



O LEGADO DA RAINHA VERMELHA PARA A BIODIVERSIDADE: TENDÊNCIAS DOS ESTUDOS DESENVOLVIDOS APÓS MAIS DE QUATRO DÉCADAS DE FORMULAÇÃO

Carolina Costa Pera^{1}, Mirtha Amanda Angulo-Valencia¹ & Evanilde Benedito¹*

¹ Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Av. Colombo, 5790, CEP: 87020-900, Maringá, PR, Brasil

E-mails: carolina_pera@hotmail.com (*autor correspondente), mirthaangulo2401@gmail.com, eva@nupelia.uem.br

Resumo: Uma revisão sistemática do impacto da Teoria da Rainha Vermelha (TRV) foi realizada desde o ano da sua formulação em 1973 até 2018. Publicada há 45 anos, a TRV tenta elucidar a manutenção do sexo ao longo da árvore da vida, considerando os custos inerentes aos envolvidos. O objetivo geral do trabalho foi identificar, tendências, lacunas e sistemas biológicos onde a TRV é válida em diferentes disciplinas relacionadas à biodiversidade. Houve uma frequência variável de citações e um aumento das publicações na última década. Quanto ao número de publicações, todos os principais países são ricos: Estados Unidos da América, Inglaterra e Suíça. As revistas de alto fator de impacto foram responsáveis por 30 % dos artigos publicados e os estudos de nível populacional, compostos por 70 % das publicações, provavelmente porque os artigos da TRV estudaram a coevolução interespecífica, quando abordados pela perspectiva ecológica. A maioria dos artigos focou em invertebrados e microorganismos, superando as publicações com vertebrados e plantas. As publicações abrangeram todas as disciplinas relacionadas com a biodiversidade, mas a Biologia Evolutiva e a Ecologia foram as mais predominantes. Isso demonstra o potencial aumento do impacto, visibilidade e discussão da teoria refletida em estudos de ciências naturais de longo prazo, contribuindo para o aumento do apoio financeiro e questões que abordam outros grupos taxonômicos e níveis ecológicos, tornando-se historicamente uma fonte de subsídio teórico de informação.

Palavras-chave: Cienciometria; Evolução; Produção Científica; Teoria Ecológica; Ecologia

RED QUEEN'S LEGACY FOR BIODIVERSITY: TRENDS ON STUDIES DEVELOPED AFTER OVER FOUR DECADES OF FORMULATION. A systematic review of the impact of the Red Queen Theory (TRV) has been conducted from the year of its formulation in 1973 until 2018. Published 45 years ago, the TRV attempts to elucidate the maintenance of sex throughout the tree of life, considering the inherent costs to those involved. The aim general objective of the work was to identify, trends, gaps and biological systems where TRV is valid in different disciplines related to biodiversity. There was a variable citation frequency and an increase in publications in the last decade. Regarding the number of publications, all the main countries are rich: United States of America, England and Switzerland. High impact factor journals accounted for 30 % of the published articles and Population level studies composed 70 % of publications, likely because the TVR articles studied interspecific coevolution, when approached by the ecological perspective. Most papers focused on invertebrates and microorganisms, surpassing publications with vertebrates and plants. Publications encompassed all disciplines related to biodiversity, but Evolutionary Biology and Ecology were the most predominant. This demonstrates the potential increase in impact, visibility, and discussion of the

theory reflected in long-term natural science studies, contributing to increased financial support and issues that address other taxonomic groups and ecological levels by becoming historically a source of information. theoretical allowance.

Keywords: Scientometrics; Evolution; Scientific production; Ecological theory; Ecology

INTRODUÇÃO

A Teoria da Rainha Vermelha (TRV), proposta por Van Valen (1973), enfatiza que o parasitismo e as alterações ambientais conduzem as forças de Seleção Natural gerando corridas armamentistas biológicas que determinam, naquele momento, os melhores competidores. Por ser profundamente Darwinista (Hoffman 1991, Condamine *et al.* 2018), segue de modo que as características mais vantajosas tendem a se tornarem mais frequentes ao longo do tempo por meio da reprodução sexual, pois, embora existam numerosas hipóteses para elucidar a presença avassaladora da reprodução sexual em toda a árvore da vida, não podemos explicar sua prevalência ao considerar os custos inerentes aos envolvidos (Haafke *et al.* 2016). ATRV surge então, com a proposta de testar aspectos da Seleção Natural na coevolução e manutenção da reprodução sexuada (Killick *et al.* 2006), bem como na relação predador-presa em distintos níveis de organização ecológica.

