

# **Biologia Sistêmica e Ensino de Ciências: Um novo paradigma ou neo-positivismo?**

## **Systems Biology and Science Education: A new paradigm or neopositivism?**

**Tércio Augusto Penteado Barbosa**

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática - Unicamp  
[tercioaugusto@gmail.com](mailto:tercioaugusto@gmail.com)

**Alan Dantas dos Santos Felisberto**

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática - Unicamp  
[alandantasf@gmail.com](mailto:alandantasf@gmail.com)

**Janice Magri de Melo Hespanhol**

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática - Unicamp  
[jan.magri@gmail.com](mailto:jan.magri@gmail.com)

### **Resumo**

A Biologia Sistêmica é um campo interdisciplinar da ciência que se concentra em interações complexas dentro de sistemas biológicos usando uma abordagem holística em vez da reducionista. É um campo em maturação que tem sido usado em diferentes contextos desde seu surgimento nos anos 2000. Seu principal objetivo é descobrir propriedades emergentes das células, tecidos e organismos funcionando como sistemas utilizando técnicas computacionais e experimentais, incrementando o conhecimento sobre os mecanismos necessários ao funcionamento e evolução dos seres vivos. Apesar de parecer uma mudança de paradigma, deve-se atentar aos possíveis riscos de estarmos diante de um neopositivismo, pois diversos aspectos convergem para tal caracterização. Para introduzir a competência de pensamento de sistemas no ensino de ciências deriva-se um conceito de sistemas iniciais da Teoria Geral dos Sistemas. Nessa abordagem, a sequência de ensino começa pela fase de orientação, motivando os alunos a justificar a importância de aprenderem um determinado tópico.

**Palavras-chave:** Biologia sistêmica, Sistemas biológicos, Estratégias de ensino e aprendizagem

### **Abstract**

Systems biology is an interdisciplinary field of science that focuses on complex interactions within biological systems using a holistic rather than reductionist approach. It is a field in maturation that has been used in different contexts since its emergence in the years 2000. Its main objective is to discover emerging properties of cells, tissues and organisms functioning as systems using computational and experimental techniques, increasing knowledge about the mechanisms necessary for the functioning and evolution of living beings. Although it seems to

be a paradigm shift, one must take into account the possible risks of facing a neo-positivism, since several aspects converge towards this characterization. To introduce the competence of systems thinking in science education, a concept of general systems theory is derived. In this approach, the teaching sequence begins with the orientation phase, aiming to motivate the students justifying the importance of learning a certain topic.

**Key words:** Systems biology, biological systems, learning and teaching strategy.

## Introdução

A Biologia Sistêmica (BS) é um novo campo de estudo interdisciplinar baseado na biologia, que se concentra no estudo sistemático de interações complexas em sistemas biológicos, utilizando assim uma nova perspectiva para estudá-los. É uma nova área da ciência que busca compreender melhor a totalidade dos processos que ocorrem em um sistema biológico. Baseia-se na noção da ‘Teoria Geral dos Sistemas’, formulada pelo biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy ainda nos anos 1930, a qual afirma que “existem modelos, princípios e leis que se aplicam af sistemas generalizados ou suas subclasses, independentemente do seu tipo particular, da natureza de seus elementos componentes e das relações ou ‘forças’ entre eles” (VON BERTALANFFY, 1968, p. 32). Nesse contexto, o autor afirma que parece ser legítimo que exista uma teoria de princípios universais aplicáveis aos sistemas em geral.

