

TRANSDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

MÔNICA DA SILVA GALLON
SABRINA ISIS BRUGNAROTTO DOPICO
JOÃO BERNARDES DA ROCHA FILHO
ORGANIZADORES



TRANSDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DAS CIÊNCIAS



Reitora

Carmen Lúcia de Lima Helfer

Vice-Reitor

Eltor Breunig

Pró-Reitor de Graduação

Elenor José Schneider

Pró-Reitora de Pesquisa

e Pós-Graduação

Andréia Rosane de Moura Valim

Pró-Reitor de Administração

Dorivaldo Brites de Oliveira

Pró-Reitor de Planejamento

e Desenvolvimento Institucional

Marcelino Hoppe

Pró-Reitor de Extensão

e Relações Comunitárias

Angelo Hoff

EDITORA DA UNISC

Editora

Helga Haas

COMISSÃO EDITORIAL

Helga Haas - Presidente

Andréia Rosane de Moura Valim

Felipe Gustsack

Hugo Thamir Rodrigues

Marcus Vinicius Castro Witczak

Olgário Paulo Vogt

Rafael Eisinger Guimarães

Vanderlei Becker Ribeiro



Avenida Independência, 2293

Fones: (51) 3717-7461 e 3717-7462

96815-900 - Santa Cruz do Sul - RS

E-mail: editora@unisc.br - www.unisc.br/edunisc

Mônica da Silva Gallon
Sabrina Isis Brugnarotto Dopico
João Bernardes da Rocha Filho
(Organizadores)

TRANSDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

Santa Cruz do Sul
EDUNISC
2017

© *Copyright*: dos autores
1ª edição 2017

Direitos reservados desta edição:
Universidade de Santa Cruz do Sul

Editoração: Clarice Agnes, Caroline Fagundes Pieczarka
Arte da capa: Denis Ricardo Puhl (Assessoria de Comunicação e Marketing da UNISC)

T772 Transdisciplinaridade no ensino das ciências / organizadores : Mônica da Silva
Gallon, Sabrina Isis Brugnarotto Dopico, João Bernardes da Rocha Filho. 1. ed.
- Santa Cruz do Sul : EDUNISC, 2017.

Dados eletrônicos

Texto eletrônico.

Modo de acesso: World Wide Web: <www.unisc.br/edunisc>

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-7578-457-0

1. Ciências – Estudo e ensino. 2. Professores de ciências. 3. Teoria do conhecimento
I. Gallon, Mônica da Silva. II. Dopico, Sabrina Isis Brugnarotto. III. Rocha Filho, João
Bernardes da.

CDD: 372.8507

Catálogo: Bibliotecária Edi Focking CRB10/1197

METADISCIPLINARIDADE E TRANSDISCIPLINARIDADE NA PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

*Giselle Watanabe*¹

Universidade Federal do ABC
gisellewatanabe@gmail.com

*João Batista Siqueira Harres*²

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
joao.harres@pucrs.br

Introdução

Esse capítulo se propõe a apresentar alguns aspectos da metadisciplinaridade, noção fortemente apoiada na complexidade, como uma perspectiva enriquecedora para a educação e cujas implicações parecem ser complementares àquelas apontadas pela transdisciplinaridade, tal como referência às ideias de Rocha Filho, Basso e Borges (2007), apresentadas na obra “Transdisciplinaridade: a natureza íntima da Educação Científica”. Para a discussão da metadisciplinaridade tomamos como referência as ideias do professor José Eduardo García Diaz, da Universidade de Sevilha (US), a qual tem sido investigada, aplicada e desenvolvida em escolas e na formação docente pela rede espanhola de professores inovadores Investigación y Renovación Escolar (IRES)³ (GARCÍA PÉREZ; PORLÁN, 2000).

As ideias que orientam o trabalho dessa rede surgiram no final dos anos 80 do século passado, a partir de um grupo de professores da Escola de Magistério da US que, em interação com professores das escolas da região, promoviam encontros regulares para discussão e reflexão sobre as práticas escolares e a busca da

1 Licenciada em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Doutora e Mestre em Ensino de Ciências, modalidade Física, pelo Programa Interunidades (IFUSP/ FEUSP) da Universidade de São Paulo. Pós-doutora pelo departamento de Departamento Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales da Universidad de Sevilla. Atualmente, é professora efetiva da Universidade Federal do ABC. Linhas de pesquisa: Ensino-aprendizagem em Ciências e Formação de Professores de Ciências. Investiga elementos da Abordagem Temática, Educação Ambiental, Complexidade e Física do não equilíbrio para o tratamento da questão socioambiental.

2 Bacharel em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Educação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1990). Doutorado em Educação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Pós-doutorado na Universidade de Sevilha. Atualmente, é professor adjunto da Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, onde atua como professor permanente no Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática. Atua principalmente no ensino de Física e na formação inicial e continuada de professores em toda a área de ciências. Suas pesquisas se concentram no ensino, na aprendizagem de ciências e no desenvolvimento profissional de professores e suas interrelações com a epistemologia, a história da ciência, a cultura e a educação científica. Exerce ainda a função de Coordenador de Ensino da Diretoria de Graduação da PUCRS.

3 <http://www.redires.net>



inovação. Isso levou à criação do Grupo Investigación en la Escuela (1991) e, mais tarde, em 1991, à estruturação do projeto IRES (GARCÍA et al., 1991). A ampliação desse grupo para outras regiões da Espanha levou, no ano 2000, à criação da Rede IRES (PORLÁN; FLORES; ARIAS, 2001).

Nessa caminhada, muitos integrantes desenvolveram pesquisas na sala de aula (escolar ou universitária) direcionando seus estudos para a discussão e ampliação dos pressupostos que fundamentam o projeto curricular IRES. Os integrantes dessa rede produziram inúmeros materiais que foram alcançando repercussão dentro e fora da Espanha, especialmente nos países da América Latina. Nesse sentido, se destacam a revista lançada pelo grupo em 1987 *Investigación en la Escuela*, com oitenta e quatro números impressos e vários livros publicados pela Editora Díada (criada pelo grupo), dos quais podemos citar: Porlán (1993), Cañal et al. (1997), Porlán e Rivero (1998), García (1998; 2004a), Porlán, Flores e Arias (2001).