O impacto e relevância de uma teoria devem-se a sua abrangência e capacidade de generalização, ou seja, quando seus paradigmas podem ser aplicados sobre vastas categorias, níveis e áreas do conhecimento, de preferência, empiricamente. A TRV atende a esse critério tornando o monitoramento das respostas coevolutivas nas interações hospedeiro-parasita viável, pois o longo tempo necessário para identificação destas respostas em ambas as populações, podem modificar-se simultaneamente, dificultando as análises e camuflando o quadro geral das médias de resistência e infectividade que, aparentemente, permanece inalterado (Gaba & Ebert 2009).

Sob a perspectiva das flutuações populacionais, a maioria das espécies de parasitas é pouco patogênica e dependente do tipo de sistema biológico em questão, aleatório ou agregado (Greenspoon & Mideo 2017), pois, durante o longo tempo de coevolução e ajuste da aptidão, os hospedeiros desenvolveram estratégias de sobrevivência e de reprodução mais eficiente que

seu parasita (McLennan & Brooks 1991). Neste processo, incorporam ambos os ciclos de epidemia e diversidade genética que podem ter implicações importantes para a manutenção da reprodução sexuada (MacPherson & Otto 2017), driblando assim, sua extinção.

Com base em informações fósseis de grupos zoológicos extintos, a TRV afirma que os recursos disponíveis se deterioram para qualquer grupo de organismo a uma taxa constante (Lei da Constante da Extinção). Assim, a sobrevivência dos grupos varia com o tamanho da área habitada e, o *fitness* momentâneo de uma espécie resume-se na eficiência do controle de recursos e em seu sucesso reprodutivo (Hoffman 1991). Portanto, é justamente dentro dessa dinâmica coevolutiva, por meio da reprodução sexuada que a variabilidade genética acontece (McPherson & Otto 2017).

Publicações que testam a TRV foram realizadas em diatomáceas (Van den Wyngaert *et al.* 2013); nematóides (Brockhurst 2011, Morran *et al.* 2011); peixes (Scharnweber *et al.* 2011, Riesch *et al.* 2012); fungos e plantas (Clément *et al.* 2010); distribuição geográfica de Lepidoptera (Condamine *et al.* 2018); além de estudos de modelagem matemática (MacPherson & Otto 2017); Esse fato demonstra o potencial plástico e a ampla capacidade de generalização que a teoria tem no campo da Evolução e da Ecologia de Populações. Ainda para as áreas de conservação ambiental e manejo de áreas degradadas, análises que alcançam longos períodos contínuos de tempo, além de modelar as mudanças entre relações bióticas interespecíficas, podem esclarecer questões como: porque alguns clados se diversificam mais que outros? Ou porque algumas linhagens são amplamente distribuídas enquanto outras sobrevivem em intervalos geográficos restritos? (Condamine *et al.* 2018).

É essencial que todo o conhecimento gerado seja analisado e organizado a fim de possibilitar o entendimento das tendências e contribuições de uma teoria (Carneiro 2008). Estudos métricos aplicados à comunicação da informação científica (cienciometria) são resultado dos avanços nas

formas de institucionalização e representam legitimação do conhecimento e da técnica, além de possibilitar direcionamento e alocação de recursos para determinada área ou setor (Brufem *et al.* 2010). Assim, as análises cienciométricas constituem-se em uma ferramenta imprescindível, frente ao grande volume de dados gerados, na constatação do progresso de um determinado tema (Carneiro 2008). Dessa forma, um estudo cienciométrico sobre a contribuição da TRV, permitirá identificar os rumos e a representatividade do tema, além de fornecer um mapeamento sobre sua aplicabilidade em diferentes áreas da Biodiversidade.