Como toda nova área de pesquisa das ciências da natureza, ainda não existe um consenso sobre o significado deste termo. Em 2001, Ideker, Galitski e Hood definiam a BS como uma área da ciência que em vez de investigar genes ou proteínas individualmente, como se fazia nos trinta anos anteriores, investigaria as relações e o comportamento de todos os elementos de um sistema biológico durante seu funcionamento. Westerhoff e Palsson (2004) consideram que a BS é uma ciência completa com sua própria busca por princípios científicos e a interface entre física, química e biologia. Já Arkin e Schaffer (2011) afirmam que a BS visa compreender como elementos individuais de uma célula interagem para gerar comportamentos que permitam sua sobrevivência em ambientes mutáveis e como as células se organizam coletivamente em comunidades estruturadas. Mais recentemente, Reece et al. (2015) afirmam que a BS constitui a exploração de um sistema biológico a partir da análise das interações entre suas partes integrantes. Nesse caso, uma única célula pode ser considerada um sistema, assim como um animal, uma colônia de abelhas ou uma floresta. Já Santos (2015) define a BS como uma área que tem por objetivo central explicar fenômenos biológicos a partir de uma visão onde a relação entre os vários componentes é mais importante do que as propriedades isoladas de cada um deles.

Apesar de ainda não haver consenso sobre a definição precisa desta nova área da ciência, pois, como lembra Hunter (2012, p. 408), o termo parece possuir “diferentes significados para diferentes pessoas”, ainda assim alguns aspectos gerais a permeiam: o primeiro é que a totalidade de um sistema não consiste somente na somatória de suas partes. Nesse contexto é importante observar que novas propriedades emergem em cada nível da hierarquia biológica. Essas ‘propriedades emergentes’ se devem ao arranjo e às interações entre os componentes. Por exemplo, o processo de fotossíntese somente ocorre dentro de um cloroplasto porque este processo requer uma organização específica das moléculas dentro desta organela e, portanto, o mesmo processo não ocorre em um tubo de ensaio contendo estas mesmas moléculas (REECE et al., 2015). O segundo aspecto é que a BS privilegia uma abordagem holística em vez de uma abordagem reducionista. Com isto, há uma preocupação com uma maior integração entre as áreas das ciências da natureza ao usar, por exemplo, conceitos de física para explicar questões

da área de Biologia. Entretanto, ainda é um campo em maturação, que necessita de formulação e consolidação de conceitos fundamentais.

Dentre os objetivos da BS está o de modelar todas as interações de um sistema. Para isto, as técnicas experimentais que melhor se ajustam ao seu paradigma são as técnicas modernas de larga-escala (*high-throughput*, em inglês), também conhecidas como as técnicas da família "ômica" (*omics*, em inglês), como, por exemplo, Genômica, Proteômica, Transcriptômica e várias outras. Em qualquer destas técnicas o uso da tecnologia computacional é intensivo e tem se modernizado rapidamente nos últimos anos, gerando uma imensidão de dados. De modo a dar sentido a essa enormidade de dados resultantes de projetos que utilizam essas técnicas, cientistas estão aplicando uma abordagem de BS em níveis celular e molecular (REECE et al., 2015). É importante ressaltar também que na BS a modelagem computacional ocorre antes dos experimentos, ao contrário do que ocorre tradicionalmente na biologia molecular.

No contexto brasileiro ainda se desenvolve pouca pesquisa nesta área. Segundo Pires (2014), até o fim de 2014 havia somente um grupo de pesquisa em BS, na Universidade de São Paulo<sup>1</sup>. Recentemente outro grupo foi criado na mesma universidade<sup>2</sup>, porém com publicações exclusivamente em inglês, o que demonstra que esta é uma área ainda pouco explorada no Brasil, talvez reflexo do próprio termo "Biologia Sistêmica" em português ainda estar em consolidação<sup>3</sup>.

Mas como esse novo paradigma surgiu? Quais foram algumas das bases que possibilitaram seu surgimento? Como resalta Vidal (2009), a despeito da visão simplista de que a criação de uma nova área de pesquisa esteja relacionada a uma única pessoa ou a uma única descoberta, a aceitação de novas ideias fundamentais é frequentemente lenta e depende de contribuições de muitos cientistas ao longo de muitos anos. Segundo Ideker, Galitski e Hood (2001), para que a BS pudesse se desenvolver, a biologia molecular teve que atingir sua maturidade após dezenas de sequenciamentos de genomas de microrganismos, vermes, insetos, plantas e o próprio projeto genoma humano ter sido concluído. Para Westerhoff e Palsson (2004), são duas as raízes históricas da biologia sistêmica na biologia molecular: a primeira se refere a biologia molecular tradicional, com sua ênfase em macromoléculas individuais. Já a segunda é proveniente de uma análise mais formal de novos estados funcionais que surgem quando múltiplas moléculas interagem simultaneamente. Esta última pode ser considerada como a raiz "sistêmica" da biologia sistêmica.

