)	Energia Elétrica	Rompimento com o mecanicismo paleotécnico, resgatando valores do período Eotécnico. O uso da energia elétrica predomina e novas ligas de materiais são possíveis.	Intensificação do veículo individual e do avanço nos recursos de comunicação. Percebe-se uma mudança de atitude da sociedade sobre seu entorno social e natural.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Bazzo *et al.* (2003).

Javier Echeverría (1999) distingue as sociedades conforme seus entornos (quadro 3), segundo a influência da tecnologia: o natural (E1); o cultural, social e urbano (E2); e comunicação e informação (E3).

Quadro 3 - Entornos (Javier Echeverría)

Entornos	Meios	Características	Relações
E1	Natural	Predomina a cultura de subsistência, marcada pela presença física e pela intensa aproximação com o meio natural.	Circunscritas à pessoa e ao ambiente imediato: o corpo humano, a casa, os clãs, os ritos, lugares sagrados, etc.
E2	Cultural, social e urbano	Sobrenatureza produzida pela técnica e indústria que “reveste” o físico e o natural.	Surgem novas formas de poder, com tensões próprias da amplitude dos territórios: empresas, bancos, escolas, etc.
E3	Tecnológico	Depende das inovações científicas e tecnológicas, que viabilizaram a comunicação e informação. Não há limite espacial ou temporal.	O conceito de aldeia global é aplicado, alterando as formas de trabalho e cooperação. Surge conflitos nas relações de produção e consumo.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Bazzo *et al.* (2003).

Ferreira (2010) sintetiza a ideia de paradigma tecnoeconômico que, segundo assinala, se caracteriza como a

combinação de inovações de produto, técnicas, organizacionais e administrativas capazes de abrir oportunidades de investimento e lucro.

Verifica-se que além dos fatores técnicos, este conceito abrange também os fatores institucionais. Cada paradigma tecnoeconômico possui um conjunto específico de fatores-chave e indústrias-chave propulsores do crescimento econômico e as formas de organização industrial e de competição também se alteram.

O quadro 4 a seguir indica os períodos históricos que foram marcados por acontecimentos tecnológicos, redundando em indústrias específicas, fatores que favorecem o chamado progresso naquele período e o tipo de organização industrial favorecida. A nosso ver, é possível ainda avaliar estes itens combinados considerando os impactos sociais.

Por tal, é possível imaginar que os paradigmas tecnocientíficos desenham modelos de sociedades de forma direta ou por acomodação. Vejamos o que nos apresenta:

Quadro 4 – Paradigmas tecnocientíficos.

Períodos	Descrição	Indústrias-chave	Fatores-chave	Organização Industrial
1770-1840	Mecanização	Têxtil, química, metal-mecânica, cerâmica.	Algodão e ferro	Pequenas empresas locais
1840-1890	Máquinas a vapor e ferrovias	Motores a vapor, máquinas-ferramenta, máquinas para ferrovias	Carvão e sistemas de transportes	Pequenas e grandes empresas e crescimento das sociedades anônimas
1890-1940	Engenharia pesada	Estaleiros, produtos químicos, armas, máquinas elétricas.	Aço	Monopólios e oligopólios
1940-1980	Fordista	Automobilística, armas, aeronáutica, bens de consumo.	Derivados de petróleo	Concorrência, oligopolística e crescimento das multinacionais
A partir de 1980	TIC	Computadores, produtos eletrônicos, software, telecomunicações, novos materiais e serviços de informação.	Microprocessadores	Redes de empresas

Fonte: Ferreira (2010)

Hughes (2008) em uma visão histórica e holística apresenta o conceito de sistemas tecnológicos como conjuntos de componentes que se destinam à resolução de problemas complexos. Os sistemas incluem os artefatos, as organizações que se envolvem direta ou indiretamente na produção do artefato, o sistema científico e educacional subjacentes e os regulamentos e leis pertinentes e estabelece ciclos de evolução desses sistemas, explicitando que tais fases não são lineares, podendo haver retrocessos e não necessariamente são sequenciais, como podemos observar no quadro 5.

Quadro 5 – Fases dos sistemas tecnológicos.

Fases dos Sistemas Tecnológicos	Palavras-chave	Características
Invenção	Inovação e invenção	Nessa fase são geradas invenções, incrementais ou radicais, que podem criar novos sistemas tecnológicos e reconfigurar o mercado de trabalho.
Desenvolvimento	Sistemas tecnológicos e ambiente	Incorporação às invenções características econômicas, sociais e políticas que precisam para sobreviver em um complexo mercado dominado pelas mais diversas forças e atores.
Inovação	Especificações e terceirização	Modificação das especificações das invenções originais em um processo que envolve manufatura e vendas e que em certos casos permite que as invenções sejam produzidas ou comercializadas por terceiros.
Transferência	Dificuldades, adaptações e design	Para solucionar as dificuldades, os operadores tecnológicos podem ocorrer a uma mudança no estilo tecnológico que se refere ao desenho do artefato ou serviço para o consumidor.
Crescimento, competência e consolidação	Expansão, volume e variedade	Engrandecimento organizacional que proporciona economia de escala e poder, ocorrendo a consolidação do sistema que possui uma carteira de artefatos e organizações que o compõe; sua taxa de crescimento indica a velocidade e trajetória que o sistema tecnológico está tomando.

Fonte: Hughes (2008)

As cinco abordagens, apesar de figurarem perspectivas diferentes, são esclarecedoras e complementares na construção da sociedade tecnocientífica. O domínio de técnicas e recursos proporcionou a configuração social a partir da intensificação da relação do homem com a tecnologia.

Os incrementos tecnológicos, decorrentes da interferência técnica do homem no meio, movido pela necessidade de sobreviver e superar barreiras naturais, se revelaram demarcadores do desenvolvimento social. A demarcação foi além de artefatos, representando uma alteração na dinâmica da relação do homem com o ambiente natural e social. O desenvolvimento, no entanto, não é inócuo ou desprovido de riscos à natureza e à vida humana.

A sociedade tecnocientífica, à luz de uma ciência socialmente construída e incluída pelos recursos de informação e comunicação, demanda um modelo de investigação e produção científica pautada pelas questões sociais. Reclama e promove a reflexão e o atendimento de desafios que se originam a partir da influência direta do movimento científico-tecnológico, demandando diretrizes para a formulação de ações e políticas.

Riscos tecnológicos

A sociedade tecnocientífica tem observado e experimentado fenômenos como a variação climática global, camada de ozônio, a poluição dos recursos hídricos, exaustão de recursos naturais, a radioatividade, dentre outros, conhecidos pelos seus efeitos nas pessoas, animais e ambiente, decorrentes, em sua maior parte, pela má preparação quanto aos riscos e a desconsideração pelos gerenciadores dos sistemas tecnológicos dos interesses dos envolvidos nos sistemas tecnológicos e dos entornos comunitários (FEENBERG, 2005; IPCC, 2014).

Hammerschmidt (2010) faz distinção entre as catástrofes naturais e outros riscos, cuja natureza se deve:

[...] à produção de danos que são consequências de decisões humanas causadas (por ações ou omissões ante a representação de um evento danoso) por oposição ao perigo que importa à produção de danos imputáveis a causas alheias ao próprio controle, externas à decisão e que afetam o entorno (humano ou natural) (p. 98).

