

Teoria da complexidade e pensamento complexo na prática da construção do conhecimento científico: 10 lições para produção e ensino em ciências



<https://doi.org/10.56238/futuroeducpesqtrans-040>

Luiz Carlos Aires de Macêdo

Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia
Doutor – UFERSA - Universidade Federal Rural do
Semi-Árido
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4340-2002>

Rosana Karla Aires de Macêdo

Especialista em Análises Clínicas
Mestre – UFRN - Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
E-mail: rosanaaires_@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta um pequeno recorte da vasta obra do francês Edgar Morin sobre a concepção de uma nova forma de produzir e ensinar ciência a partir de sua Teoria da Complexidade e do Pensamento Complexo, na qual este autor é um dos mais influentes, e outras ideias associada diretamente a estes conceitos. Através de uma revisão bibliográfica de obras consagradas deste autor, sem a pretensão de esgotar ou apresentar de forma profunda as teorias e ideias do Morin, este texto busca sintetizar lições que podem ser aplicadas na prática da produção do conhecimento científico e do ensino em ciência voltado aos dias de hoje.

Palavras-chave: Ensino de ciência e Tecnologia, Complexidade, Pensamento Complexo.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do século XX, diversos autores falam sobre uma crise na ciência e apontam os porquês dessa crise, dentre eles, Santos (1989) cita: Bachelard, Kunh e Feyerabend, trazendo duras críticas epistemológicas a ciência e apresentando os ruídos nas grandes teorias científicas. Chalmers e Fiker (2003) também trazem críticas a forma de como se produz o conhecimento científico, método científico e a comunidade científica. De fato, podemos dizer que a ciência é dinâmica e evolutiva, com novos conhecimentos sendo agregados aos antigos e outros surgindo em cima de teorias já consolidadas a cada novo dia.

Se de um lado temos uma crise no modelo da produção do conhecimento científico, do outro temos a questão do ensino de ciência, que como disciplina, que passa a ser obrigatória em nosso país a partir de meados do século XX¹ e ganha importância na medida em que a tecnologia, como fruto do conhecimento científico, passa a fazer parte da sociedade. Como resultado direto do uso intenso da

¹ O ensino de ciências no século XX, inicialmente, se dava através da transmissão de conhecimento, Behaviorista, e no pós-guerra e na guerra fria, passa a ser estratégico, mudando para uma ciência que envolvesse teoria e prática, tendendo ao Construtivismo, sendo estratégico para uma nação incentivar a formação do cientista (CHASSOT, 2004). Em outra mão, a ciência e a tecnologia impulsionava a economia e havia uma forte crença em um modelo linear onde mais ciência geraria mais tecnologia, mais economia e melhor bem estar social, na qual não se concretizou dessa forma linear (AULER; DELIZOCOV, 2006).



ciência e da tecnologia pela sociedade temos diversas crises socioambientais, o que levou a um questionamento sobre a aplicação da ciência e a necessidade de uma sociedade mais preparada para entender as complexas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Dessa questão, podemos resumir, grosso modo², que o ensino de ciências também evolui através de diversas reformulações no currículo de ensino (KRASILCHICK, 1992) na qual o ensino de ciência evolui da perspectiva de ensino da teórica para o uso das teorias no dia a dia dos alunos (FOUREZ, 1995) conectada para uma formação que possibilite a discursão de ciência e tecnologia na sociedade (AULER, 2003).

Inegável a importância da ciência para a nossa sociedade atual e a resignificação do ensino de ciências no tempo. Corroborando com o que foi dito acima, temos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ministério da Educação (BRASIL, 2017) apontamentos que levam, dentre os vários, para um ensino de ciências capaz de fornecer a compreensão do conhecimento científico para o enfrentamento das questões ambientais, tecnológicas, sociais, econômicas, políticas, humanista, dentre outras que afligem nossa sociedade nos dias atuais.