De acordo com Vidal (2009), apesar dos modelos reducionistas limitados a genes, células e reações químicas terem sido úteis ao longo dos séculos 19 e 20, está cada vez mais claro que estes modelos são insuficientes para explicar ou descrever a vida de forma abrangente ao adentrarmos no século 21. Embora ainda não seja óbvio para todos nós neste momento histórico e certamente ainda carecendo de mais evidências, a BS pressupõe que nenhuma forma de vida possa ser imaginada sem que nela existam sistemas complexos formados por genes interagindo com macromoléculas, ou células em uma escala maior, e no contexto em que a seleção natural atua.

Apesar de todo um marketing inicial exagerado, com promessas de que a BS iria revolucionar a pesquisa biológica e criar novos produtos, medicamentos e terapias ao longo de seu desenvolvimento, esta inevitavelmente falhou em cumpri-las após mais de dez anos de seu

---

<sup>1</sup> Laboratório de biologia sistêmica de microrganismos da USP – Ribeirão Preto. <http://labisismi.fmrp.usp.br/>. Acesso em 16 de maio de 2017.

<sup>2</sup> <http://csbiology.com/> Acesso em 16 de maio de 2017.

<sup>3</sup> Existem referências como Reece et al. (2015) que utilizam o termo "Biologia de Sistemas".

surgimento. Conseqüentemente, isto levou a BS e seus pesquisadores a sofrerem diversas críticas de eminentes biólogos, como o vencedor do Prêmio Nobel Sydney Brenner, que os acusou de “usar dados como um substituto para o pensamento” (HUNTER, 2012, p. 408). Os seus defensores afirmam que tais críticas são um mal-entendido sobre o que é a BS, mas têm sido duramente pressionados para chegar a exemplos tangíveis de descobertas inovadoras que não teriam sido possíveis seguindo a abordagem tradicional da biologia molecular. Mesmo atualmente, as aplicações diretas da BS na medicina permanecem poucas. Ainda assim os pesquisadores desta área se dizem confiantes de que novas aplicações estão próximas de serem descobertas. Segundo Chubukov et al. (2016), parte dessas dificuldades se deve a maior dificuldade de projetar sistemas biológicos com a mesma facilidade e precisão com que projetar sistemas físicos (por exemplo telefones, automóveis e aviões). Além disso, a bioengenharia leva muito mais tempo e esforço e é muito menos precisa que outros tipos de engenharias mais estabelecidas (civil, mecânica, elétrica etc). Mudar o *status quo* exigirá investimentos significativos nas ferramentas básicas que irão melhorar a produtividade e a precisão de sistemas biológicos.

Reece et al. (2015) afirmam que a BS poderá ser utilizada para estudar a vida em todos os níveis de organização biológica, desde as células até a biosfera. Poderemos questionar, por exemplo, como um medicamento que reduz a pressão sanguínea altera o funcionamento de diferentes órgãos do corpo humano. Em uma escala mais ampla, poderemos compreender como o acréscimo de dióxido de carbono na atmosfera afeta diversos ecossistemas. As pesquisas em biologia molecular ao longo dos últimos trinta anos geraram uma enorme base de dados e modelos que ainda são um desafio no futuro no que diz respeito a integração dos diferentes níveis de informação pertinentes aos genes, RNAs, proteínas e vias metabólicas. Segundo Arkin e Schaffer (2011), o número crescente de organismos sequenciados e a crescente facilidade de manipulá-los permitirá uma comparação melhor dos sistemas em árvores filogenéticas. Além disso, uma integração cada vez maior entre as tecnologias computacionais e experimentais aumentará exponencialmente nosso conhecimento sobre os mecanismos necessários ao funcionamento e evolução de seres vivos, podendo nos conduzir cada vez mais a responder a mais fundamental questão da Biologia: *O que é a vida?*