Tratando dos riscos não naturais, ao escrever sobre a vulnerabilidade social frente à tecnologia, Bijker (2008) reflete que este tipo de fato social não deve ter mudado radicalmente a percepção dos especialistas em CTS, certamente devido à maneira como é percebida a construção social da ciência e da tecnologia e sua relação com a sociedade.

Bijker (2008) lembra que os especialistas em CTS se perguntaram de que modo suas investigações poderiam contribuir para a melhor compreensão destes eventos. Ele, então, contribuiu particularmente apresentando o argumento de “que viver em uma cultura tecnológica implica invariavelmente viver em um mundo vulnerável. E a vulnerabilidade não só é uma característica inevitável” (p.118) como também é uma condição para a busca de inovação. Informa ainda que “para viver em uma cultura aberta, em mudança e inovadora, devemos pagar o preço da vulnerabilidade”.

Guivant (1998) faz um importante estudo sobre a trajetória das análises de risco, visando situar as contribuições de Beck e Giddens para a temática dos riscos. Considerando a abordagem técnico-quantitativa, que predominou até os anos 60, a autora conceitua risco “[...] como um evento adverso, uma atividade, um atributo físico, com determinadas probabilidades objetivas de provocar danos” (GUIVANT, 1998, p. 2). Este conceito está alinhado com o paradigma do risco, no qual, segundo Thornton

(2000), se baseia a condução das políticas ambientais correntes, focadas na gestão das consequências a partir de cálculos probabilísticos.

A abordagem técnico-quantitativa do estudo dos riscos, segundo Guivant (1998), se deu em três áreas interligadas de ação: a estimação, quando se identifica a origem, intensidade e as eventuais consequências para a sociedade; a comunicação, representando um desafio e oportunidade, já que pela informação se pretende encurtar a distância entre a visão dos especialistas e o público leigo; e a administração, fase de definição de prioridades para formulação de políticas públicas e eventual regulação (GUIVANT, 1998). Nessa abordagem probabilística, a sociedade, ainda não efetivamente admitida na parte ativa do processo, é alcançada pela publicidade, ainda que parcialmente, dos dados referentes à gestão dos efeitos dos riscos.

Outra abordagem citada por Guivant (1998), predominante na década de 70 e 80 do século passado, com trabalhos que detinham um viés cultural na análise dos riscos, estava “[...] centrada numa visão socioconstrutivista segundo a qual os indivíduos são organizadores ativos de suas percepções, impondo seus próprios significados aos fenômenos” (GUIVANT, 1998, p.3). Aqui os riscos considerados são os de ordem antropológica, que alteram a configuração social, como percebidos por aqueles que por ele são afetados. A sociedade é, finalmente, admitida como capaz de perceber e tecer considerações sobre os riscos.

A abordagem que supera a mera análise probabilística dos riscos e finalmente reconhece a sociedade na gestão dos riscos é a sócio-qualitativa que, como analisado por Guivant (1998), passa a considerar a fusão de fatos e valores que interferem na estimação dos riscos. Neste sentido, contrapondo ao paradigma do risco, considera Thornton (2000) um novo paradigma, o ecológico, com foco na prevenção dos efeitos das substâncias químicas e na precaução nas práticas cujos efeitos têm potencial de dano irreversível, mesmo sem provas efetivas.

Destacando-se no campo da teoria social, o conceito de risco recebeu importantes contribuições dos teóricos sociais Ulrich Beck e Anthony Giddens, cujos trabalhos consideram em particular os riscos ambientais e tecnológicos.

Os estudos de Beck (2011) e Giddens (1994) apontam que os riscos da sociedade atual são diferentes de outros riscos, justamente porque resultam do projeto de modernidade protagonizado pela própria sociedade. Beck (2011) diagnosticou que a sociedade altamente industrializada tem como desafios os riscos tecnológicos que estão na própria constituição d modernidade. Giddens (1994), por sua vez, aduz que os riscos

atuais estão representados e são gerados a partir da própria maneira de ser da modernidade.

Para Beck (2011), a nova modernidade convive como que chamou de autoameaças globais, resultado da evolução tecnológica dos meios de produção e de informação, cuja solução se dá a partir de uma atuação global. O próprio desenvolvimento da sociedade a expôs a riscos sociais, políticos e ecológicos - os riscos tecnológicos - que cada vez mais escapam dos mecanismos institucionalizados de proteção e controle, dado que são globais e ligados a decisões técnicas, administrativas e políticas.

O processo de modernização é alheio aos riscos de seu avanço. São riscos globais, sem limites espaciais, temporais ou sociais, “produzidos industrialmente, externalizados economicamente, individualizados juridicamente, legitimados cientificamente e minimizados politicamente” (GUIVANT, 1998).

O desenvolvimento da ciência e da técnica não poderiam mais dar conta da predição e controle dos riscos que contribuiu decisivamente para criar e que geram consequências de alta gravidade para a saúde humana e para o meio ambiente, desconhecidas a longo prazo e que, quando descobertas, tendem a ser irreversíveis (GUIVANT, 1998, p. 95).

Os estudos de Beck e Giddens se alternam entre contraste e complemento. Apesar de apresentarem algumas limitações em seus resultados e propostas, em suma, enfatizam que a interpretação, medição, comunicação e, sobretudo, a atuação no contexto de riscos representam uma tendência política inevitável para a sociedade, que vem percebendo que a esteira do desenvolvimento traz muitas incertezas. Faz-se necessário, portanto, um modelo de governança de riscos, construído e contextualizado socialmente, que inclua as incertezas típicas dos riscos tecnológicos (GUIVANT, 2001).

No campo CTS, com aproximações da Natureza da Ciência e da Tecnologia, diversos autores trataram do risco tecnológico numa sociedade tecnocientífica, realçando a necessidade da participação social nos encaminhamentos de temas de base tecnocientífica de impacto social, suscitando a necessidade da participação social e da ética na decisão governamental ou científica. Desde Bruno Latour (2004) com a sua Política da Natureza a Hans Jonas (2009) com sua ideia de responsabilidade tecnológica, passando por Aibar (2012) e Feenberg (2010), que tratam da participação social no universo da sociedade tecnológica, até chegarmos a autores que pensaram os processos de produção em Ciência e Tecnologia a partir das necessidades e características dos países latino-americanos, como Varsavsky (2013) e Sabato (2011). Sem esquecer de Luján e Echeverria (2004), que publicaram os textos resultantes do

Curso Internacional intitulado “*La sociedad del riesgo*”, realizado na *Universidad Internacional Menedez Pelayo* (Espanha), temos uma longa trajetória de reflexões envolvendo visões distintas sobre como as relações ciência, tecnologia e sociedade precisam ser percebidas pela ótica contemporânea dos riscos tecnocientíficos, o que será possível com uma sociedade mais bem informada sobre estes assuntos.

A questão é como os especialistas em ciência e em tecnologia consideram as incertezas e as potencialidades de dano do risco tecnológico e quais referências são tomadas para a análise de risco por aqueles que definem técnica, administrativa e politicamente o desenvolvimento tecnocientífico.

A ciência acadêmica e a ciência reguladora

A visão de uma ciência socialmente construída revela que o conhecimento científico está sujeito a influências sociais (DAGNINO e DIAS, 2007). À medida que a percepção dos riscos associados à tecnologia aumentou, o conhecimento científico foi utilizado como um recurso para controlar e reorientar os efeitos e riscos associados às tecnologias emergentes. Essa ciência, ou as práticas científicas que se sujeitam à regulação, assistindo à formulação de políticas sociais, neste trabalho assume a denominação de ciência reguladora como considerada por Jasanoff (1995).