O projeto IRES adota uma visão complexa da realidade e dos conhecimentos escolares, bem como uma visão evolutiva dos conhecimentos dos professores e dos alunos. A partir desses pressupostos foi sendo desenvolvido um modelo didático de referência denominado Modelo Didático de Investigación en la Escuela (CAÑAL; PORLÁN, 1988; GARCÍA; GARCÍA PÉREZ, 1989; GARCÍA; PORLÁN, 1990; PORLÁN 1993; CAÑAL et al., 1997; GARCÍA, 1999; GARCÍA PEREZ, 2010), o qual poderia ser caracterizado como:

Uma espécie de teoria-prática com um status epistemológico que não coincide nem com as teorias científicas (que contribuem com informações relevantes para a educação) nem com as concepções habituais dos professores a respeito; tampouco é uma filosofia educativa, em uma ideologia. É uma teoria da prática para prática escolar, que tenta superar a rígida separação epistemológica entre ciência, ideologia e cotidiano. (GARCÍA; PORLÁN, 2000, p. 35).

É nesse contexto que surgem as ideias aqui discutidas, em especial os conceitos metadisciplinares. Estes conceitos já apareciam como resultado das discussões e pesquisas coletivas no grupo e das próprias reflexões, na tese de doutorado do professor García (GARCÍA, 1995) e foram sendo ampliadas e aprofundadas nas suas publicações seguintes. Nesse trabalho temos como principal referência a obra “Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares” (GARCÍA, 1998)⁴. Essencialmente, a metadisciplinaridade propõe uma perspectiva de ensino na qual o principal objetivo é promover a transição desde um pensamento simples até uma visão mais complexa e crítica da realidade. Nessa perspectiva, o foco central do ensino translada-se desde os conteúdos científicos, tomados em geral

⁴ No Brasil, até o momento, temos conhecimento de três publicações em autoria ou coautoria do prof. Eduardo García (GARCÍA, 1997; GARCÍA; PORLÁN, 2000; GARCÍA et al., 2010).



como única referência para a determinação do conhecimento escolar, em direção à ênfase nas ideias dos alunos sobre o seu cotidiano e sua relação com as questões socioambientais relevantes e contemporâneas, proporcionando elementos para que os indivíduos possam se posicionar, especialmente em situações de risco, tal como defende Beck (2010).

Aspectos da transdisciplinaridade

Na obra de Rocha Filho, Basso e Borges (2007), a transdisciplinaridade se situa em um status que vai além das dimensões epistemológica, psicológica, didática, política, etc., já bastante discutidas isoladamente. A partir de uma tessitura na qual muitas relações são estabelecidas, os autores apresentam a essência da transdisciplinaridade que, assim, alcança o âmago da educação, tal como enfatiza o subtítulo da obra. Nesse processo, vai sendo construída uma visão que não isola o aluno, as pessoas, a sociedade, a vida e até o que a ela transcende. Pelo contrário, a articulação entre estas diferentes perspectivas da realidade apresenta uma estrutura bastante coerente e coesa para a posterior elaboração de propostas educacionais. Como consequência, a lógica disciplinar é invertida, isto é, parte-se das questões relevantes da vida naturalmente de cunho transdisciplinar, para as disciplinas, ao contrário do que tradicionalmente se propõe para os currículos. Assim, podem ser vislumbradas alternativas para uma efetiva mudança nas escolas, rompendo com a tendência em disciplinar/especializar o ensino. Essa questão também é discutida por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), pautando-se em uma perspectiva freireana.

Ainda na direção oposta à disciplinaridade, a qual “[...] inscreve-se num único nível de realidade, restringindo sobremaneira o campo de possibilidades de ação”, a transdisciplinariedade envolve uma atitude vinculada à complexidade, isto é, “[...] à disposição e à capacidade de posicionar-se ativamente perante os diversos níveis da realidade” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 36). Assim, a noção de transdisciplinariedade toma por base as ideias de D’Ambrosio (1997, p. 9, apud ROCHA FILHO et al., 2007, p. 35 e 36) a qual “Repousa sobre uma atitude aberta, de respeito mútuo e humildade em relação a mitos, religiões, sistemas de explicação e conhecimento, rejeitando qualquer tipo de arrogância e prepotência”. Ela é defendida como uma “[...] alternativa epistemológica à compartimentalização do saber, representando atitudes diferentes em níveis diferentes da realidade”.

Para os autores, a transdisciplinariedade se diferenciaria da multidisciplinaridade ou pluridisciplinaridade e da interdisciplinaridade. A multidisciplinaridade envolve a focalização da atenção de várias disciplinas sobre o objeto de estudo de uma única disciplina, simultaneamente. Já a interdisciplinaridade consiste na transferência de métodos de uma disciplina para outra. Porém, a transdisciplinaridade envolve a superação da fase interdisciplinar, adotada quando os especialistas, no âmbito da



pesquisa, e dos professores inovadores, no âmbito da educação, tomam consciência das limitações das abordagens especializadas. Essa superação exige a eliminação das barreiras e hierarquias entre os conhecimentos. Citando Weil (1993, p. 140), o autor defende que o especialista deve se abrir o todo que o envolve e à dialogicidade com outras formas de conhecimento. E isso, associando essa atitude como o caminho natural da educação é necessário à sobrevivência da espécie humana já que ela “[...] repousa sobre o exame, na íntegra, do processo de geração, organização intelectual, organização social e difusão do conhecimento” (D’AMBROSIO, 1997, p. 15). Assim, a transdisciplinaridade envolveria os espaços entre as disciplinas, consubstanciando as relações entre elas e ultrapassando-as com o objetivo de “construir um conhecimento integral, unificado e significativo” (D’AMBROSIO, 1997, p. 36). Como se discute adiante, essa posição parece ser complementar à perspectiva da metadisciplinaridade.

Aprofundando a atitude da transdisciplinaridade para além da complexidade, aspecto que mais interessa nesse trabalho, os autores apontam ainda as íntimas relações dessa atitude com a ética, a individuação⁵, as emoções, a comunicação, a espiritualidade, o tempo⁶ e a psique. As reflexões apresentadas permitem compreender, de forma original e frutífera, desde um ponto de vista muito mais abrangente e complexo, conceitos tão corriqueiros no Ensino de Ciências, como é o caso, por exemplo, do conceito de energia. Tal abordagem relaciona ainda estes e outros conceitos com a nossa psique. Cabe frisar que os argumentos que fundamentam toda essa perspectiva, estão apoiados em evidências obtidas a partir de uma longa caminhada desenvolvida muito próxima da realidade escolar.