### **Aspectos filosóficos que requerem atenção na Biologia Sistêmica: o reducionismo e interdisciplinaridade.**

De todos os benefícios que a BS pode nos trazer, faz-se necessário problematizar em algum grau tal paradigma. Diante disso, é mister atentar-se para os possíveis riscos de estarmos diante de um neopositivismo, uma vez que diversos aspectos convergem para esse tipo de caracterização.

O neopositivismo, ou positivismo lógico, tem sua origem no Círculo de Viena e tem como ideia central a ciência empírica como única forma capaz de estabelecer de algum tipo de verdade (BARBEROUSSE, 2000, p.14). Um dos problemas oriundos do neopositivismo foi a tese do reducionismo. O reducionismo, de um modo geral, é apontado como um tipo de fisicalismo. Exemplificando: se considerarmos que o que é vivo é, antes de tudo físico, então toda a explicação física pode tomar o lugar da explicação biológica (CHEDIAK, 2008, p.7-8).

Em biologia, o reducionismo é compreendido em três tipos:

- a) uma tese metafísica: trata-se de uma corrente que busca desenvolver o fisicalismo (MARTINEZ, 2011, p. 37).
- b) uma tese sobre a natureza das explicações científicas: uma das propostas dessa tese está relacionada ao modelo Nomológico-Dedutivo, no qual o argumento dedutivo possui premissas inclusas em uma lei universal e na conclusão se encontra a explicação daquilo

que se pretende evidenciar; a outra proposta dessa tese reside no modelo mecanicista, no qual as leis que regem as relações parte-todo podem ser explicadas pelo conhecimento das leis da física; os trabalhos de William Harvey (1578-1657) sobre circulação sanguínea tinham essa base para descrição (MARTINEZ, 2011, p.37-38).

- c) um programa de investigação: em biologia, é entendido como uma articulação de uma tese metafísica com o conhecimento específico de um campo do conhecimento para explicar os fatos (MARTINEZ, 2011, p.39).

A visão holística da BS, em contraponto ao reducionismo, requer extrema atenção em suas formas de leitura, pois fundamentar-se numa visão holística de ciência coloca em xeque a compreensão de que as ciências são limitadas, que as mesmas fornecem mediações que permitem organizar o mundo e dar algum sentido a ele (FOUREZ, 2008, p. 42). Martinez (2011) atenta que a unificação da ciência é “provisória e derogável”, funcionando como a integração de processos complexos em apoio mútuo para que suas explicações tenham êxito (Martinez, 2011, p. 43).

Parte da visão unificadora e com verdades absolutas na ciência pode ter suas amarras e dogmatismos remediados pela história e filosofia da ciência. Fourez (2008) cita alguns exemplos que nos mostram como tais certezas foram desfeitas ao longo do século XIX:

a teoria da relatividade foi o toque de finados do sonho do observador absoluto, independente de toda a referência. A mecânica quântica, com as desigualdades de Heisenberg, rejeitou o sonho de uma medida absolutamente perfeita [...] Prigogine e Stengers mostraram que a ideia do determinismo não era sustentável a não ser num “horizonte temporal” finito (Fourez, 2008, p.142).

Outra perspectiva pela qual a BS se mostra atraente é sua abordagem interdisciplinar, a qual pode vir a tomar dois caminhos: o primeiro pode ser uma representação dos problemas com independência de critérios particulares, mais universal e livre de parcialidade, porém pode ser nada mais que a reprodução de fases pré-paradigmáticas de um estudo, a recriação de um ponto de vista particular (FOUREZ, 2008, p. 147). A ideia de reunir disciplinas a explicitar uma aparente neutralidade é, de certa forma, questionável em sua essência e requer atenção.