Nesta construção, é oportuno trazer à discussão, a categorização em que Jasanoff (1995) distingue a ciência acadêmica da ciência denominada reguladora. A autora vem, desde então, apresentando reflexões acerca das relações entre a ciência e a tecnologia e seus impactos na sociedade, mediadas pelas decisões governamentais e ou administrativas. Em sua obra recente - *Science and Public Reason* (2013) a autora volta ao tema.

Em visão complementar, Lacey (2006) e Lacey (2007) descrevem que a ciência descontextualizada é pautada em três valores: autonomia, objetividade e neutralidade, tendo como principal característica a dissociação da ciência em relação aos contextos social, ecológico e ético. Em contrapartida, a ciência contextualizada está inserida em um contexto socioeconômico e adota o princípio da precaução em suas práticas, avaliando alternativas e os riscos que possam ocorrer no desenvolvimento de determinado produto científico.

A ciência acadêmica “[...] tende a ser conduzida em ambientes de relativo consenso, orientada por paradigmas estabelecidos e padrões relativamente claros de controle da qualidade metodológica” (JASANOFF, 1995, p.282). Como explicitado no

quadro 6, a autora exemplifica os cenários dos tipos de ciência, evidenciando que a ciência reguladora tem sua performance via normas mais fluídas, ambiente controverso, sem consenso, e está mais sujeita a considerações e influências políticas.

Claro contraste se evidencia com a ciência acadêmica ou ciência normal, cujas decisões e resultados se pautam pelo consenso da comunidade científica que determina métodos, abordagens e objetivos.

Ainda se observa deste contraste, a percepção, gestão e controle do desenvolvimento tecnocêntrico, que se promoverá conforme uma das duas visões de ciência, cujas características distintas resultarão em também distintas propostas de ação de regulação para a ciência e tecnologia.

Quadro 6 - Características da ciência acadêmica e da ciência reguladora

	Ciência Reguladora	Ciência Acadêmica
Metas	“Verdades” relevantes para formulação de políticas.	“Verdades” originais e significativas.
Instituições	Agências governamentais, indústrias.	Universidades, organismos públicos de investigação.
Produtos	Relatórios e análises de dados, que geralmente não se publicam.	Artigos científicos.
Incentivos	Conformidade com os requisitos legais.	Reconhecimento profissional.
Prazos temporais	Prazos regulamentados, pressões institucionais.	Flexibilidade.
Opções	Aceitar a evidência. Rechaçar a evidência.	Aceitar a evidência Rechaçar a evidência Esperar por mais ou melhores dados.
Instituições de Controle	Instituições legisladoras. Tribunais. Meios de comunicação.	Pares profissionais.
Procedimentos	Auditorias. Revisão reguladora profissional. Revisão judicial. Vigilância legislativa.	Revisão por pares, formal ou Informal.
Padrões	Ausência de fraude e falsidade. Conformidade com os protocolos aprovados e com as diretrizes da agência institucional. Provas legais de suficiência (isto é, evidência substancial, preponderância da evidência)	Ausência de fraude e falsidade. Conformidade com os métodos aceitos pelos pares. Significado estatístico.

Fonte: JASANOFF (1995).

A ciência reguladora, tomada como uma teoria ou prática científica dedicada a fornecer conhecimento para orientar políticas e regular tecnologias, não tem a pretensão de representar uma nova ciência. Também conhecida como transciência ou ciência pós-

normal, a ciência reguladora representa a conjugação de atividades científicas interdisciplinares, possibilitando qualidade e objetividade na atuação da própria ciência no entendimento e na solução de problemas reais da sociedade, afetando singularmente nas decisões políticas.

A contribuição mais convincente das práticas científicas sob o conceito convencionado de ciência reguladora, portanto, é a proposta de incentivar a participação cidadã nas práticas científicas, na medida em que agrega qualidade e objetividade na compreensão e tratamento de problemas reais, conjugando diferentes saberes - cognitivos, objetivos e de outros profissionais de áreas diversas - combinados a fim de considerarem e solucionarem os problemas (FERNANDES, 2008).

Para Jasanoff (1995) esta visão de ciência é ajustada a um contexto onde os fatos são incertos, os paradigmas teóricos estão pouco desenvolvidos, os métodos de estudos são bastante inconsistentes e onde os resultados estão submetidos a consideráveis incertezas. Cenário típico dos riscos tecnológicos, onde predomina o consenso político mediante mecanismos institucionais e legais que considerem a redução dos riscos à sociedade (JASANOFF, 2008).

Ao lidar com incertezas e imprecisões de efeitos imprevisíveis quanto aos danos, a ciência corre o perigo de um protagonismo em fundamentar decisões com aversão ou tolerância a riscos (GUIVANT, 1998). É imperioso que a prática científica amplie seu escopo de atuação e interação, inclusive fornecendo bases para ações políticas de regulação, considerando um modelo de observação e tratamento dos problemas de maneira contextualizada, pautado por uma postura de precaução, principalmente diante de danos de caráter irreversível à sociedade e ao ambiente.

O princípio da precaução

O homem tem experimentado os efeitos de seu descaso e das interferências no ambiente em indicadores nunca antes registrados. Tal experiência é resultante de uma forma de pensar e agir de uma sociedade industrializada, alheia aos riscos de seu desenvolvimento (BECK, 2011; EGRI & PINFIELD, 2012). Como destaca Jesus *et al.* (2013), o cenário atual decorre da tensão na tênue fronteira entre prover necessidades e seguir um comportamento desatento à sustentabilidade.

Fomentada pela discussão de pano de fundo ambiental, conforme aponta Bazzo *et al.* (2003), se apresenta uma política mais intervencionista, um modelo de gestão e regulação que se vale de “instrumentos técnicos, administrativos e legislativos para o

processamento do desenvolvimento científico-tecnológico e a supervisão de seus efeitos sobre a natureza e a sociedade” (2003, p. 63). Guivant (2004) argumenta que a cautela, em conformidade com o princípio da precaução, deve ser assumida quando considerados os resultados de novos experimentos e do que chamou de novas tecnologias.

O princípio da precaução tem previsão na Constituição Federal Brasileira nos sete incisos do §1º do artigo 225 que definem parâmetros para as ações com potencial de poluir ou danificar o meio ambiente. Sua aplicação se justifica na superação dos benefícios pelos potenciais prejuízos nas atividades humanas (COIMBRA, 2012).

Adotado nas políticas ambientais alemãs nos anos 70 o princípio da precaução na política pública nacional foi inscrito a partir de fóruns internacionais. As Conferências das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento (Estocolmo, 1972; Rio de Janeiro, 1992) alertaram quanto à aplicação da ausência de certeza científica de danos que frustrariam o que ficou conhecido como desenvolvimento sustentável.

Para Machado (2007):

O princípio da precaução é uma decisão exercida quando a informação científica é insuficiente, não conclusiva ou incerta e haja indicações de que os possíveis efeitos sobre o ambiente, a saúde das pessoas ou dos animais ou a proteção vegetal possam ser potencialmente perigosos e incompatíveis com o nível de proteção escolhido (p. 36).