MATERIAL E MÉTODOS

A busca sistematizada sobre a Teoria da Rainha Vermelha foi realizada entre 1973 (ano de publicação da TRV) e 2018 em periódicos especializados na área de Biodiversidade na plataforma Clarivate Analytics (ISI - *Institute for Scientific Information, Web of Knowledge*). A escolha da plataforma justifica-se por ter sido a pioneira em disponibilizar acesso às informações referenciais sobre parte significativa da produção científica mundial e um dos principais agentes incentivadores do uso de indicadores bibliométricos, além de ter sido utilizada, com frequência, para avaliação da produção científica nacional (Mugnaini *et al.* 2004).

Para o levantamento dos artigos foi utilizado o termo “Red Queen” no campo geral da plataforma. A busca foi realizada por tópico (título, resumo, palavras-chave e corpo do texto), somente para artigos. Posteriormente, foi realizado o refinamento para 15 subáreas pré-estabelecidas pela plataforma ISI (Ecologia, Evolução, Parasitologia, Zoologia, Ciência das Plantas, Entomologia, Imunologia, Virologia, Conservação da Biodiversidade, Biologia Celular, Oceanografia, Patologia, Ciência Veterinária, Hereditariedade Genética e Agricultura).

A tabulação dos dados levantados abrangue informações referenciais tais como: título do trabalho, nome do primeiro autor, país de origem do primeiro autor, número de citações, periódico, fator de impacto do periódico, ano de publicação do trabalho, número de citações, lag, área de conhecimento (Ecologia, Evolução, Parasitologia, Zoologia, Ciência das Plantas, Entomologia, Imunologia, Virologia, Conservação

da Biodiversidade, Biologia Celular, Oceanografia, Patologia, Ciência Veterinária, Genética e Agricultura), tipo de organismo (vertebrados, invertebrados, plantas, microrganismos) e nível de organização ecológica (ecossistema, comunidade, população, espécie), tipo de abordagem (experimental, observacional, modelagem) e tempo entre a produção dos dados e a publicação do estudo (Lag). As informações inventariadas foram organizadas em tabela e figuras, as quais foram elaboradas com auxílio do Software Statistica, versão 12.5. Adicionalmente, uma análise de agrupamento entre as grandes áreas de publicação sobre a teoria foi realizada com o objetivo de identificar proximidade entre as mesmas. Para tanto, utilizou-se uma matriz de distância Euclidiana e método de ligação simples, o qual obteve o maior valor de coeficiente e correlação cofenética (CCC = 0,9922), com auxílio do pacote Past v. 2,17.

RESULTADOS

Foram encontrados 533 artigos, publicados em 141 periódicos (Tabela S1). Apesar da TRV ter sido proposta em 1973, os artigos que a testaram foram publicados inicialmente em 1976. O número de citações teve alterações marcantes ao longo do tempo, com incremento nos anos 90, e declínio após 2010. Contudo, percebeu-se que a maior quantidade de publicações (63,2 %) ocorreu entre 2008 e 2018 (Figura 1).

Constatou-se o total de 386 pesquisadores como primeiros autores, provenientes de 36 países. Desses pesquisadores, 80 % publicaram um único estudo utilizando o conceito da Teoria da Rainha Vermelha. Entre os autores mais produtivos em relação à TRV se destacam, Lively, C. M. com 14 artigos e 572 citações, Dybdahl, M. F. com 8 artigos e 1005 citações, e Nuismer, S. L. com 6 artigos e 261 citações. Esses autores representaram 5,25 % das publicações em 11 periódicos. Aproximadamente 34 % das publicações pertencem a autores provenientes de Estados Unidos, seguidos por autores da Inglaterra e da Suíça com 10 % e 9 % dos artigos respectivamente (Figura 2).