Rocha Filho et al. (2007) concluem afirmando que a transdisciplinaridade

[...] é o caminho por onde se pode educar para a reflexão valorativa dos saberes especialistas, reconstruindo seres capazes de transcender às perspectivas sectárias que bem conhecemos, e que representam o grande desafio à instauração de um mundo melhor. (ROCHA FILHO et al., 2007, p. 126).

Em outras palavras, a transdisciplinaridade na educação poderia ser o melhor caminho para superação das deficiências humanas, colaborando para constituição de um ser humano melhor, para o qual o “saber” se vincula a um “poder”, cuja ação está voltada para o bem. Assim, a transdisciplinaridade pode ser um “[...] guia efetivo em favor da paz e da redução do sofrimento” (ROCHA FILHO et al., 2007, p. 125) criando elos mentais entre os seres e reduzindo as chances de que vigorem relações distorcidas pelas fraquezas humanas.

5 No sentido da psicologia analítica.

6 No sentido psíquico.



Por isso, a transdisciplinariedade não pode prescindir do gesto. Atuando de forma interdisciplinar e pensando de forma transdisciplinar, o professor é um cuidador, sentindo-se responsável para lidar com “[...] a natureza profunda do ser” (ROCHA FILHO et al., 2007, p. 125).

A complexificação do conhecimento cotidiano

As reflexões de García (1998; 2004a) suscitam discussões acerca da natureza do conhecimento escolar, da complexificação do conhecimento, das tramas de conteúdos, dentre outros, tornando-se especialmente interessante para o nosso contexto ao abordar, segundo a perspectiva da complexidade, questões relevantes para uma mudança de postura e de pensamento dos alunos nas escolas. As suas propostas têm se mostrado enriquecedoras para implantação em sala de aula, haja vista os resultados advindos da análise de atividades conduzidas, há bastante tempo, por integrantes do IRES (DELORD, 2016).

Uma primeira aproximação às ideias de García leva-nos à função social da escola enquanto responsável por construir determinados conhecimentos, baseando-se em uma dinâmica do tipo produção-reprodução-distribuição de ideias que permeiam determinada cultura. Essa cultura, por sua vez, é influenciada por diferentes visões de mundo, o que gera distintos conflitos. García (1998) ressalta que a escola, ao ser vista pela sociedade como espaço de aprendizagem dos conceitos científicos, constrói uma hegemonia ideológica que pode promover ações castradoras, seletivas e submissas, voltadas aos interesses de uma minoria.

Desse ponto de vista, a escola passa a fazer suas escolhas curriculares baseadas na cultura escolar que está relacionada com ideais sociais hegemônicos, permeados por interesses específicos. García (2004a) salienta que o sistema educativo deve buscar uma visão de mundo capaz de promover a compreensão e a atuação dos indivíduos na sua realidade; dotá-los de recursos para exercerem a autonomia, cooperação, criatividade e liberdade; e, promover uma formação pautada na investigação do seu entorno e reflexão sobre as práticas (dos indivíduos), o que nos leva também à ideia da reflexividade de Beck (2010). Alerta ainda para a necessidade da escola de preparar gerações futuras e, para isso, é importante buscar (i) uma formação na qual esteja explícita a consideração de uma cosmovisão⁷; (ii) a integração didática contemplando as diferentes formas de conhecimento, que devem interagir e evoluir conjuntamente; e, por fim, (iii) considerar a realidade/ cotidiano dos indivíduos como elemento essencial para a construção de conhecimentos específicos e gerais.

7 A utilização do termo cosmovisão não se refere aqui a um conjunto de ideias hegemônicas e perfeitamente coerentes, mas a um conjunto de concepções, teorias, hábitos, normas e perspectivas que configuram uma determinada maneira de compreender e atuar no mundo, de entender e dar forma as suas próprias experiências e as dos outros (GARCÍA, 2004a, p. 33).



A discussão acerca da (i) cosmovisão refere-se à crise do paradigma simplificador, anunciada por Morin (2007). A opção de García (1998) volta-se à perspectiva da complexidade, que se refere a

[...] uma atitude e um método, ou seja, uma busca de articulações e interdependências entre os conhecimentos, até agora divididos e compartimentalizados. Propõe-se uma mudança na nossa forma de compreender o universo, uma reorganização do saber e uma nova maneira de dirigir as indagações sobre o mundo. Representa uma atitude aberta, antirreducionista e relativizadora, que foge do dogmatismo e do uso de receitas simplificadoras, que admite a existência de incertezas, paradoxos e contradições. Supõe uma busca por novas maneiras de formular e enfrentar os problemas, mais que novas verdades que não explicam a realidade. (GARCÍA, 1998, p. 85).

Nessa perspectiva, cabe destacar a busca pela promoção de um pensamento complexo (MORIN, 2007), que compreende um conjunto de princípios gerais (recursividade, complementaridade, visão sistêmica, entre outros) e uma série de noções metadisciplinares que atuam como categorias organizadoras do conhecimento. Isso implica na transição do pensamento simples para outro mais complexo, cujo processo visa à construção de uma perspectiva sistêmica do mundo que supere a visão aditiva e contemple uma organização voltada à resolução de problemas. Com isso, o indivíduo tem maior controle sobre a construção de seus conhecimentos, conseguindo, por exemplo, identificar suas dificuldades, revê-las, interpretá-las e modificá-las.