Tanto na questão epistemológica da ciência, a produção do saber, na questão do ensino e nas dimensões da aplicação do conhecimento científico no contexto social atual são preocupações discutidas pelo francês Edgar Morin (1921 ~) em suas diversas obras. Morin pode ser categorizado como um pensador pós-moderno, filósofo, sociólogo, epistemólogo, antropólogo dentre outras denominações, autor da série de livros denominados de “O Método”, na qual apresenta uma nova forma de produzir o conhecimento científico, e diversas outras obras que tratam da forma de ensinar ciência e atender as novas exigências³ do saber científico para o enfrentamento dos problemas socioambientais atuais.

Tomando por base a obra de Edgar Morin, este trabalho tem como objetivo apresentar alguns dos conceitos discutidos em obras do autor e extrair deles reflexões que podem ser trabalhadas na prática do ensino de ciência e na produção do conhecimento científico, tais como: textos científicos, trabalho de conclusão de curso⁴, artigos, dentre outros, que também poderão ser aplicadas no ensino de ciência⁵. Sem a pretensão de aprofundar muito em cada tópico e buscando a superação da concepção puramente ideológica dos conceitos trabalhados pelo autor, trazendo dicas de aplicações práticas, este trabalho segue discutindo inicialmente sobre a Teoria da Complexidade e a tríade de conceitos principais que embasam essa teoria: Teoria Sistêmica, Teoria da Cibernética e Teoria da Informação; após, apresentamos o Pensamento Complexo e ideias importantes ligadas a este pensamento: a

² Sobre as perspectivas do ensino de ciências e práticas de ensino sugiro as obras de Teixeira (2003), Cachapuz et al (2005), Santos (2007) e Macedo (2020, p.91-105).

³ É possível encontrar elementos do pensamento de Morin na BNCC assim como nas Diretrizes curriculares Nacionais para o ensino de ciência e tecnologias, conforme apresentado em Macedo (2020).

⁴ Assunto trabalhado com maior profundidade prática em Macêdo, Neves e Mello (2020).

⁵ Corroboro aqui com a ideia de Moraes (1996) na qual a forma de como o conhecimento científico é produzido, as vezes, também é ensinado. Usamos esse entendimento ao propor reflexões que servem tanto para a criação de conhecimento quanto para o ensino.



subjetividade e a superação da ciência como verdade. Ao final dos principais tópicos, apresentamos dicas práticas para serem usadas na construção do saber científico e no ensino de ciências.

1.1 TEORIA DA COMPLEXIDADE

A teoria da complexidade do Morin nasce da reflexão sobre o método de simplificação proposto por Descartes e bastante adotado na forma de produção do conhecimento científico, na qual este conhecimento é apresentado de forma especialista, fragmentada e disciplinar. Ora, ao isolar um objeto para estudo, retirando-o do seu ambiente e produzir conhecimento, método científico, estaremos produzindo um saber fragmentado, desconectado com a realidade. A própria ciência reconhece essa falha na produção do conhecimento quando propõe disciplinas como Ecologia, Cosmologia e as Ciências da Terra que trabalham um objeto ou fenômeno de forma sistêmica e em interações com o ambiente (MORIN, 2005).

Mas então, o que seria a complexidade?

“[...] a um primeiro olhar, a complexidade é um tecido (*complexus*: o que é tecido junto) de constituintes heterogêneas inseparavelmente associadas: ela coloca o paradoxo do uno ao múltiplo. Num segundo momento, a complexidade é efetivamente o tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações, acasos que constituem nosso mundo fenomênico” (MORIN, 2011, p.13).

Dessa forma, podemos entender a complexidade como uma proposta de obtermos um conhecimento mais próximo da realidade, não reducionista e especialista, mas uma busca de ir além do conhecimento científico especialista, englobando as relações do objeto com as partes que o constituem e com o ambiente na qual este está inserido. Essa forma de obter o conhecimento está sustentada em teorias da própria ciência, em sua essência, a base da complexidade é tríade das Teorias: Sistêmica, Cibernética e Informação.