O segundo caminho apontado por Fourez se refere às práticas interdisciplinares como “negociações entre pontos de vista e interesses diferentes, [situadas] num contexto e de acordo com um projecto” (FOUREZ, 2008, p.148), ou seja, dentro dos diversos campos do conhecimento e seus diferentes pontos de vista haverá a necessidade de negociação para a resolução de um problema, de modo que alguma área específica seja julgada como a mais adequada para condução ou resolução do problema.

A conclusão é que encontramos dois caminhos de interpretação para o paradigma da BS:

1. Tentativa de legitimar as ciências biológicas justificando seus experimentos com recursos da química, física e matemática, abrindo a possibilidade de uma interpretação deveras positivista da ciência.
2. Tentativa de integração entre as áreas da ciência, mas desconsiderando o viés contextual no qual ela é produzida, bem como evitando a discussão de seus aspectos éticos, sociais, históricos, filosóficos etc, o que finda por descaracterizar a ciência ou no mínimo fomentar visões distorcidas a respeito da atividade científica novamente.

Sendo assim, pensar a interdisciplinaridade requer considerar a complexidade dos fenômenos e uma problematização dos mesmos. Caluzi e Rosella (2003) apontam a visão de

Edgar Morin para a reformulação do ensino de ciências, em que a escola preocupa-se em isolar os fenômenos pela óptica das diferentes áreas do conhecimento, mas possui dificuldades em retomar esses conhecimentos ao tronco comum, à visão global (CALUZZI; ROSELLA, 2003). Pensando na perspectiva do ensino de ciências tal como proposto pelos documentos oficiais (i.e. PCN, PCN+ e BNCC), um olhar integrador é necessário, mas com a cautela de não transformar a prática interdisciplinar em uma disciplina isolada.

De outro modo, e ainda pela perspectiva da BS, faz-se também necessário pensar os limites de sua interdisciplinaridade, nesse caso, aparentemente restritos aos conhecimentos do campo da biologia, física, química e matemática. Conhecimentos que de um ponto de vista determinista apresentam um grau elevado de credibilidade quando comparados às ciências humanas e sociais, que devido ao seu alto grau de interação, não permitem estabelecer limites precisos e determinados (CALUZZI; ROSELLA, 2003). Pensar em BS e seu potencial de interdisciplinaridade inevitavelmente requer uma discussão no campo do ensino de ciências.

### **O pensamento sistêmico como estratégia de ruptura**

No contexto do ensino de ciências para o tempo atual, reflexões sobre metodologias de ensino e aprendizagem têm proposto alterações importantes no ensino. Valoriza-se a participação ativa dos alunos em sala de aula como fundamental para a construção do conhecimento. O aluno não pode ser considerado uma tábula rasa, mas um detentor de conhecimentos já obtidos no ambiente escolar e fora dele. Tais conhecimentos devem ser considerados no planejamento e implantação do projeto político-pedagógico da escola, bem como no processo de ensino e aprendizagem. Segundo Schnetzler (1992), o produto desta aprendizagem fragmentada se caracteriza, portanto, em memorização efêmera de um conhecimento que deveria ser aprendido. Infelizmente, uma espécie de aprendizagem mecânica é a que, de forma geral, tem sido propiciada pelo ensino de ciências no Brasil.

Diante desse cenário, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de propor e investigar estratégias e modelos de ensino. Nesse sentido, como a aprendizagem de ideias científicas implica a ocorrência de mudança conceitual, o ensino de ciências, longe de ser centrado na simples transmissão de informações (fragmentada), deve ser concebido e desenvolvido como um processo que visa a promover tal mudança. Torna-se necessário e de fundamental importância que a educação se abra para essa nova realidade considerada complexa e transcendente. Vasconcellos (2003) considera o pensamento sistêmico como o novo paradigma da ciência contemporânea. A perspectiva da abordagem sistêmica favorece a aquisição de uma compreensão coerente com as referidas áreas do conhecimento exploradas dentro da BS (VERHOEFF; WAARLO; BOERSMA, 2008).