No que se refere à (ii) integração didática, o autor defende a hipótese da integração-enriquecimento, no qual o conhecimento escolar seria determinado pela busca da integração transformadora de diversas formas de conhecimentos, havendo uma continuidade entre os conhecimentos científico e cotidiano⁸. Essa dinâmica leva à ideia de que esses conhecimentos se comunicam de maneira a promover a interação e evolução conjunta de ambas as formas de conhecimento, podendo existir dentro de um sistema de ideias outros sistemas de ideias com diferentes graus de coerência e generalidades. Quanto ao conhecimento escolar, esse integra as outras formas de conhecimento, sendo enriquecido pelo conhecimento cotidiano, o qual apoia, desde uma perspectiva mais sistêmica, a continuidade entre as diferentes formas de conhecimento (GARCÍA, 1998, p. 30). Nesse contexto, para superar a dicotomia cotidiano-científico, o autor salienta que:

[i] Entre o conhecimento científico e o cotidiano, há formas intermediárias de conhecimento (tecnologias, saberes práticos de todo tipo etc.) e por isso seria preciso falar mais de um gradiente que de uma dicotomia. [ii] As disciplinas científicas não compartilham

8 Ver reflexões sobre os conhecimentos cotidiano, científico e escolar em García (1997) e também, mais recentemente no número 75 da revista *Investigación en la Escuela* (2011).



uma mesma epistemologia, não podem ser reduzidas umas às outras. [iii] Entre o conhecimento científico e cotidiano existe uma interação contínua, pois ambos constituem sistemas de ideias abertos. [iv] Ambas as formas de conhecimento co-evoluem, isto é, evoluem conjuntamente no tempo, graças a esta interação, o que significa que não mudam independentemente uma da outra. [v] Tanto no âmbito cotidiano como no científico, existem formas mais ou menos complexas de enfrentar os problemas, assim como problemas de complexidade muito diferentes, e por isso, os enfoques simplificadores e os problemas simples não devem ser identificados com o pensamento cotidiano. [vi] A identificação do cotidiano com um saber 'natural', estático, que funciona bem (e por isso não precisa ser mudado), pressupõe uma postura reducionista, pouco evolutiva e pouso relativizadora, à qual se contrapõe a ideia do conhecimento cotidiano como um produto mutante de uma sociedade também mutante. (GARCÍA, 1997, p. 85-86).

Quanto à seleção e organização dos conhecimentos escolares, García (1998) considera (iii) o conhecimento cotidiano como referência para as escolhas do professor. Para ele, as experiências vividas pelos alunos em seu entorno imediato, os estereótipos sociais adquiridos no contexto familiar e/ ou as ideias veiculadas pelos meios de comunicação, influenciam fortemente as crenças que vão se manifestar no processo ensino-aprendizagem. Nesse contexto, salienta que o papel da escola é provocar a reflexão, situando os problemas socioambientais no centro das escolhas dos conceitos a serem trabalhados em sala de aula. Para o autor, os problemas socioambientais se mostram escolhas interessantes porque são abertos e complexos, além de trazer à tona discussões contemporâneas e futuras que podem ser discutidas na escola, do ponto de vista social, político, econômico, cultural, científico etc. Especificamente no contexto da Educação Ambiental, García (2004b) defende que a escola deve promover a reflexão para a mudança social e a contestação da ideologia hegemônica que pretende controlar tudo. Esse processo de reflexão deve levar à mudança de um marco teórico de referência social e escolar, incorporando formas de pensamento potencialmente contra-hegemônicas, a saber, a complexidade, o construtivismo e a perspectiva ideológica crítica.

Metadisciplinaridade como referência para organizar o conhecimento escolar

Um aspecto essencial da obra de García (1998) refere-se ao conceito de conhecimento metadisciplinar, de caráter geral e descontextualizado, tido como a ferramenta para a busca da construção de um conhecimento escolar que promova uma formação para a complexidade. Para o autor, esse conhecimento deve servir para organizar os conteúdos escolares considerando-se à realidade dos alunos em contrapartida à lógica curricular baseada quase exclusivamente no conhecimento científico.



Concretamente, o conceito de conhecimento metadisciplinar pode ser uma base importante para a seleção e organização do conhecimento escolar desde outra perspectiva, isto é, quando os conhecimentos científico e cotidiano são interpretados a partir de um marco de referência mais geral. Nesse marco, ou ponto de partida, os conceitos estruturantes metadisciplinares possibilitam a construção de um modelo teórico útil para promover generalizações e aquisições parciais de novos conhecimentos. A incorporação desses pressupostos envolve a busca da transição do pensamento simples para o complexo. Nesse processo, os conceitos estruturantes metadisciplinares atuam como categorias organizadoras do conhecimento e, mais especificamente, se referem às noções de interação, sistema, diversidade, troca e reorganização permanentes.

Em termos práticos, o autor exemplifica esses conceitos a partir das experiências relatadas por professores da rede IRES que trabalharam uma proposta didática sobre Ecologia a partir das seguintes categorias: (a) a maneira como os sujeitos interpretam a organização do meio; (b) o tipo de relações causais que esses indivíduos reconhecem; e (c) a consideração que possuem sobre as trocas e causalidade.

A interação é definida como a relação entre elementos materiais em que se produz influência mútua, a qual modifica de alguma maneira a própria natureza desses objetos materiais e provoca o aparecimento de novas propriedades (GARCÍA, 1998, p. 99). Ela se relaciona com outros conceitos metadisciplinares, seja porque dá margem à criação de emergências e promove restrições ou porque incorpora a dimensão causal e a recursividade gerada no sistema em questão. A interação é responsável por fazer o elo entre os elementos, produzindo influências mútuas que modificam sua própria natureza e provocam o aparecimento de novas propriedades. Dentre elas as propriedades emergentes que estabelecem uma hierarquia de níveis de organização. A hierarquização⁹ evidencia os elementos atuantes na manutenção (ou não) do sistema, o que define a sua organização.

O conceito estruturante metadisciplinar de sistema aparece na perspectiva da complexidade assim como os objetos aparecem na perspectiva simplificadora. Os sistemas materiais são entidades reais, particulares e diversificadas que podem apresentar características comuns, como a presença de elementos inter-relacionados e a constituição de uma organização global gerada a partir das interações. Na organização de um sistema, algumas das propriedades intrínsecas dos elementos

9 Segundo García (1998, p. 108), “a existência dessa hierarquia de níveis devolve a relevância da natureza dos elementos que interagem, pois definem a organização do sistema (com os mesmos elementos pode-se organizar sistemas diferentes com interações diferentes), embora também dependa do tipo de interação e de organização da natureza dos elementos que interagem. Assim, a interação entre átomos que gera uma molécula não determina o aparecimento das mesmas propriedades emergentes que a interação entre as moléculas que constituem uma célula. [...] ainda que todas as interações compartilhem algumas propriedades que lhe dão unidade (influência mútua, causalidade circular, aparecimento de restrições e emergências, entre outros), também há que reconhecer uma grande diversidade de interações [...]”.



isolados são perdidas; no entanto, outras surgem devido à interação. Nesse contexto, a diversidade aparece como consequência do caráter dinâmico do sistema. García (1998) discute a possibilidade do trabalho a partir de um sistema capaz de impedir a dispersão de seus elementos, assegurando sua autonomia e complexidade, sendo aberto aos processos de troca e comunicação, entre outros. O que produziria os limites desse sistema, assim como a sua organização, são as interações que, por sua vez, estabelecem o equilíbrio dinâmico.