Dentre os artigos analisados, 13 % foram publicados no periódico *Evolution* (FI = 4,201), seguido pelo *Journal of Evolutionary Biology* com 9 % dos artigos (FI = 2,541) e pelo *Proceedings*

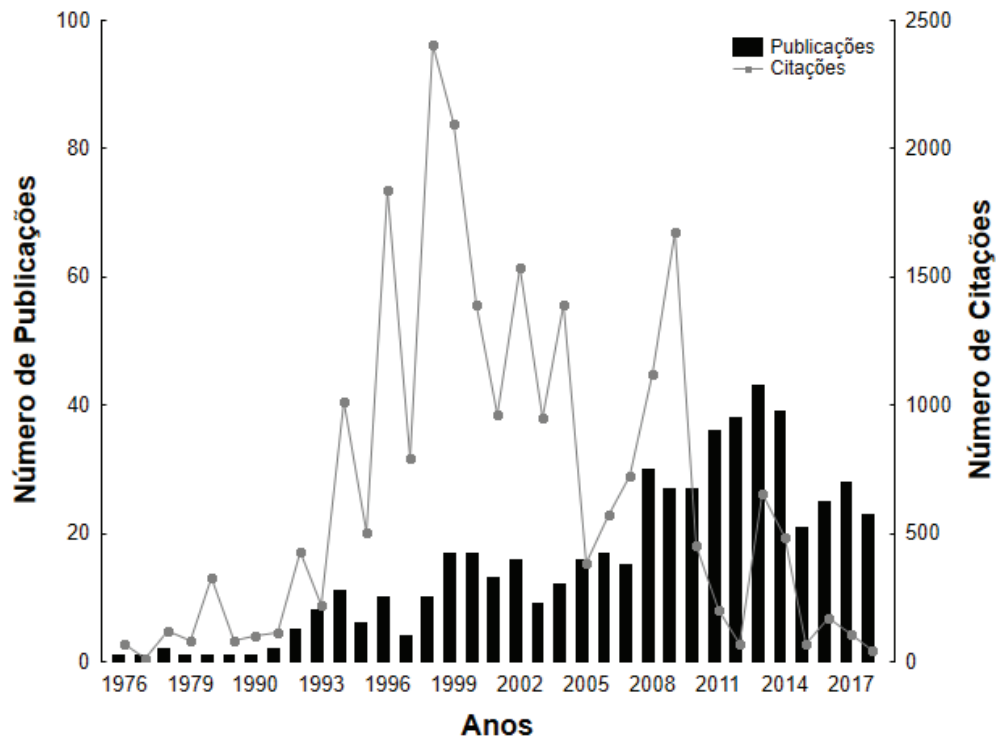


Figura 1. Número de trabalhos publicados (barras pretas) e o número de vezes que os estudos na plataforma ISI foram citados acerca da Teoria da Rainha Vermelha (linha cinza) por ano.

Figure 1. Number of papers published (black bars) and number of times studies on the ISI platform were cited about the Red Queen Theory (gray line) per year.