1.2 TEORIA SISTÊMICA: TUDO É SISTEMA

Se temos que um átomo é a partícula elementar da física e dele deriva tudo que conhecemos podemos pensar de modo que tal átomo é algo simples, fechado em si, elemento base da construção de tudo que existe. Porém, para Morin o átomo, elemento básico da física, não é algo simples, fechado, acabado e sim um sistema:

Ora, este sistema, o átomo, constituindo a verdadeira textura do que é universo físico, gás, líquidos, sólidos, moléculas, astros, seres vivos, mostra que o universo é fundamentado não em uma unidade indivisível, mas em um sistema complexo (MORIN, 2005, p.127).

A partir desse novo entendimento é possível pressupor que tudo que conhecemos é sistema. Dessa forma, sistema passa a ser um conceito complexo por natureza e base de toda epistemologia na



qual “os objetos dão lugar aos sistemas. Em vez de essências e de substâncias, a organização; em vez das unidades simples e elementares, as unidades complexas; em vez dos agregados formando corpos, os sistemas” (MORIN, 2005, p.156).

Essa nova forma de entender os objetos choca diretamente sobre o conhecimento científico especialista, focado apenas na descrição de um objeto e fenômeno, e, não descarta essa forma especialista de conhece, reducionista unitária, mas nos fornece nova perspectiva na qual o conhecimento sobre algo deve abranger este como um sistema composto de partes interagindo consigo mesmo e com o meio na qual está inserido, visão holística na qual também considera a visão especialista. Para Morin (2005) o todo é maior e menor que a soma das partes, uma vez que um objeto ou fenômeno estudado é formado por partes, podem ter características suprimidas e, ao se unirem para formar o todo, podem ter características emergentes.

1.3 TEORIA DA CIBERNÉTICA: SISTEMAS COMO MÁQUINAS

A Teoria da Cibernética trabalha a questão do autômato, uma máquina com características organizacionais e finalidade na qual confere um estado de organização. “a finalidade é uma casualidade interior que se destaca de maneira cada vez mais precisa, ativa, dominante ali onde há informação/programa para comandar as performances e as produções” (MORIN, 2005, p.317).

A máquina, também é considerada como um sistema, formada por partes com características suprimidas e emergentes que funcionam com uma determinada finalidade, produzem algo. Máquinas artificiais, construídas pelo homem, possuem uma finalidade específica definida, planejada antes de sua construção. Já as máquinas naturais, Morin vai considerar como máquinas naturais tudo construído pela natureza física, não possuem um propósito planejado, uma finalidade específica (MORIN, 2005).

1.4 TEORIA DA INFORMAÇÃO: TUDO SE COMUNICA

Internamente em uma máquina natural ou artificial as partes devem trocar informações e são as informações que regulam o funcionamento desta, mantendo sua organização. Nós, seres vivos, dependemos de trocas com nosso ambiente e o ambiente pode nos condicionar a comportamentos necessários, na qual o meio interfere na máquina, a informação que obtemos do ambiente, muda nosso funcionamento/comportamento. A teoria da Informação vai trabalhar aspectos da comunicação de uma máquina com o meio.

Dessa forma, a máquina organizada está em contato com o meio e este fornece elementos para a manutenção da autonomia da máquina. Na prática, todo objeto e fenômeno estudado deve ser estudado, também, em suas interações com o meio na qual este está inserido, sendo a informação do meio a responsável pela ordem na organização da máquina (MORIN, 2005).



1.5 SABER TUDO SOBRE TUDO

Essa forma proposta pela Teoria da Complexidade de obter informações e conhecer um objeto e/ou fenômeno diferente da forma tradicional, especialista que a ciência nos traz, pode gerar um problema que Morin (2005) cita como saber enciclopédico, uma barreira na qual é impossível saber tudo sobre tudo.

Uma vez que tudo é sistema, sistema composto por sistemas, estes organizados em forma de máquina que se comunica com o meio e outras máquinas, trocando informações do menor nível organizacional do sistema (podemos considerar a partir do átomo) ao universo compreensível, com infinitas possibilidades de interações. Isso nos levaria a necessidade de saber tudo sobre tudo, gerando a impossibilidade do saber.

É possível e necessário delimitar o escopo do objeto/fenômeno estudado a partir da ligação de conceitos em camadas do saber e interações, criando uma espécie de espiral do conhecimento, sem tirar o objeto de estudo do centro deste espiral, tecendo as interações e evoluindo no conhecimento (MORIN, 2005).