A diversidade seria responsável por englobar e integrar uns sistemas a outros. Nesse sentido, quando o sistema evolui, sucessivos níveis de organização são gerados, acarretando grande variedade de elementos. Evidentemente, a diversidade de sistemas vivos pertence a determinados níveis que, por sua vez, relacionam-se com outros níveis de organização, caracterizando a hierarquia que vai estabelecer a diversidade de sistemas concretos.

O conceito estruturante metadisciplinar de troca está relacionado com a capacidade do sistema de se abrir e fechar para sua manutenção, trocando elementos, como matéria, energia e informação, com o mundo exterior ou com outros sistemas. Segundo Morin (apud GARCÍA, 1998, p. 112-113), um sistema pode ser aberto na mesma medida em que é fechado, sendo capaz de impedir a dispersão de seus elementos componentes e delimitar uma fronteira ao seu entorno, o que leva a um processo recursivo. Essas trocas ocorrem num sistema dinâmico (no caso dos seres vivos ou dos sistemas sociais), no qual as interações podem ser fortes (quando as trocas ocorrem intrassistema) ou fracas (quando as trocas ocorrem entre sistemas).

O último conceito estruturante metadisciplinar refere-se à reorganização permanente o qual está intrinsecamente relacionado ao autocontrole e auto-organização do sistema (ou autopoiese¹⁰ que aparece como uma propriedade emergente essencial nos biosistemas e possivelmente nos sociossistemas). Os seres vivos são capazes de se reproduzirem e organizarem mediante um processo de desorganização-reorganização. Eles estão organizados de tal modo que a sua manutenção é tão mais viável quando não estão funcionando separadamente. No entanto, existe certa indeterminação em sua constituição, o que garante a adaptação dos seres vivos em um meio incerto e dinâmico. A configuração desse sistema é dada pelas trocas que ocorrem entre os elementos. Vale lembrar a importância da causalidade nos processos que envolvem os sistemas vivos. A reorganização permanente está relacionada com o princípio organizacional, que compreende a

10 Para Maturana e Varela, “[...] em um sistema autopoietico existe uma rede de processo de produção, transformação e destruição de componentes, que constituem uma organização capaz de gerar esses componentes e processos, e que define o sistema enquanto uma unidade. Ou seja, se trata de uma causalidade recursiva, na medida em que o próprio sistema cria as condições para a sua estabilidade. [...] A autopoiese, como princípio complexo, implica que não há distinção entre produtor e produto (o sistema se produz a si mesmo), nem entre estrutura e função, na medida em que a função é a própria estrutura no processo de troca” (MATURANA; VARELA, 1980, apud GARCÍA, 1998, p. 119).



homeostasis dos organismos vivos, ou seja, sua capacidade de manter um estado estacionário apesar das perturbações externas. Tais sistemas têm a propriedade de manter o equilíbrio dinâmico, um estado estacionário, mediante a renovação contínua de seus componentes e o intercâmbio de matéria e energia entre seus próprios elementos e com os outros sistemas.

Elementos organizacionais de uma proposta metadisciplinar e complexa para a sala de aula

Considerando o contexto escolar, García (1998), inspirado em Coll e Solé (1987), aponta três critérios ou perspectivas que podem contribuir para organizar o trabalho em sala de aula, a saber: critério epistemológico, que se refere ao campo do saber implicado em uma determinada matéria escolar; critério psicológico, que dá indícios sobre a ‘adequação’ dos conceitos com a estrutura cognitiva dos alunos; e o critério sociológico, que contribui para determinar os conteúdos culturais que os alunos podem incorporar para se tornarem membros ativos da sociedade¹¹.

Influenciada por esses critérios, na estruturação da proposta para a sala de aula destacam-se três elementos de organização, ou níveis de concretização da proposta, que se referem à aproximação gradual do conhecimento escolar que o professor deseja ensinar ao conhecimento escolar efetivamente tratado na sala de aula. O primeiro elemento de organização da proposta refere-se à visão de mundo que vai orientar a atividade educativa, por exemplo, a perspectiva da complexidade. Aqui a preocupação se volta aos conteúdos conceituais, procedimentos e valores que integram os conceitos científicos, os problemas socioambientais e as ideias dos alunos.

O segundo elemento de organização refere-se à intenção didática, espaço no qual ocorre a interação das ideias e onde se concretizam didaticamente as ideias, de modo que a rede de interação do sistema se traduz na elaboração, pelo professor, das tramas de conteúdos de referência e na explicitação, pelo aluno, de suas concepções em forma de mapas conceituais. A respeito das tramas de conteúdos conceituais, sugere-se relacionar e integrar os conceitos em um campo mais amplo. A integração leva à introdução da ideia de aura conceitual, a qual consiste em um conjunto de

11 Em relação ao Critério Psicológico, o autor adota a visão construtivista, destacando que a atividade do sujeito está em função de sua organização cognitiva, o que permite tanto o processamento e armazenamento da informação como o ajuste e o ‘controle’ da atividade do próprio sujeito. Também alerta que as trocas cognitivas que possibilitam o desenvolvimento são dadas pela interação do sujeito com o meio físico e social. No que se refere aos Critérios Epistemológico e Sociológico, destacam-se a importância de considerar uma determinada opção filosófica e ideológica que definem a visão de mundo presente nas intenções educativas. Isso imprime uma lógica na organização dos conteúdos, promovendo coerência nas decisões curriculares (GARCÍA, 1998, p. 139). Vale ressaltar, como já salientado, que essa visão baseia-se na perspectiva complexa que caracteriza o conhecimento como sistemas de ideias em contínua interação, reorganização e evolução.



conteúdos que mantêm relações fortes com o tópico que está sendo tratado. Tais relações se constituem por meio das hierarquizações. Assim, como os conceitos se integram em diferentes níveis de hierarquia, há a necessidade de considerar as diferentes dimensões de uma trama conceitual¹². Nota-se que a trama de conteúdos proposta pelo professor deve adotar um enfoque global e considerar a integração de diferentes áreas do conhecimento para tratar o tema em questão.