Varella e Platiau (2004) definem o princípio da precaução com uma atitude dos que decidem diante de perigo grave às gerações futuras, evocando especialmente aos gestores públicos a reduzir o risco a um nível aceitável. Destaca ainda que o dispositivo de precaução deve ser resultado de uma consulta social, estar proporcional à amplitude do risco e estar sempre sujeito a revisões.

Para Lacey (2006) o princípio da precaução recomenda mais detalhamento nas inovações tecnocientíficas, recomendando maior análise, visando corrigir o que chama de “distorções correntes das práticas científicas”, já que observa uma crescente subordinação da ciência a interesses presentes nos valores do progresso tecnológico e do mercado.

O princípio da precaução inscreve a cautela no desenvolvimento tecnocientífico cuja produção se orienta a partir da definição de políticas públicas, que decide que tipo de pesquisa será promovido, quais inovações são relevantes e quais riscos a sociedade está disposta a administrar. Nesta linha de ação, os estudos de Rubens Onofre Nodari,

pesquisador na área de biorriscos diretos e indiretos, decorrentes da introdução de Organismos Geneticamente Modificados no ambiente, cita:

Princípio da precaução é inseparável da posição ética mais geral, segundo a qual é irresponsável participar do tipo de pesquisa que leva a inovações tecnocientíficas, a não ser que pesquisas rigorosas e sistemáticas, de dimensões comparáveis, sobre as consequências (riscos) ecológicas e sociais a longo prazo de sua implementação sejam efetuadas (NODARI, 2011, p.55).

Para os especialistas em Ensino de Ciência e de Tecnologia, o Princípio da Precaução também tem sido apontado como algo a ser buscado na participação social, como apontam Praia *et al.*:

Em síntese, a participação, para a cidadania, na tomada de decisões é, hoje, um fato positivo, uma garantia de aplicação do princípio da precaução, que se apoia em uma crescente sensibilidade social frente às implicações do desenvolvimento técnico-científico que podem comportar riscos para as pessoas ou para o meio ambiente (...). A referida participação, temos de insistir, reclama um mínimo de formação científica que torne possível a compreensão dos problemas e das opções - que se podem e se devem expressar numa linguagem acessível - para não se ver recusada com o argumento de que problemas como a mudança climática ou a manipulação genética são de uma grande complexidade (2007, p. 144-145).

Além dos agentes legitimados pelo voto popular, a população deve ser admitida nas propostas de ações reguladoras que, em última análise, configurarão o modo de fazer ciência e a produção tecnológica que impactará na configuração dos ambientes econômico, natural, político e social. A aplicação do princípio da precaução robustece a ideia da ciência reguladora, fortalecendo a inclusão popular mediante mecanismos de transparência e controle social, apontando para uma prática científica que além de reguladora recebe *status* de precaucionária.

A ciência precaucionária

Resgatando as diferenças que distinguem a ciência acadêmica da ciência reguladora, se observa que esta última mais interessa à direção apontada pelo princípio da precaução. Por sua vez, o princípio da precaução, além de consagrado como princípio jurídico, é também uma evidência da aplicação da prática interdisciplinar na visão de ciência reguladora, já que tem origem no direito ambiental, uma ciência dotada de autonomia científica, sendo, porém, aplicado por outras ciências.

Esta aplicação tem sido chamada de ciência precaucionária, termo aqui adotado como empregado por Nodari (2011) para diferenciar a análise de risco, baseada na *sound science* (expressão aplicada por Raffensperger e Tikckner, 1999, à ciência como

prática científica acadêmica), da ciência baseada no que neste trabalho se reconhece como ciência reguladora, manifesta também na aplicação do princípio da precaução.

A ciência praticada hoje, denominada de “sound science” é baseada no que se pode quantificar sem considerar o que não se conhece ou o que não se pode medir. Na ciência precaucionária, haverá a necessidade de comparação entre diferentes alternativas. A diferença fundamental entre análise de risco baseado em “sound science” e o princípio da precaução não é que um usa ciência e o outro não, mas simplesmente a maneira pela qual a evidência científica é empregada para a tomada de decisão (NODARI, 2007, p.22).

O quadro 7, a seguir, importado de Nodari (2005), compara os atributos da *sound science* com os da ciência precaucionária.

Quadro 7 - Ciência Precaucionária comparada à *Sound science*.

ATRIBUTOS	SOUND SCIENCE	CIÊNCIA PRECAUCIONÁRIA
Autoridade da ciência e cientistas	- Separação da ciência da sociologia - Somente sistema <i>Peer Review</i> - Consenso e fechada	- Multidisciplinar - <i>Peer review</i> , inclusive - Solução cooperativa - Diálogo - aberta
Definição de dano	- Medida direta de poucas Variáveis	- Degradação de sistemas biológicos, ecológicos e sociais
Pontos de referência	- Tempo molecular ou Organismal - Homem	- Tempo ecológico, evolutivo ou multigeração - Natureza - Todas as espécies
Erro e ônus da prova	- Tipo I minimizado - Tipo II maximizado (poucos falsos positivos) - Ônus para o público - Explicação causa/efeito	- Tipo II minimizado (pouco falsos negativos) - Ônus da prova ao proponente da atividade - Explicação: padrão e Associação
Incerteza	- Falta de dados ou Extraciência	- Indeterminação

Fonte: Adaptado de Nodari (2005)

A ciência reguladora, impelida pela formulação de políticas públicas, pauta-se por requisitos legais, atendendo a prazos e sofrendo revisão constante de métodos cuja eficiência é medida pela evidência, agregando valor à prática científica. Confere credibilidade e maior interação com os que percebem a ciência do ponto de vista das questões que afetam o ambiente natural e social.

A ciência precaucionária, por sua vez, é regida pelos componentes básicos do princípio da precaução. A incerteza é considerada na avaliação de risco; ao autor da inovação cabe a prova quanto à inexistência de riscos; quando da análise, uma quantidade significativa de alternativas ao produto ou processo devem ser comparadas;

e, na essência da decisão precaucionária deve estar a participação democrática, a transparência e a participação dos interessados (NODARI, 2005).

O quadro 8, a seguir, apresenta uma proposta de relacionar as contribuições da ciência precaucionária com a abordagem da ciência reguladora, se valendo de parte das contribuições trazidas por Raffensperger e Tikckner (1999) e Jasanoff (1995), respectivamente.

Quadro 8 - Ciência Precaucionária comparada à Ciência Reguladora.

	Ciência Reguladora	Ciência Precaucionária
Natureza da composição	- Interdisciplinar (ação compartilhada)	- Multidisciplinar (ação cooperada)
Autores	- Entidades governamentais e privadas	- Ação governamental após consulta a interessados
Prazos	- Prazos regulamentados, pressões institucionais (tempo técnico)	- Tempo técnico e indeterminado (o suficiente para a análise)
Controle	- Instituições legisladoras - Tribunais - Meios de comunicação	- Controle pelas partes interessadas - Transparência
Definição de danos	- Riscos tecnológicos (sociais, políticos e ecológicos)	- Degradação de sistemas biológicos, ecológicos e sociais
Incertezas	- Fator de ameaças - Potencial de dano	- Indeterminação considerada na avaliação e tomada de decisão.
Busca por soluções	- Aceitar e rechaçar evidências	- Comparação entre diferentes alternativas
Utilização das informações geradas	- Orientar políticas públicas - Regular tecnologias	- Orientar a ação governamental - Análise de riscos

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Jasanoff (1995) e Nodari (2005)

A virtude da conjugação dos modelos das práticas científicas denominadas de reguladora e precaucionária é a de ampliar a contextualização do emprego da evidência científica, especificamente ao lidar com os riscos tecnológicos, sinalizando uma ciência mais participativa, considerando, sobretudo, fatores de imprecisão quanto a danos imprevisíveis e irreversíveis.