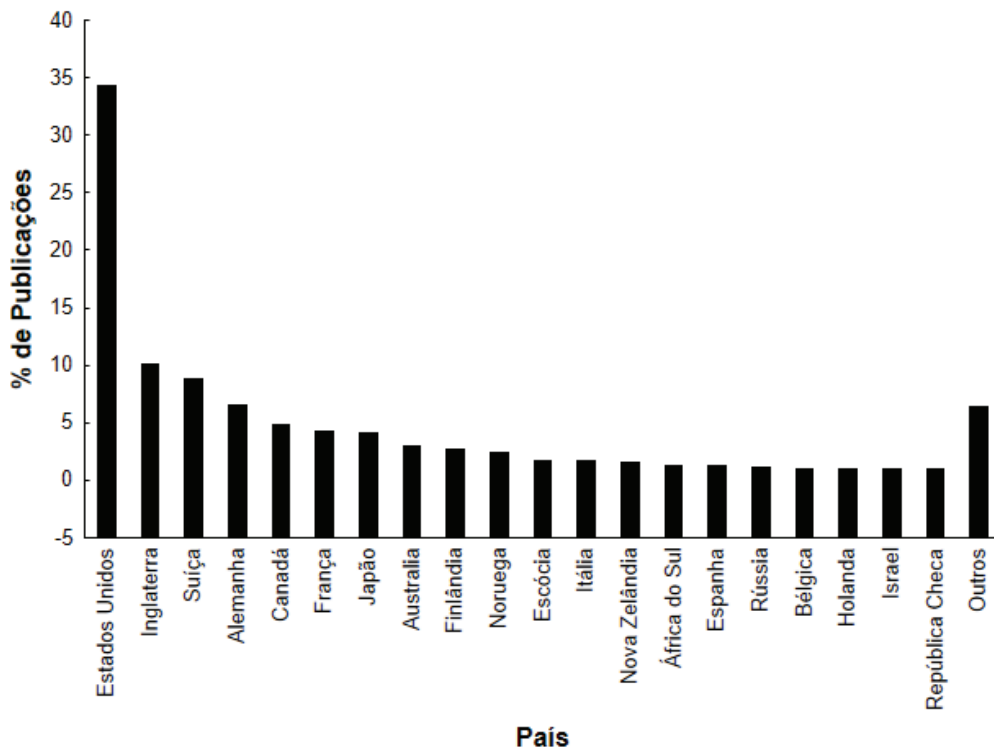


Figura 2. Percentagem de artigos publicados por país de origem do primeiro autor. A categoria “Outros” refere-se aos países com menos de cinco artigos publicados.

Figure 2. Percentage of articles published by country of origin of first author. The category “Other” refers to countries with less than 5 articles published.

of the Royal Society B-Biological Sciences com aproximadamente 8 % (FI = 4,304; Figura 3).

A maioria dos artigos estiveram distribuídos em várias áreas de conhecimento. Assim, mais da metade das publicações (52 %) foram da área de Ecologia, seguido pelas áreas de Evolução e Genética (Figura 4). Entre as áreas mais próximas destacam-se aquelas relacionadas diretamente a saúde humana (imunologia, patologia e virologia), enquanto que aquelas que investigam a relação dos organismos com ambiente e suas modificações adaptativas constituíram um novo grupo de disciplinas próximas (Genética, Evolução e Ecologia) e que concentraram a maior parte das publicações sobre a TRV (Figura 5).

Em relação aos níveis de organização ecológica, a maioria dos trabalhos que abordaram a TRV foram realizados para dinâmica de populações (70 %), seguido pelos trabalhos a nível de espécie com 16,3 % e comunidades com 10,9 % dos artigos (Figura 6).

Os invertebrados e microrganismos foram estudados em 33 % e 32 % dos trabalhos respectivamente (Figura 7). Este fato pode estar associado ao grande número de estudos publicados acerca da dinâmica hospedeiro-parasita e coevolução recíproca. Neste caso, os invertebrados e foram contabilizados mais de uma vez, em todas as outras categorias investigadas: vertebrados (15 %), invertebrados (30 %) e plantas (15 %), por estarem associados através da relação de parasitismo.

Dentre as possibilidades, três abordagens foram identificadas: observacional, experimental e modelagens. Sendo que, 36 % dos estudos foram realizados de maneira observacional, seguido pela abordagem experimental com 33 % e por último, a modelagem com 32 % das publicações. Outro aspecto importante é o intervalo de tempo entre a produção dos dados e a publicação do estudo, ou seja, a transformação em conhecimento científico, condição que finaliza o trabalho e