O terceiro elemento de organização da proposta refere-se à aproximação do aluno ao problema proposto, considerando tanto suas ideias sobre o tema quanto as suas dificuldades de aprendizagem. Nesse momento se define uma hipótese sequencial sobre como se constrói o conhecimento na aula que, integrando a trama proposta com os dados que se têm sobre o pensamento dos alunos, dote de uma dimensão dinâmica a organização do conhecimento escolar (GARCÍA, 1998, p. 148). Essa dimensão dinâmica refere-se a um conhecimento submetido a um processo de reorganização contínua que remete a uma evolução, submetida a um processo aberto e irreversível em que o novo é elaborado a partir do observável ou mediante alguns ajustes no sistema de ideias (assimilação, reestruturação fraca) ou por uma reorganização mais ampla (acomodação, reestruturação forte). Para o autor, analisando as ideias primeiras dos alunos é possível identificar os diferentes níveis de formulação.

Os níveis de formulação referem-se aos sucessivos estados pelos quais o pensamento de um indivíduo passa durante a evolução do seu conhecimento. Eles podem ser utilizados tanto para orientar o professor na escolha e desenvolvimento dos conteúdos, quanto para explicitar os níveis de conhecimento dos alunos. Ao definir os níveis de formulação são considerados: (i) os dados provenientes da epistemologia científica, em especial, os obstáculos que foram encontrados durante o desenvolvimento da ciência; (ii) os dados provenientes da investigação didática, considerando tanto as ideias dos alunos quanto as dificuldades de aprendizagem apresentadas; e (iii) os dados concretos, que evidenciam a evolução cognitiva de determinados alunos.

Conforme Rodriguez-Marín, Fernández-Arroyo e García (2014), os níveis de formulação determinam a organização dinâmica do conhecimento escolar que estão vinculados às hipóteses de transição¹³ do conhecimento. Tais hipóteses servem como referência para a construção do conhecimento, já que contribuem para a organização

12 Segundo Giordan e De Vecchi (1995, apud GARCÍA, 1998) existe uma dimensão horizontal, que corresponde ao conjunto de conteúdos relacionados, constituindo o campo conceitual concreto (a amplitude da trama). Também há uma dimensão vertical, na qual se estabelecem as relações entre as distintas noções consideradas, ou seja, os níveis hierárquicos.

13 No artigo Rodriguez-Marín et al (2014), García e seus colaboradores discutem a pertinência de mudar a expressão “hipótese de progressão”, usada inicialmente no livro publicado em 1998, por “hipótese de transição”. Assim, nesse texto adotamos a forma atual sugerida por eles de se referir a esta ideia.



dos conteúdos escolares. As hipóteses de transição referem-se tanto a um conteúdo concreto – construção gradual e progressiva de uma ideia – quanto a um conjunto de conteúdos que se relacionam dentro de uma trama – representação de trocas num sistema de ideias. Essas hipóteses que estão relacionadas ao conteúdo devem ser tratadas enquanto um sistema aberto e flexível, de modo que o indivíduo faça o trajeto mais adequado, promovendo a mudança do pensamento simples para o complexo configurando, portanto, aspectos de uma transição¹⁴.

Quanto à metodologia, García (1998) destaca a importância de que não seja forçada ou artificial ao tratar problemas abertos e complexos, mas que tenha potencialidade integradora capaz de incorporar os conceitos científicos e aqueles advindos do cotidiano. Isso leva à recomendação do uso da metodologia baseada na investigação do aluno¹⁵. Nessa perspectiva, a investigação do aluno não se identifica, necessariamente, com a investigação científica, mas refere-se à *investigação de situações problemas* que são os nossos problemas, das outras pessoas e grupos sociais próximos, aqueles advindos dos produtos tecnológicos, dos seres vivos e, em geral, do meio circundante.

O autor defende uma proposta didática de seguimento não linear, na qual a investigação do aluno ocorre de forma espiral, em que se combinam determinados momentos chaves que podem solucionar um problema, por meio da reformulação progressiva. Vale ressaltar que esse processo de investigação tem um caráter metacognitivo, isto é, quando os alunos delimitam o problema que vão investigar, discutem as estratégias para resolvê-lo, tomam consciência de suas próprias concepções sobre o tema, comentam e comprovam suas respostas ao problema, consideram argumentos contra e a favor, analisam os caminhos trilhados e as trocas de ideias efetivadas etc. Se o professor acompanha todo o processo, pode-se dizer que há ainda um processo de avaliação que, segundo as concepções aqui presentes, podem caracterizar a regulação da dinâmica ensino-aprendizagem.

Em consequência disso tudo, o autor conclui que a maneira como se organiza o conhecimento escolar está relacionado também com como este se constrói e, portanto, com as estratégias metodológicas e de avaliação adotadas. Concretamente,

14 Segundo García (1988, p. 151), a partir desse enfoque, o conhecimento escolar se entende como um conhecimento organizado e hierarquizado, processual e relativo, como um sistema de ideias que se reorganiza continuamente na interação com outros sistemas de ideias – relacionados a outras formas de conhecimento – e que se concretiza, curricularmente, na hipótese de progressão que se referem tanto a um conteúdo concreto (a construção gradual e progressiva de uma determinada ideia) como a um conjunto de conteúdos conectados entre si em uma trama (representação curricular de mudança na organização de um sistema de ideias). Portanto, ainda que uma hipótese de progressão possa referir-se unicamente a possível evolução de um determinado conteúdo, há de ter presente que os conteúdos só adquirem significado se considerados em relação aos outros, como nós em uma rede do saber [...].

15 Essa metodologia, também conhecida como modelo didático investigativo, já foi mencionada no início desse trabalho.



segundo García (1998, p. 204), a construção do conhecimento escolar envolve:

- a) um processo evolutivo plausível que, pautado na hipótese de transição do aluno na construção do conhecimento, supõe a passagem dos níveis de formulação de determinados conteúdos para outros e a superação de alguns possíveis obstáculos;
- b) um processo de investigação em espiral, relacionado com a hipótese anterior, que está sempre reiniciando à medida que os problemas se reformulam, surgindo novos;
- c) um programa flexível de atividades que seguem os caminhos demarcados pela investigação espiral e que garante o tratamento dos conteúdos segundo a hipótese formulada para a transição do conhecimento;
- d) um processo evolutivo amplo que ocorre na aula, relacionado à troca das ideias dos alunos e considerando os processos anteriores;
- e) um mecanismo de regulação, em outras palavras, a avaliação, que colabore com os três primeiros processos de evolução produzidos nas ideias dos alunos.