De acordo com informações do *Biologische Raad* (2003) citado por Boersma e Waarlo (2003, p. 3), a Academia Real de Artes e Ciências da Holanda indicou recentemente que a falta de coerência entre o potencial metacognitivo de se trabalhar com Biologia Sistêmica e a sua prática é uma questão importante a ser abordada na revisão de currículos de biologia inovadores. A título de exemplo, Boersma e Waarlo (2003) citam o conceito Homeostase, que é geralmente explorado dentro do conteúdo de fisiologia humana e foi proposto como tema integrador dessa vertente. A fisiologia de todos os sistemas do corpo humano foi relegada, o que culminou em manter esse conceito-chave para a fisiologia como algo restrito a uma pequena nota nos livros-texto ou mesmo algo indiferente ao funcionamento dos diferentes sistemas no corpo humano (BOERSMA; WAARLO, 2003, p.3). Pressupondo que o pensamento sistêmico pode ser considerado como uma ferramenta metacognitiva (SCHAEFER, 1989, apud Boersma e Waarlo, ) que permite aos alunos, professores de biologia e desenvolvedores de currículos estruturar

conhecimentos biológicos já disponíveis e gerar novos conhecimentos, as autoras Lustosa e Silva (2012) defendem a presença da abordagem sistêmica na educação e acrescentam que o fenômeno educativo acontece no contexto de sistemas. Segundo Farinha (1990), algumas características do processo educativo que o tornam um processo sistêmico são: a) o processo educativo é um conjunto de elementos em interação; b) a interação entre os elementos de um processo educativo é constituída por trocas de informação; c) o processo educativo funciona através de um determinismo circular e bastante complexo.

No entanto, o pensamento sistêmico é considerado como uma ferramenta metacognitiva, as características do pensamento sistêmico não se restringem à seleção e aplicação de todas as perspectivas das três características, mas também um pensamento intercambiável que ora oscila para os fenômenos biológicos, ora para modelos de sistemas (LUSTOSA; SILVA, 2012).

Para introduzir a competência de pensamento sistêmico no ensino de ciências e biologia deriva-se o conceito de sistemas iniciais da Teoria Geral dos Sistemas, de acordo com Von Bertalanffy (1968) e citado por Verhoeff, Waarlo e Boersma (2008), o qual tem como referência as funções básicas dos seres vivos: metabolismo, crescimento e desenvolvimento, e responsividade aos estímulos ambientais. Esse ponto de vista explora a estrutura hierárquica e a natureza aberta dos sistemas biológicos.

Nessa abordagem, a sequência de ensino começa pela fase de orientação, a qual visa motivar os alunos e justificar para eles a importância de aprenderem um determinado tópico, de procurarem resolver um problema ou de investigarem algum fenômeno científico (SCHNETZLER, 1992), objetivando apontar um problema significativo e a ativação do conhecimento prévio dos alunos (BOERSMA; WAARLO, 2003), principalmente através de discussões em grupo e de elaboração de textos. O professor, por sua vez, de forma intencional, pode explorá-los, bem como promover conflitos conceituais ao utilizar demonstrações refutadoras ou apresentar contraexemplos. Tais itens podem ser subsidiados, por exemplo, pelo uso da História e Filosofia da Ciência como auxiliares, pois a aquisição de boa parte do conhecimento poderá ser por via interdisciplinar dentro das áreas de física, química, biologia, matemática, bem como de história, filosofia, sociologia etc. Nesse processo, cada uma dará sua contribuição mais ou menos significativa para a compreensão de determinados conteúdos dentro de uma visão mais holística acerca do que os docentes aspiram no ambiente escolar.

## **Agradecimentos e apoios**

Agradecemos especialmente ao Prof. Dr. Maurício Compiani e à Profa. Dra. Sílvia Figueirôa do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM) – Unicamp, pelas orientações e sugestões dadas na elaboração deste artigo.