Alguns pontos de intercessão desta conjugação são observados. O modelo de ação cooperada, com a inclusão de diferentes saberes de áreas variadas; a presença do ator governamental que detém o papel regulador legitimado pela sociedade que participa através da representação dos cidadãos organizados em grupos, associações e outros; ajuste do tempo técnico ao tempo político, principalmente ao considerar os interesses numa análise mais detalhada em função dos riscos; a ação de controle é ampliada, principalmente pelos fatores precaucionários, que ampliam a base de consulta; aumento da relação de sistemas que podem sofrer danos, com atenção inclusive aos ecológico e biológico; potencialização do conceito de incertezas que recebe particular colaboração

das dimensões do princípio da precaução, sobretudo no tratamento das evidências científicas; maior participação social no compartilhamento, tratamento de informações e do conhecimento, de forma integrada e transparente, que, finalmente, cumpre a finalidade de orientar políticas que visam evitar ou reduzir os riscos.

Até aqui foram consideradas as contribuições que a conjugação dos aspectos reguladores e precaucionários na prática científica conferem à análise e gestão dos riscos tecnológicos na sociedade tecnocientífica. Importa considerar ainda os desafios e as possibilidades advindos da inserção da temática na área de Educação em Ciência e Tecnologia (C&T).

Admissão da regulação e precaução nos conteúdos de ensino em C&T

O Relatório Mundial da UNESCO, de 2005, intitulado Rumo às Sociedades do Conhecimento (BINDÉ, 2007) trata do tema em questão em alguns pontos do longo texto. Quando se refere à necessidade de refletir sobre a boa governança de ciências e tecnologias, assim se expressa:

A humanidade interroga-se cada vez mais sobre sua capacidade de controlar suas próprias criações. A ciência [e a tecnologia] confronta-nos com questões completamente novas que, com frequência, deixam as autoridades tradicionais (quer sejam governamentais, científicas, religiosas, comunitárias ou cívicas) sem conseguir compreender o significado ou a direção destas transformações e suas consequências éticas e sociais. Esta incerteza explica, incontestavelmente, uma parte das dúvidas expressas pela opinião pública a respeito da ciência [e da tecnologia], tais como as consequências que os seus avanços poderão ter no ambiente e no futuro da nossa espécie. Tal desconfiança é um fenômeno relativamente recente. Durante um longo período de tempo, a ciência [e a tecnologia] foi muito respeitada e considerada como algo de realmente positivo, suscitando muitas vezes uma fascinação quase religiosa (BINDÉ, 2007, p. 206) [inclusões nossas].

O mesmo documento retoma o tema para abordá-lo pela ótica do princípio da precaução, após enumerar a importância do esclarecimento da sociedade sobre os conhecimentos e práticas que podem colocá-la em risco. Agora o vincula ao conhecimento *sobre, da e para* a ciência e a tecnologia. Essas observações permitirão algumas reflexões sobre a dificuldade a mais que o Princípio da Precaução apresenta para os educadores em C&T.

O princípio da precaução baseia-se no fato de que os riscos são *riscos potenciais*. O conhecimento desses riscos pode igualmente ser chamado de “conhecimento” ou de “ignorância”. (...) O princípio da precaução deve, na verdade, incitar à intensificação da investigação, aprofundando-lhe o conhecimento ou explorando-lhe vias alternativas. Nesta perspectiva, este princípio é tudo menos um princípio de abstenção ou de preguiça intelectual e moral. É uma novidade para a ciência [e a tecnologia], porque a sociedade pode participar nos seus negócios. Mas, inversamente, a noção é também

igualmente nova para a comunidade dos que tomam decisões que não poderá poupar-se a uma iniciação, mesmo que básica, às ciências e tecnologias (BINDÉ, 2007, p. 236) [inclusões nossas].

Logo, trazer para a discussão a necessidade de se incluir o princípio da precaução nas reflexões dos cidadãos em uma sociedade tecnocientífica é dizer, explicitamente, que, além de fortalecer a ideia da alfabetização científica e tecnológica (ACT) para o tempo presente, é necessário passar a considerar a ACT para o tempo futuro.

Surgem, pois, algumas indagações sobre temas indispensáveis na área de ensino de ciência e de tecnologia, mas que estão longe de convergência. A própria ACT possui grupos com interpretações distintas sobre seus *objetivos, escopos, alcance e resultados*. O ensino de (CTS/NdC) idem. A fim de apresentar a necessidade de incluir o tema da ciência precaucionária na pauta de nossas discussões na área e as variáveis que interferem na preparação dos cidadãos nesta perspectiva, podemos usar como fonte o conhecido debate entre Acevedo *et al.*(2005) e Praia *et al.*, (2007).

No que se refere à NdC/CTS é possível apontar a divergência sobre a formação do cidadão visando à decisão social em torno de temas sociotécnicos de impacto social. Alguns autores como Fensham (2002a, 2002b), Jenkins (1999) e Shamos (1995) questionam, desde antes, “a conveniência e inclusive a possibilidade da generalidade dos cidadãos e cidadãs adquirirem uma formação científica realmente útil para, entre outros objetivos, participar na tomada de decisões” (PRAIA *et al.*, 2007). Por outro lado, outros autores advogam que a NdC/CTS é capaz de contribuir para que o cidadão bem informado contribua nas decisões sociais. Dentre este grupo, onde nos posicionamos, estão Bybee (1997) e Bell e Lederman (2003) que

não questionam o papel da NdC [CTS] na educação científica e, em particular, na tomada de decisões e que, pelo contrário, uma adequada alfabetização exige, precisamente, a imersão dos estudantes numa cultura científica. Uma imersão que deve ir mais além da aquisição de ‘pontos de vista sobre a NdC [CTS] (PRAIA *et al.*, 2007, p.146).

Dentre as muitas dificuldades listadas por Acevedo *et al.* (2005) no ensino da NdC/CTS ressalta-se a divergência entre os próprios especialistas sobre o que ensinar, conforme escrevem:

Por outro lado, também se tem apontado como dificuldade importante para estabelecer que conteúdos de NdC se devem ensinar, o fato de que os próprios filósofos e sociólogos da ciência têm grandes desacordos sobre os princípios básicos desta (Alters, 1997; Vázquez *et al.*, 2001), devido ao caráter dialético e controverso das questões postas em jogo e também da maior tendência destes profissionais para a polêmica (ACEVEDO *et al.*, 2005, p. 2)

Neste ponto, já assumindo a importância da NdC/CTS, Acevedo *et al.* (2005) listam diversos grupos e pesquisa que buscam demonstrar o quanto as crenças de professores, de alunos e de cidadãos interferem de forma importante na tomada de decisão em temas sociotécnicos. Posto isso, agrega-se mais uma variável no amplo leque de dificuldades no ensino de NdC ou CTS. Além das questões *devemos ensinar?* e *o que ensinar?*, surge outra de diferente ordem: decidido que vamos ensinar NdC/CTS e escolhido o que ensinar, enfrentamos o fato de que o que ensinamos, ensinamos conforme percebemos ou acreditamos.