Evidentemente, isso tudo deve se refletir na complexificação das ideias dos alunos e no acompanhamento das hipóteses de transição consideradas pelo professor. Nesse sentido, cabe mencionar o trabalho Rodriguez-Marín e García (2011) como exemplo do uso dessas orientações para a organização do conhecimento formativo. Na mesma linha e no contexto brasileiro podem ser encontrados os trabalhos de Harres (2002) e Harres et al. (2003 e 2005).

Aproximações entre a transdisciplinaridade e metadisciplinaridade sob a perspectiva da complexidade no Ensino de Ciências

As reflexões presentes nesse capítulo nos conduzem à percepção de uma relação estreita entre os conceitos de metadisciplinaridade e transdisciplinaridade, na perspectiva da complexidade, que nos parece potencializadora para promover um Ensino de Ciências mais crítico e reflexivo. Uma primeira aproximação dessa relação nos leva à função da escola enquanto espaço de formação de indivíduos capazes de lidar com as transformações possíveis em uma sociedade de risco (BECK, 2010). Essa escola, do nosso ponto de vista, deve ter como um de seus princípios o incentivo à participação efetiva dos cidadãos na sociedade, de modo a compartilhar problemas e soluções que envolvam o coletivo, baseadas numa visão complexa de mundo.

Partindo do pressuposto de que a cultura escolar é influenciada por ideais sociais hegemônicos, a escola deveria promover uma formação que contemple a análise real e honesta dos problemas que a perpassa, incentivando uma atuação crítica, complexa e reflexiva. Essa atuação implica fundamentalmente na construção de uma visão de mundo complexa, pautada na perspectiva da complexidade (MORIN,



2007; PRIGOGINE; STENGERS, 1984), e tendo tanto implicações de natureza epistemológica quanto educacional e de ensino-aprendizagem. Implica em criar condições para que os indivíduos possam fomentar uma postura que não admita apenas as certezas, mas possibilidades e probabilidades. Em nosso meio, essa proposição vai ao encontro dos elementos apontados pela abordagem da Educação Ambiental Crítica, Complexa e Reflexiva (EACCR) (WATANABE; KAWAMURA, 2014; WATANABE, 2012).

A perspectiva da EACCR se conecta com o desenvolvimento de um posicionamento crítico e reflexivo, cujo objetivo é buscar uma formação mais crítica, no sentido de promover uma postura mais ativa e suficientemente embasada em outras esferas do conhecimento (social, política, econômica, cultural, científica, escolar etc.), tal como salienta García (1998) ao discutir as influências das outras formas de conhecimento; além de dar condições para que os alunos sejam capazes de lidar com questões abertas e dinâmicas, com situações de riscos e com a possibilidade de rever seu posicionamento frente as essas questões, ideia que leva à reflexividade.

Essas intencionalidades também devem buscar uma aproximação da escola à realidade na qual está inserida, tal como salienta Freire (2005); assim como dar espaço para as reflexões sobre as práticas desenvolvidas no contexto escolar. García (1998) alerta para a responsabilidade da escola de preparar as novas gerações para que possam avançar na construção de sociedades cada vez mais democráticas e solidárias. Para isso, essa escola deveria considerar a natureza transdisciplinar e metadisciplinar do conhecimento escolar, sendo fundamental incorporar uma cosmovisão complexa da realidade, dando espaço para que sejam tratadas questões do contexto social dos alunos; aspecto também defendido por Freire (2005). Essa perspectiva transdisciplinar e metadisciplinar, pautada na realidade cotidiana do aluno, propõe promover a construção de conhecimentos específicos e gerais, contrapondo-se ao ensino pautado nos conceitos e conteúdos estabelecidos à priori, tal como alerta Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002).

Das considerações anteriores, destaca-se a condição do conhecimento escolar que passa a ter sua própria natureza e, portanto, ganha status diferenciado de análise (GARCÍA, 1998). Em outras palavras, tratar o conhecimento escolar enquanto um conhecimento distinto lhe confere certa autonomia e isonomia com relação aos outros conhecimentos (cotidiano, científico, técnico, etc.), podendo fazer com que esse conhecimento deixe de estar subordinado quase que exclusivamente ao conhecimento científico, produzido pela academia, mas passe a utilizá-lo (o conhecimento científico) como referência não única para tratar situações não compreendidas nas esferas cotidiana e escolar, por exemplo. Com isso, o saber científico torna-se mais uma das referências para a estruturação do conhecimento escolar. Essa forma de lidar com o conhecimento escolar leva ao entendimento de que objetivo do ensino e da educação não é unicamente alcançar que os estudantes



aprendam a visão científica, mas promover situações de sala de aula nas quais os alunos possam ir se apropriando da linguagem científica sem romper com questões do cotidiano, complexificando sua visão de mundo.

Vale ressaltar, por outro lado, que o conhecimento cotidiano enriquece o conhecimento escolar, de forma que há a possibilidade de que um mesmo assunto seja revisitado mediante diferentes perspectivas e em distintos momentos. Além disso, no contexto da complexificação, o conhecimento científico se aplica no contexto científico, assim como o conhecimento cotidiano se aplica no contexto cotidiano. No entanto, o conhecimento escolar, além do contexto escolar pode ser aplicado no contexto cotidiano. E é nesse sentido que o conhecimento cotidiano deve ser enriquecido e complexificado. Isso tudo embasa o discurso de que o objetivo da escola não é buscar um ensino estritamente científico, mas escolar.

Por fim, salientamos que há de se considerar, na perspectiva da complexidade, que o conhecimento escolar é dinâmico e pautado pela complexificação. Isso leva à defesa de que não existe apenas uma realidade a ser alcançada (por exemplo, a linguagem científica, ou cultura elaborada), mas inúmeras, as quais se justificam e se adaptam a múltiplas situações. Diante disso, nos parece essencial pensar em um processo de seleção e organização de temas a serem tratados em sala de aula que dê liberdade ao diálogo e seja dinâmico o suficiente para construções e reconstruções. Tal como salienta Freire (2005, p. 90) “[...] Existir, humanamente, é pronunciar o mundo, é modificá-lo. O mundo pronunciado, por sua vez, se volta problematizado aos sujeitos pronunciantes, a exigir deles novo pronunciar”.