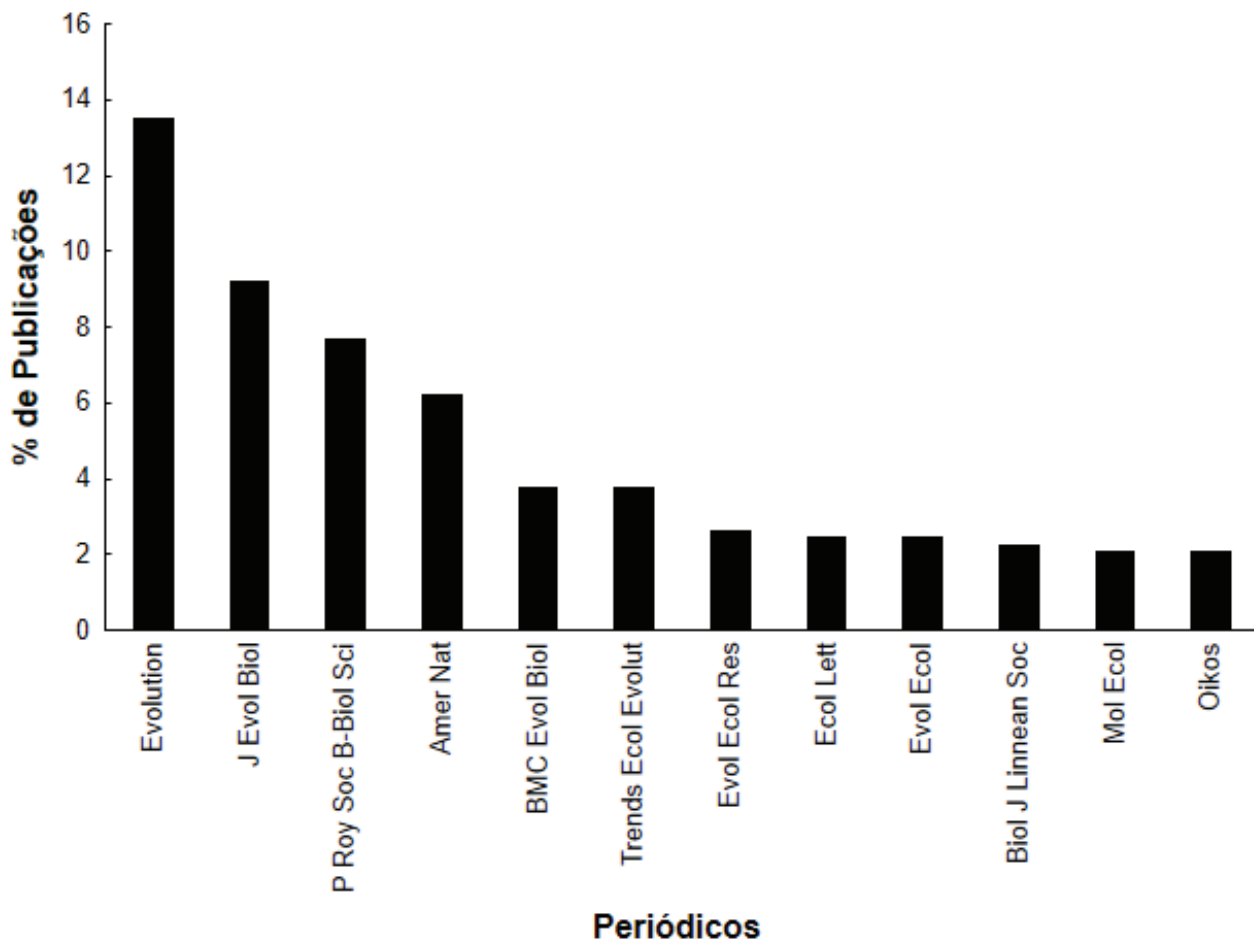


Figura 3. Percentagem de artigos publicados sobre a Teoria da Rainha Vermelha nos principais periódicos.

Figure 3. Percentage of articles published about the Red Queen Theory in the main journals.