## **Referências**

ARKIN, A. P.; SCHAFFER, D. V. Network News: Innovations in 21st Century Systems Biology. *Cell*, [s.l.], v. 144, n. 6, p.844-849, mar. 2011. Elsevier BV.

BARBEROUSSE, A. et al. A filosofia das ciências no século XX. Lisboa: Instituto Piaget, 2000.

BOERSMA, K. T.; WAARLO, A. J. Systems thinking as a metacognitive tool for students teachers and curriculum developers. In: V ESERA CONFERENCE, 2003, Noordwijkerhout. Anais. . Noordwijkerhout: Esera, 2003. p. 1 - 16.

CALUZI, J. J.; ROSELLA, M. L. A. Edgar Morin: A complexidade subsidiando o ensino de ciências. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2003.

CHEDIAK, K. Filosofia da biologia. Zahar, 2008.

CHUBUKOV, V. et al. Synthetic and systems biology for microbial production of commodity chemicals. *Npj Systems Biology And Applications*, [s.l.], v. 2, n. 1, p.1-10, 7 abr. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/npjbsba.2016.9>.

FARINHA, J. Abordagem sistêmica em educação - uma perspectiva filosófica da Educação. Trabalho apresentado à disciplina de Filosofia da educação. Universidade de Coimbra. Coimbra, 1990

FOUREZ, G. A construção das ciências. As lógicas das invenções científicas. Lisboa: Instituto Piaget, 2008.

HUNTER, P. Back down to Earth. *EMBO Reports*, Heidelberg, v. 12, n. 5, p.408-411, 2012.

IDEKER, T.; GALITSKI, T.; HOOD, L. A new approach to decoding life: Systems Biology. *Annual Review Of Genomics And Human Genetics*, [s.l.], v. 2, n. 1, p.343-372, set. 2001. Annual Reviews.

LUSTOSA, I. N, SILVA, M. J. G. S. A Abordagem sistêmica na educação brasileira: Os desdobramentos da teoria na pratica. Disponível em:

<http://www.anpae.org.br/simposio26/1comunicacoes/IreneNunesLustosa-ComunicacaoOral-int.pdf>.

MARTINEZ, S. F., Reduccionismo em biologia: uma tomografia da relação biologia-sociedade, In: ABRANTES, Paulo C. Filosofia da biologia. Artmed Editora, 2011. p. 36-52.

PIRES, J. G.. Biologia Sistêmica: Um novo paradigma para as ciências biológicas e exatas. *Learning And Nonlinear Models*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p.1-18, nov. 2014.

REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. 1442 p.

SANTOS, C. A. Biologia sistêmica: Ciência do Século 21. 2015. Disponível em:<[http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2921/n/biologia\\_sistemica:\\_ciencia\\_do\\_seculo\\_21](http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2921/n/biologia_sistemica:_ciencia_do_seculo_21)>. Acesso em: 10 de dezembro de 2016

SCHNETZLER, R. P. Construção do conhecimento e ensino de ciências. *Em Aberto*, 11(55): 17-22, 1992.

VASCONCELLOS, M. J. E. Pensamento sistêmico: o novo paradigma da ciência. Papyrus Editora, 2003.

VERHOEFF, R. P.; WAARLO, A. J.; BOERSMA, K. T.. Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal Of Science Education*, [s.l.], v. 30, n. 4, p.543-568, 19 mar. 2008. Informa UK Limited.

VIDAL, M. A unifying view of 21st century systems biology. *Febs Letters*, [s.l.], v. 583, n. 24, p.3891-3894, 12 nov. 2009. Wiley-Blackwell.

VON BERTALANFFY, L. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller Inc., 1968. 153 p.

WESTERHOFF, H. V; PALSSON, B. O. The evolution of molecular biology into systems biology. *Nature Biotechnology*, [s.l.], v. 22, n. 10, p.1249-1252, out. 2004. Springer Nature.