REFERÊNCIAS

BECK, U. **Sociedade de risco**. São Paulo: Editora 34, 2010.

CAÑAL, P.; PORLÁN R. Bases para un programa de investigación en torno a un modelo didáctico de tipo sistémico e investigativo. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 54-60, 1988.

CAÑAL, P.; LLEDÓ, A. I.; POZUELOS, F. J.; TRAVÉ, G. **Investigar en la escuela: elementos para una enseñanza alternativa**. Sevilla: Díada, 1997.

COLL, C.; SOLÉ, I. La importancia de los contenidos en la enseñanza. **Investigación en la Escuela**, n. 3, p. 19-27, 1987.

D'AMBROSIO, U. **Transdisciplinaridade**. São Paulo: Palas Athena, 1997.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELORD, G. C. C. **História, teoria e a análise do projeto “Investigación y Renovación Escolar”** (IRES): uma proposta para inovar no ensino de ciências.



Proposta de tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: PUCRS, 2016.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

GARCÍA PÉREZ, F. F. Un modelo didáctico alternativo para transformar la educación: el modelo de investigación en la escuela. **Scripta Nova**, n. 64, 2000. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn-64.htm>>. Acesso em: 15 de março de 2010.

GARCÍA PÉREZ, F. F.; PORLÁN, R. El proyecto IRES: Investigación y Renovación Escolar. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, n. 205, 2000. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocritqb3w-205.html>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2016.

GARCÍA, J. E. **Epistemología de la complejidad y enseñanza de la ecología**. Tese de Doutorado. Sevilha: Universidade de Sevilha, 1995.

_____. A natureza do conhecimento escolar: transição do cotidiano para o científico ou do simples para o complexo? In: RODRIGO, M. J.; ARNAY, J. (Ed.) **Conhecimento cotidiano, escolar e científico: representação e mudança**. São Paulo: Ática, 1997. pp. 75-101.

_____. **Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares**. Sevilha: Díada, 1998.

_____. Una hipótesis de progresión sobre los modelos de desarrollo en Educación Ambiental. **Investigación en la Escuela**, n. 37, 1999, p. 15-32.

_____. **Educación ambiental, constructivismo y complejidad**. Sevilha: Díada, 2004a.

_____. Los contenidos de la educación ambiental: una reflexión desde la perspectiva de la complejidad. **Investigación en la Escuela**, n. 53, p. 31-51, 2004b.

GARCÍA, J. E.; GARCÍA PÉREZ, F. F. **Aprender investigando: una propuesta metodológica basada en la investigación**. Sevilha: Díada, 1989.

GARCÍA, J. E.; PORLÁN, R. Cambio escolar y desarrollo profesional: Un enfoque basado en la investigación en la escuela. **Investigación en la Escuela**, n. 11, 1990, p. 25-37.

_____. Ensino de ciências e prática docente: uma teoria do conhecimento profissional. In: HARRES, J. B. S. (Ed.) **Ensino de ciências: teoria e prática docente**. Lajeado: Univates, 2000, p. 7-42.

GARCÍA, J. E.; GARCÍA PÉREZ, F. F.; MARTÍN, J.; LIBÂNEO, J. C. Cultura escolar e novos modelos culturais: duas realidades incompatíveis? **Educativa**, Goiânia, v. 13, n. 2, 2010, p. 215-232.



GARCÍA, J. E.; GARCÍA PÉREZ, F. F.; MARTÍN, J.; PORLÁN, R. Un proyecto de investigación y renovación escolar. **Cuadernos de Pedagogía**, Las Rozas de Madrid, n. 194, 1991, p. 34-38.

GIORDAN, A.; DE VECCHI, G. **Las orígenes del saber**. De las concepciones personales a los conceptos científicos. Sevilla: Díada, 1995.

GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA. **Proyecto curricular “Investigación y Renovación Escolar” (IRES)**. Sevilla: Díada, 1991.

HARRES, J. B. S. Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, 2002, p. 89-101.

HARRES, J.B.S.; WEBER, L.C.; PIZZATO, M.C.; HENZ, T. Uma hipótese de progressão do desenvolvimento profissional: análise de um caso na formação inicial de professores. In: **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, 2003.

HARRES, J. B. S.; PIZZATO, M. C.; SEBASTIANY, A. P.; PREDEBON, F.; FONSECA, M. C.; HENZ, T. **Laboratórios de ensino: inovação curricular na formação de professores de ciências**. v. 1. São Paulo: ESETec Editores Associados, 2005, 99p.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **Autopoiesis and cognition**. The realization of the living. Boston: Reidel, 1980.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2007.

PORLÁN, R. **Constructivismo y escuela**. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación. Sevilla: Díada, 1993.

PORLÁN, R.; RIVERO, A. **El conocimiento de los profesores**. El caso de área de ciencias. Sevilla: Díada, 1998.

PORLÁN, R.; FLORES, A.; ARIAS, M. D. **Redes de maestros**. Una alternativa para la transformación escolar. Sevilla: Díada, 2001.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança**. Brasília: Universidade de Brasília, 1984.

ROCHA FILHO, J. B.; BASSO, N. R.; BORGES M. R. R. **Transdisciplinaridade: a natureza íntima da educação científica**. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. 131p.

RODRIGUEZ-MARÍN, F.; GARCÍA, J. E. ¿Qué diferencias hay entre el conocimiento cotidiano y el conocimiento científico de docentes en formación sobre el concepto de energía? **Investigación en la Escuela**, Sevilla, n. 75, 2011, p. 63-71.

RODRIGUEZ-MARÍN, F.; FERNÁNDEZ-ARROYO, J.; GARCÍA, J. E. Las hipótesis de transición como herramienta didáctica para la educación ambiental. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, n. 32, v. 3, 2014, p. 300-318.



WATANABE, G. **Aspectos da complexidade:** contribuições da Física para a compreensão do tema ambiental. 246 p. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências – Universidade de São Paulo. São Paulo: IFUSP, 2012.

WATANABE, G.; KAWAMURA, M. R. D. Uma educação na perspectiva ambiental crítica, complexa e reflexiva. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, 2014, p. 255-264.

WEIL, P. **Rumo à nova transdisciplinaridade.** São Paulo: Summus, 2002. 304 p.