Podemos compreender na Complexidade do Morin uma quebra no saber especialista, fragmentado, tão presente ainda nos dias de hoje para um novo modelo de saber: sistêmico, interdisciplinar e transdisciplinar.

Dessa tríade podemos trazer lições como:

- 1) Entender o objeto de estudo como um sistema, formado por partes e/ou outros sistemas e tentar descreve-los;
- 2) Todo sistema tem uma funcionalidade a cumprir que emerge de sua formação, descrever a função/propósito/funcionalidade do objeto de estudo no local em que este habita e se relacional. Lembramos que o propósito pode mudar de acordo com o local onde este está inserido ou será inserido;
- 3) Partir de um conhecimento científico disciplinar em determinada área já entendido sobre o objeto de estudo, buscar as relações em outras fontes do conhecimento, outras disciplinas da ciência, buscando ligar o conhecimento disperso, criando dimensões do saber para objeto e/ou fenômeno estudado;
- 4) Contextualizar o saber que está sendo trabalhado em níveis de suas relações, podendo ser as relações deste saber a nível local, seu ambiente, a nível regional e global, mostrando os impactos das inter-relações possíveis do saber, pois “o conhecimento da informação ou dos dados isolados é insuficiente. É preciso situar as informações e os dados em seu contexto para que adquiram sentido” (MORIN, 2000, p.36).



1.6 PENSAMENTO COMPLEXO

Um paradigma pode ser compreendido como um determinado entendimento aceito por uma comunidade de cientista, uma forma de entendimento que se instala na mente como uma verdade (VASCONCELLOS, 2012). Um paradigma pode reger os pensamentos de uma pessoa e determinar a “verdade” de uma informação de acordo com tal paradigma, de modo que “os indivíduos conhecem, pensam e age conforme os paradigmas neles inscritos culturalmente” (MORIN, 2005b, p.261). Morin *et al.* (2003, p.55-56) apresenta a necessidade de se pensar a complexidade como um paradigma e o caracteriza como:

- “1) Um pensamento dinâmico que se recria a cada momento, no caminho;
- 2) O pensamento que confronta com a simplificação, absorvendo-o, buscando uma dialógica, recursividade, hologramaticidade, holoscópia como princípios pertinentes;
- 3) O pensamento que reconhece a imprecisão do saber;
- 4) Um pensamento que nunca é completo, pois é um pensamento articulante e multidimensional, articula os conhecimentos disciplinares. Reconhece que a totalidade de um saber é impossível de se alcançar, e uma totalidade não representaria a verdade. É um pensamento que diferencia, mas não isola. Um conhecimento que nunca termina;
- 5) Reconhecer a ignorância e os erros do conhecimento, extingue falsas clarezas e caminha entre a escuridão e a incerteza no processo de conhecimento, onde o “reaprender a aprender com a plena consciência de que todo conhecimento traz em si mesmo e de forma ineliminável a marca da incerteza;
- 6) O pensamento complexo não despreza o simples e sim a une com a complexidade; um jogo duplo entre o simplificar/complexificar.”

Nessa perspectiva, a complexidade como um paradigma nos remete a um pensamento dinâmico, aberto, que reconhece o saber da ciência, reconhecendo também sua incompletude e busca associa-lo a diversas dimensões, camadas de saberes, sem ignorar os erros e a incerteza. O pensamento complexo pode ser considerado como um método para trabalharmos a produção do saber com complexidade.

Então temos que o paradigma da complexidade nos leva a uma nova forma de aprender e também de produzir conhecimento.

Além das lições acima já pautadas por Morin, podemos trazer que:

- 5) Aprender não é apenas sobre adquirir um novo conhecimento, mas também é sobre saber como se adquire o saber (MORIN, 2008). Dessa forma, é preciso aprender a aprender. O Pensamento Complexo é uma forma de aprender a aprender e pode ser usado tanto na produção do conhecimento quanto no ensino de ciência, quando esta for inter ou trans disciplinar.