Visto isso, não se deve esperar facilidades se houver o desejo de incluir o Princípio da Precaução no rol dos orientadores das discussões de NdC/CTS. O fato é que há dificuldade de encontrar convergência no que está em torno da visão do presente e, por isso, não se deve esperar que seja fácil trabalhar conteúdos e posturas atuais com os olhos voltados para o futuro.

Neste sentido, um dos pontos de atenção no processo de educação em C&T é inserir informação como insumo para decisão no contexto da sociedade tecnocientífica. Sugerimos, então, que a inclusão de temáticas envolvendo ciência e tecnologia nos currículos escolares contribuirá no desenvolvimento de uma postura de criticidade no educando.

A proposta é considerar o potencial dos riscos inerentes ao desenvolvimento científico (precaução) e o papel da sociedade em contribuir no desenvolvimento de políticas que permeiem a prática científica (regulação). No contexto da formação em C&T a proposta busca consonância com as principais diretrizes nacionais de educação para os diferentes níveis da formação escolar.

Para o Ensino Fundamental a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) no inciso II do Artigo 32 apresenta uma correlação entre a compreensão do ambiente natural e social. Para isto consideramos haver oportunidades de interligação entre as ciências naturais e humanas pela introdução dos educandos quanto ao seu papel na participação social e no desenvolvimento científico, evocando, ainda que preliminarmente, uma abordagem que considere os riscos à sociedade e ao ambiente. O Inciso III preconiza a formação de atitudes e valores, para o que corrobora a abordagem de que o cidadão e a sociedade são entes ativos, capazes de intervirem na geração de demandas que visem reduzir o impacto do desenvolvimento tecnicocientífico.

Para o Ensino Médio, a LDB no Inciso III do artigo 35 estabelece como diretriz que os estudantes desenvolvam uma postura crítica e autônoma de pensamento. A inserção

dos temas da regulação e precaução nos currículos desta etapa amplia a capacidade de reflexão do educando quanto à necessidade de interferência política no processo científico. Permite ainda, conforme aduz o inciso IV, o fortalecimento da captação da relação entre teoria e prática científica, visando principalmente à consideração da prática científica como um método aliado à resolução de problemas sociais.

Para o Ensino Superior optamos por considerar a formação de três tipos de profissionais cujo perfil mais interessa ao escopo deste trabalho: o biólogo, o físico e o químico, apresentando sucintamente as virtudes da inclusão da abordagem reguladora e precaucionária da ciência nos currículos dessas graduações.

A consideração dos aspectos reguladores da ciência no currículo do graduando em Biologia fomenta a proposição de políticas públicas e a participação no desenvolvimento da realidade social. Os aspectos precaucionários, por sua vez, conjugam esforços pela conservação da biodiversidade, na aplicação dos conceitos de biossegurança e na gestão ambiental.

A inclusão dos temas da regulação e precaução nos currículos dos futuros físicos tem potencial de aprimorar a visão de que a ciência não é isolada, mas parte do amplo contexto social, possuindo relações com diferentes segmentos, principalmente Governo e sociedade.

A adoção dos aspectos reguladores e precaucionários nos currículos de química é aliada da construção do conceito de que a ciência interage com o entorno social, sendo por este influenciada e influenciando na medida em que suas práticas pautam-se pelas demandas sociais e pela consideração dos riscos subjacentes ao seu desenvolvimento.

O cenário apresentado para os três níveis de formação (fundamental, médio e superior) buscar prover condições ao educando no desenvolvimento de uma postura crítica de participação social, alijando da sua formação o conceito de que os conhecimentos científicos estão dissociados do contexto social.

Adicionalmente, frente à necessidade de indicar possibilidades de execução do que propomos, podemos lembrar aspectos a serem considerados por professores sensíveis a esta abordagem nos procedimentos de ensino que levam a cabo no exercício da docência, conforme preconizam Praia *et al.*, (2007), cuja síntese é:

articulação dos conhecimentos construídos com outros já conhecidos, considerando a sua contribuição para a construção de corpos coerentes de conhecimentos que se vão ampliando e modificando, com especial atenção para o estabelecimento de pontes entre distintos domínios científicos, porque representam pontos altos de desenvolvimento científico e, por vezes, autênticas revoluções científicas; construção e aperfeiçoamento dos produtos

tecnológicos que se procuravam ou que são concebidos como resultado das investigações realizadas, o que contribui para acabar com tratamentos excessivamente escolares e reforçar, então, o interesse pela tarefa; apresentação de novos problemas... Tudo isso se converte em oportunidades de uso repetido dos novos conhecimentos numa variedade de situações, contribuindo para o seu aprofundamento e realçando, em particular, as relações Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), que marcam o desenvolvimento científico, com destaque para as repercussões de todo o tipo de conhecimentos científicos e tecnológicos (desde a contribuição da ciência e da técnica para o desenvolvimento da humanidade até aos graves problemas que hipotecam o seu futuro), permitindo a preparação para a cidadania na tomada de decisões [...].

Devemos, ainda, insistir na necessidade de dirigir todo este tratamento para mostrar o caráter de corpo coerente que tem toda a ciência [e tecnologia], valorizando, para isso, as atividades de síntese (esquemas, memórias, revisões, mapas conceptuais...) e a elaboração de produtos, capazes de acabar com planos excessivamente escolares, de reforçar o interesse pela tarefa e de mostrar a estreita ligação ciência–tecnologia [e seus impactos no longo prazo] (PRAIA *et al.*, 2007, p.151-152) [inclusões nossas].

Considerações finais

A sociedade é protagonista do seu desenvolvimento, cujo avanço depende em grande medida do emprego da ciência e tecnologia. Da relação ciência-tecnologia-sociedade resulta a configuração social e depende a conexão do conhecimento humano com a transformação do seu entorno.

A perspectiva da contextualização social aspira superar as visões manipuladas da ciência e da tecnologia unindo-as à sociedade para promover a participação cidadã nas decisões sobre as controvérsias relacionadas a ambas. Essa inclusão é imperativa no contexto dos riscos tecnológicos, cujos efeitos são percebidos nas esferas social, econômica e ambiental, sendo provocados predominantemente por decisões técnicas, administrativas e políticas, apontando a um novo modelo de análise e gestão de riscos.

Os riscos tecnológicos estão presentes na sociedade tecnocientífica, pois nem sempre as evidências científicas oferecem plenas respostas ou certezas quanto aos seus efeitos. Como julgamentos estão presentes no processo de análise de riscos do desenvolvimento tecnocientífico, se evidencia a utilidade do dispositivo trazido pela precaução que uma vez admitido no processo de diagnóstico do risco visa à sua redução ou eliminação.

Busca-se conhecer o risco a fim de evitá-lo. A análise de risco é predominantemente uma decisão política, cujo modelo de gestão precisa valer-se da ciência como promotora de informações para administração dos efeitos percebidos pela sociedade. Não se discute, contudo, que a ciência deva recomendar as políticas, mas sim que por esta seja considerada enquanto promotora de inovação e conhecimento,

restando estabelecida uma reciprocidade efetiva entre ambas, tendo como principal beneficiário a sociedade.