1.7 A SUBJETIVIDADE: A QUESTÃO DO “EU”

A ciência tende a ser objetiva e o conhecimento científico busca ser isento do sujeito através do método científico, a objetividade da ciência. Para Morin, não é possível ter o conhecimento separado do sujeito que o constrói e isso é válido tanto para a produção do conhecimento quanto para o entendimento.



[...] Nós sabemos há mais de meio século que nem a observação da microfísica nem a observação da cosmo-física podem ser dissociadas de seu observador. Os maiores progressos das ciências contemporâneas são obtidos quando o observador é reintegrado a observação (MORIN, 2005, p.23).

Um novo saber, criado ou a ser entendido, depende do sujeito que está manipulando esse saber, criando ou absorvendo uma informação, e este será tão rico em detalhes ou absorção de acordo com a capacidade do sujeito de entender, analisar, o objeto a ser conhecido. Nada de diferente do proposto na corrente de ensino construtivista.

Porém, Morin em sua complexidade busca inserir o sujeito e suas percepções no conhecimento complexo, indo contra a ciência puramente objetiva e inserindo a subjetividade também no conhecimento e a capacidade de aprendizagem. “[...] o problema da complexidade não é o da completude, mas sim o da incompletude do conhecimento” (MORIN, 2008, p.176).

Disso, podemos extrair as lições:

- 6) Quanto mais conhecimentos sobre um assunto o sujeito tiver, melhor ele vai entender e melhor conseguirá criar conhecimento e ou relacionar/contextualizar o conhecimento trabalhado com outras camadas do saber;
- 7) A percepção subjetiva do sujeito importa na forma de como o saber foi produzido e entendido. Levar em consideração “o” ou “os” sujeitos que construíram o conhecimento sobre algo;
- 8) Se todo saber é humano e evoluiu no tempo, incorporar ao objeto/ fenômeno a ser conhecido ou explicado as perspectivas históricas, culturais e sociais deste saber;

1.8 A SUPERAÇÃO DA CIÊNCIA COMO VERDADE

[...] a ciência deve parte de sua alta estima ao fato de ser vista como a religião moderna, desempenhando um papel similar ao que desempenhou o cristianismo na Europa em eras antigas. É sugerido que a escolha entre teorias se reduz a opções determinadas por valores subjetivos e desejos dos indivíduos (CHALMERS; FIKER, 1993, p.20).

É comum termos o pensamento científico como o conhecimento verdadeiro, ignorando outros conhecimentos da humanidade. Essa visão vem do reconhecimento da ciência pelo conjunto de conhecimento historicamente acumulado, por seus métodos e técnicas de produção de conhecimento, reconhecimento das aplicações do saber e produtos científicos, um conhecimento que pode ser posto a prova (CHIBENI, 2004).

Diante disso, a verdade da ciência é imposta e justificada pela comunidade científica que as proferem como uma fé, uma crença, e ignoram que a ciência é uma forma de conhecimento dentre as outras, respeitando as características de cada forma de saber. Morin (1999), que não acredita na verdade



de nenhum tipo de saber, destaca que a busca da verdade pelo conhecimento científico é uma busca humana por segurança do saber, uma certeza no saber, mas isso não significa a “verdade”.

Morin (2000) aponta que devemos superar a questão da verdade do conhecimento científico e nos posicionarmos acima das escolhas da verdade, superando as alternativas, por um pensamento integrador, que pode acolher novos conceitos e ideias na construção do saber.

Disso, extraímos:

9) A criatividade com base em um conhecimento sólido pode ser desejado na busca de um saber. Isso pode ser útil na construção de teorias⁶ e *insights* que levem a superação de um conhecimento estabelecido. Lembrando que as maiores descobertas da ciência no século XX (relatividade e física quântica) não vieram a partir do método científico, mas sim da criatividade de seus proponentes (CHALMERS; FIKER, 1993);

10) Todo saber imposto pode e deve ser questionado, a final, até a ciência tem como base a superação de paradigmas estabelecidos a parti da desconfiança no saber questionado, o saber é modificado ou reconstruído (KUHN, 1997).