Neste sentido, o princípio da precaução não tem caráter obstaculizador à ciência e tecnologia. Visa então evitar que práticas com potencial de dano sejam realizadas, mantendo em vista desdobramentos éticos, sociais, ambientais e econômicos nas decisões políticas.

A contribuição da regulação se dá via promoção de análises detalhadas e amplas quanto às práticas científicas descontextualizadas. A prática mais próxima do que se requer a consideração de uma ciência denominada reguladora, é a motivação de decisões e a gestão de incertezas em um contexto de riscos tecnológicos. O objetivo é inscrever a sociedade no tratamento dos problemas por esta percebidos, fomentando a disseminação do conhecimento científico e de informações relativas à extensão dos efeitos potenciais adversos, diminuindo assim a distância entre a visão leiga e a dos especialistas quanto à percepção dos riscos.

A ciência denominada precaucionária, por sua vez, representa uma prática científica que toma a incerteza como medida no redimensionamento do tratamento das evidências e dos seus efeitos na tomada de decisão, considerando especialmente as partes interessadas na busca por soluções pela comparação de alternativas. Promove assim singular empoderamento popular na medida em que permite a comparação entre opções de novas tecnologias, propondo uma análise inclusiva que privilegia as dimensões social, ecológica e ética.

A abordagem conjugada dos dois modelos de ciência ou de práticas científicas (reguladora e precaucionária), como destacado no quadro 8, ressalta perspectivas similares e complementares, culminando em um modelo contextualizado de gerir as incertezas. Sugere uma análise mais transparente, contextualizada, inclusiva e socialmente efetiva, em intensidade e extensão, quanto aos riscos e potencialidades de danos provenientes do desenvolvimento tecnocientífico.

À área de Educação em Ciência e Tecnologia, que vem defendendo a ideia de ciência e tecnologia construídas socialmente, se recomenda considerar a necessidade de fortalecer a formação cidadã e incluir nas suas reflexões, que iluminam práticas e pesquisas, o fato de que à sociedade tecnocientífica é inerente o risco tecnocientífico. Oportunizar a aprendizagem da participação social em temas de ciência e tecnologia de impacto social, inclusive na admissão da temática nos currículos escolares, é necessário para que a visão de longo prazo ofereça um cenário promissor.

Referências

- AIBAR, E. La participación del público em las decisiones científico-tecnológicas. In Eduard Aibar y Miguel Ángel Quintanilla (ed.) *Ciencia, tecnología y sociedad*. Madrid: Editorial Trotta; Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2012.
- AIKENHEAD, G. Educación ciencia-tecnología-sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. *Educación Química*, Cidade do México, v. 16, n. 2, p. 304-315, 2005.
- BAZZO, W. A.; LISINGEN, I. V. e PEREIRA, L. T. V. *Introdução aos Estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)*. Cadernos de Ibero América. OEI – Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura. Espanha: Madrid, 2003.
- BECK, U. *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. Tradução Sebastião Nascimento. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011.
- BIJKER, W. E. *La vulnerabilidad de La cultura tecnológica*. In REDES, vol. 14, n.27, Buenos Aires, mayo 2008, p. 117-140
- BINDÉ, J. (org.) *Rumo às sociedades do conhecimento*. Lisboa: Instituto Piaget, 2007.
- BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996.
- BYBEE, R. *Towards an understanding of scientific*. In: GRAEBER, W.; BOLTE, C. (Eds.). *Scientific literacy*. Kiel: IPN, 1997. p. 37–68.
- COIMBRA, C. H. de M. *Princípio da Precaução: a relação entre a tecnologia e a sociedade*. Monografia (Lato Sensu). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. 2012.
- COMTE-SPONVILLE, A. *O Capitalismo é Moral?* São Paulo: Martins Fontes, 2005. 224 p.
- DAGNINO, R.; DIAS, R. *A Política de C&T Brasileira: três alternativas de explicação e orientação*. *Revista Brasileira de Inovação*, Rio de Janeiro: julho/dezembro 2007, p.373-403.
- DRUCKER, P. *A Sociedade Pós-capitalista*. São Paulo: Thomson Pioneira, 1996.
- DYSON, Freeman. *Can science be ethical?* In: *The New York Review of Books*, XLIV/6, 1997. p. 46-49.
- EGRI, C. P.; PINFIELD, L. T. *As organizações e a biosfera: ecologia e meio ambiente*. In: CLEGG, Stewart R.; HARDY, Cynthia; NORD, Walter R. (Orgs.) *Handbook de estudos organizacionais*. São Paulo: Atlas, v.1, p.361-397, 2012.

ECHEVERRIA, J. *Los Señores del aire: Telépolis y el Tercer Entorno*. Barcelona: ediciones Destino, 1999.

ECHEVERRIA, J. *La Revolución Tecnocientífica*. Madrid: Fondo del Cultura Economica de España, 2003. EGRI, C. P.; PINFIELD, L. T. As organizações e a biosfera: ecologia e meio ambiente. In: CLEGG, Stewart R.; HARDY, Cynthia; NORD, Walter R. (Orgs.) *Handbook de estudos organizacionais*. São Paulo: Atlas, v.1, p.361-397, 2012.

FEENBERG, A. *Between reason and experience – Essays in Technology and Modernity*. Massachusetts Institute Tecnology, 2010.

FEENBERG, A. “O que é a filosofia da tecnologia?” In: NEDER, R.T. Andrew Feenberg: racionalização democrática, poder e tecnologia. Brasília: Observatório do Movimento pela Tecnologia Social na América Latina/Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS, 2010, p. 39-51.

FEENBERG, A. *Teoría crítica de la tecnología*. Revista CTS, Buenos Aires, v. 2, n. 5, p. 109-123, 2005.

FENSHAM, P. J. *Time to change drivers for scientific literacy*. Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, Toronto, v. 2, n. 1, p. 9–24, 2002a.

FENSHAM, P. J. *De nouveaux guides pour l’alphabétisation scientifique*. Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, Toronto, v. 2, n. 2, p. 133–149, 2002b.

FERNANDES, L.O. *Contaminação química: complexidade, vulnerabilidades, incertezas e o papel da ciência e dos saberes locais*. Anais do VI Congresso Português de Sociologia: Mundos Sociais, saberes e práticas, Universidade Nova de Lisboa, 25 a 28 de Junho, 2008.

FERREIRA, M.L.A. *A engenharia e a educação em engenharia no Brasil da colonização ao século XXI: a construção e os desafios de consolidação do sistema nacional de inovação*. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Tecnologia, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, junho, 2010.

GARCÍA PALACIOS, E.M. *et al. Introdução aos estudos CTS (Ciência, tecnologia e sociedade)*. Madrid: Organização de Estados Ibero-Americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura (OEI), 2003. 435 p.

GIDDENS, A. *A transformação da intimidade*. São Paulo: Ed. Unesp, 1994.

GUIVANT, J. S. *A governança dos riscos e os desafios para a redefinição da arena pública no Brasil*. In: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Ciência, Tecnologia e Sociedade*. Brasília: CGEE, 2005, pp. 47-85.

GUIVANT, J. S.. *A teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck: entre o diagnóstico e a profecia*. Estudos Sociedade e Agricultura, 16, abril 2001: 95-112

GUIVANT, J. S.. *A trajetória das análises de risco: da periferia ao centro da teoria social*. Revista Brasileira de Informação Bibliográfica em Ciências Sociais, v. 46, p. 3-38, 1998.