2 CONCLUSÃO

Este texto apresentou 10 lições extraídas dos conceitos do Morin que podem ser usados como práticas na construção, ensino de ciências e mudanças na forma de pensar o saber. Tais lições estão alinhadas ao ensino desejado nos documentos oficiais que regem o ensino de ciência em nosso país assim como um método que pode ser também aplicado na construção do conhecimento.

Não devemos entender que o conhecimento científico posto nos dias de hoje deve ser ignorado. Não, pelo contrário, devemos entender como um conhecimento essencial e importante para nosso tempo, reconhecer suas limitações quando este se apresentar de forma isolada, em disciplinas fechadas, e buscar trabalhar o saber de forma inter e trans disciplinar, religando o conhecimento disperso em disciplinas, na busca de novos entendimentos, assim como criar um saber mais condizente com o real, complexo.

A obra de Morin é vasta e aqui foi trabalhado apenas um pequeno recorte de sua produção literária, sugerimos ao leitor as ler as obras aqui referenciadas assim como outras obras deste autor. Os ensinamentos de Morin tendem ao humanismo, a valorização do homem, da natureza e suas interligações pautadas e entendidas pelo saber científico ético.

⁶ Aqui, temos de ter muito cuidado para não tentarmos fazer ciência com opinião e sim com a própria ciência.



REFERÊNCIAS

- AULER, Décio. Alfabetização científico-tecnológica: um novo "paradigma"? Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v.5, n.1, p.1-16, 2003.
- AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê?. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v.3, n.2, p.122-134, 2001.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Terceira versão revista. Brasília: MEC, 2017. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf> acesso em Set/2023.
- CACHAPUZ, Antonio; et al. A necessária renovação do ensino das ciências. São Paulo: Cortez, 2005.
- CHALMERS, Alan Francis; FIKER, Raul. O que é ciência afinal?. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CHASSOT, Áttico Inacio. Ensino de ciência no começo da segunda metade do século da tecnologia. In: Currículo de ciências em debate. Campinas: Papirus, 2004b. p.13-44.
- CHIBENI, Silvio Seno. O que é ciência. Campinas: Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Unicamp, 2004.
- FOUREZ, Gerard. A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Ed. UNESP, 1995.
- KRASILCHIK, Myriam. Caminhos do ensino de ciência no Brasil. Em Aberto, v.11, n.55, 1992.
- KUHN, Thomas S. A estrutura das revoluções científicas. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1997.
- MACÊDO, Luiz Carlos Aires de. Pressupostos da Complexidade no Ensino de Ciência e Tecnologia: Um estudo de caso no curso de bacharelado em ciência e tecnologia. 367 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.
- MACÊDO, Luiz Carlos Aires; NEVES, Marcos Cesar Danhoni; MELLO, Débora Amaral Taveira. Contribuições da complexidade de Morin aplicadas a escrita de trabalhos acadêmicos. Revista Thema, v.17, n.2, p.380-391, 2020.
- MORIN, Edgar. Os sete saberes necessários à educação do futuro. São Paulo: Cortez, 2000.
- MORIN, Edgar; et al. Educar para a era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem no erro e na incerteza humana. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2003.
- MORIN, Edgar. O Método I: a natureza da natureza. 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2005a.
- MORIN, Edgar. O Método IV: as idéias habitat, vida, costumes, organização. 4. ed. Porto Alegre: Sulina, 2005b.
- MORIN, Edgar. Ciência com consciência. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.
- MORIN, Edgar. Introdução ao pensamento complexo. 4. ed. Porto Alegre: Sulina, 2011.
- SANTOS, Boaventura de Sousa. Introdução a uma ciência pós-moderna. Rio de Janeiro: Graal, 1989.



SANTOS, Wildson Luiz Pereira. Contextualização no ensino de ciência por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. *Ciência & Ensino*, v.1, n. esp., 2007.

TEIXEIRA, Paulo Marcelo M. A educação científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-crítica e do movimento CTS no ensino de ciências. *Ciência & Educação*, v.9, n.2, p.177-190, 2003.

VASCONCELLOS, Maria José Esteves. *Pensamento sistêmico: o novo paradigma da ciência*. 9. ed. Campinas: Papirus, 2012.