HAMMERSCHMIDT, D. *O risco na sociedade contemporânea e o princípio da precaução no direito ambiental*. Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos, v. 23, n. 45, p. 97-122, 2010.

HUGHES, T.P. *La evolución de los grandes sistemas tecnológicos*. In: THOMAS, H; BUCH, A. Actos, actores y artefactos - Sociología de la Tecnología. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes, 2008, p. 101-146.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

JASANOFF, S. *Science and public reason*. Taylor & Francis USA, 2013.

JASANOFF, S. *Making order: law and science in action*. In: Hackett, Edward J. *et al.* (Ed.). *The handbook of science and technology studies*. Cambridge, MA: MIT Press. p.761-786. 2008.

JASANOFF, S. *Bridging the two culture of risk analysis*. Risk Analysis, v. 13 n. 2, p. 123-129, 1993.

JASANOFF, S. *Procedural choices in regulatory science*. Technology in society, v. 17, n. 3, p. 279-293, 1995.

JENKINS, E. W. *School science, citizenship and the public understanding of science*. International Journal of Science Education, London, v. 21, n. 7, p. 703–710, 1999.

JESUS, C.S.;CHRISPINO, A.; SOUZA, C.G. *As compras públicas sustentáveis e o princípio da precaução: uma abordagem teórica*. Anais X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Resende, Rio de Janeiro: 2013.

JONAS, H. *O princípio responsabilidade – Ensaio de uma ética para a civilização tecnológica*. Rio de Janeiro: Contraponto; Editora PUC-Rio de Janeiro, 2011.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 3.ed. São Paulo: Perspectiva, 1992.

LACEY, H. *Há alternativas ao uso dos transgênicos?* Novos Estudos - CEBRAP, São Paulo, n.78, 2007, pp. 31-39.

LACEY, H. *O princípio de precaução e a autonomia da ciência*. Scientia e studia. vol.4, n.3. 2006. pp. 373-392.

LACEY, H. *Values and objectivity in science. Current Controversy About Transgenic Crops*. Lanham: Lexington Books, 2005.

LATOUR, B. *Políticas da natureza – Como fazer ciência na democracia*. Baurú (SP) EDUSC, 2004.

LATOUR, B; WOOLGAR, S. *A vida de laboratório - A produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997. 310 p.

LOPEZ CERREZO, J. A. *Ciência, Tecnologia e Sociedade: O estado da Arte na Europa e nos Estados Unidos*. In: SANTOS, L. W. [et al]. (organizadores). *Ciência, Tecnologia e Sociedade: o desafio da interação*. Londrina: IAPAR, 2002, pp.11-46

LUJÁN, J.L.; ECHEVERRIA, J. (editores) *Gobernar los riesgos: Ciencia y valores en la sociedad del riesgo*. Madrid: Biblioteca Nueva; OEI, 2004.

MACHADO, P. A. L. *O princípio da precaução e a avaliação dos riscos*. Revista dos Tribunais, São Paulo, v. 856, ano 96, pp. 35-50, fev. 2007.

MITCHAN, C. *En Busca de una Nueva Relación entre Ciencia, Tecnología y Sociedad*. In: MEDINA, M; SANMARTÍN, J. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Barcelona: Editorial Anthropos, 1990, p. 11-19.

MUMFORD, L. *Arte & Técnica*. Lisboa: Edições 70, 2001 [1952].

MUMFORD, L. *Technics & Civilization*. Chicago: The University of Chicago Press, 2010 [1934].

NODARI, R. O. *Ciência precaucionária como alternativa ao reducionismo científico aplicado à biologia molecular*. In: Zanoni, M.; Ferment, G.. (Org.). *Transgênicos para quem? Agricultura, ciência e sociedade*. 1ed. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2011, v. , p. 39-62.

NODARI, R. O. *Biossegurança, transgênicos e risco ambiental: os desafios da nova Lei de Biossegurança*. In: Jose Rubens Morato Leite e Paulo Roney Avila Fagundes. (Org.). *Biossegurança e novas tecnologias na sociedade de risco: aspectos jurídicos, técnicos e sociais*. São Jose, SC: Conceito Editorial, 2007, v. I, p. 17-44.

NODARI, R. O. *Pertinência da ciência precaucionária na identificação dos riscos associados aos produtos das novas tecnologias*. 2005. Disponível em: <http://www.ghente.org/etica/principio_da_precaucao.pdf> Acesso em: 10 out. 2013.

ORTEGA Y GASSET, J. *Meditacion de la Tecnica*. Madrid: Santillana Ediciones, 1997.

OSORIO, C. *La participación pública en sistemas tecnológicos: Lecciones para la educación CTS*. Rev. iberoam. cienc. tecnol. soc., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, v. 2, n. 6, dic. 2005. Disponível em <<http://www.scielo.org.ar/pdf/cts/v2n6/v2n6a09.pdf>>. Acessado em: 02 set. 2014.

ESTEVE PARDO, J. *El desconcierto del leviatán*. Política y derecho ante las incertidumbres de la ciencia. Madrid: Ed. Marcia Pons, 2009.

PINCH, T.J; BIJKER, W.E. *La construcción social de hechos y artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente*. In: THOMAS, H; BUCH, A. *Actos, actores y artefactos - Sociología de la Tecnología*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes, 2008, p. 19-62.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D; VILCHES, A. *O Papel da Natureza da Ciência na Educação para a Cidadania*. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

RAFFENSPERGER, C.; TIKCKNER, J. *Protecting public health & the environment: implementing the precautionary principle*. Washington: Island Press, 1999, 385p.

SABATO, J.A. (Comp.) *El pensamiento latino-americano em la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2011.

SHAMOS, M. *The myth of scientific literacy*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1995.

TEZANOS TORTAJADA, J. e LÓPEZ PELÁEZ, A. (Editores). *Ciencia, Tecnología e Sociedad*. Madrid: Editorial Sistema, 1997.

THORNTON, Joe, *Pandora's poison: chlorine, health and a new environmental strategy*, Cambridge, MIT Press, 2000.

VARELLA, M. D.; PLATIAU, A. F. B. (org.). *Princípio da Precaução*. Belo Horizonte: Del Rey, 2004.

VARSAVSKY, O. *Estilos tecnológicos - propuestas para la seleccion de tecnologías bajo racionalidade socialista*. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2013.

CARLOS SILVA DE JESUS. É Mestrando em Tecnologia no PPTEC/CEFET-RJ. Tem especialização em Gestão Pública e graduação em Ciências Contábeis pela UCP. Atualmente ocupa o cargo de Contador na UnED Petrópolis do CEFET/RJ.

BRUNO STEFONI BÖCK. É Mestrando em Tecnologia no PPTEC/CEFET-RJ. Tem especialização em Engenharia de Produção e graduação em Administração pelo CEFET/RJ. Atualmente ocupa o cargo de Administrador na Universidade Federal Fluminense.

ÁLVARO CHRISPINO. É Doutor em Educação pela UFRJ. Professor dos Programas de Pós-graduação do CEFET/RJ.

Recebido: 06 de março de 2014

Revisado: 04 de setembro de 2014

Revisado: 02 de outubro de 2014

Aceito: 10 de outubro de 2014