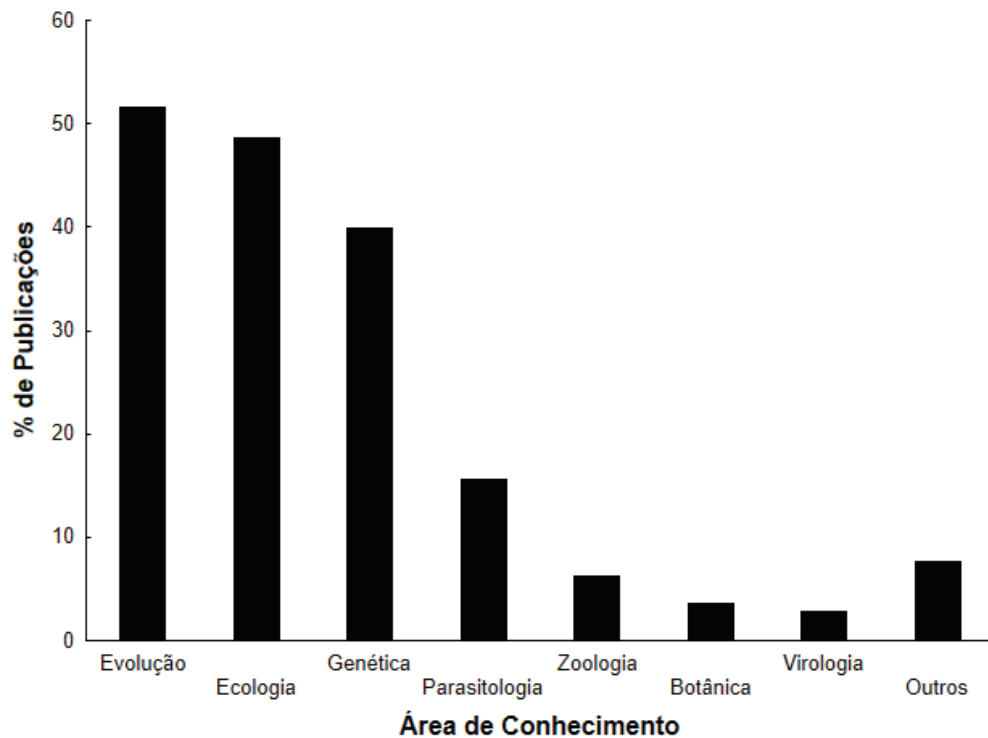


Figura 4. Percentagem de artigos publicados sobre a Teoria da Rainha Vermelha por área por área de conhecimento. A categoria “Outros” refere-se às áreas que publicaram menos de 15 artigos).

Figure 4. Percentage of articles published on Red Queen Theory by area by knowledge area. The category “Other” refers to areas that have published less than 15 articles).

admite o investimento financeiro. Apesar da importância desses dados, somente 93 artigos (17,4 %) forneceram essa informação e entre os trabalhos investigados, 15 artigos (16 %) realizaram todos os processos em três anos: coleta, análise e publicação.

DISCUSSÃO

A produção do conhecimento para o desenvolvimento econômico global é altamente competitiva (King 2004) e no âmbito da ciência moderna as referências fornecem um contexto para os estudos e um dispositivo necessário para persuadir editores e convencer o público científico da credibilidade do trabalho (Milojevic 2012), além de avaliar o desempenho de grupos, departamentos e instituições, avaliação de propostas de pesquisa, alocação de recursos e contratação de pessoal, (Aksnes *et al.* 2019) ou seja, a cienciometria é aplicada para uma variedade de propósitos e permeia muitos aspectos do sistema de produção científica. Assim, os indicadores bibliográficos podem servir como definidores da eficácia dos

desdobramentos da informação científica. Os resultados obtidos no presente estudo indicam interesse sobre a TRV em função do tempo e das áreas de conhecimento.

Houve aumento de citações entre 1996 e 1999. Esse fato pode ser devido a possibilidade desta teoria ser testada com dados empíricos em todos os níveis ecológicos e grupos de organismos e, ainda, estudada com ênfase, na manutenção e reprodução sexuada nas relações de parasitismo (Lively 2010). No entanto, esse pico de citações parece ser um outlier na história da Rainha Vermelha até agora. Apesar da aplicação dos indicadores bibliográficos serem usados para avaliar o desempenho científico, ele é controverso. A frequência com que um trabalho é citado, associada a informações sobre o periódico, geralmente, o Fator de Impacto (FI), são considerados a melhor medida da vitalidade de um assunto (Verbeek *et al.* 2002, Lima-Ribeiro *et al.* 2007) ou seja, esses fatores indicam se o campo do conhecimento em avaliação é uma ciência com propósitos sólidos, em constante expansão e com boa rede de circulação do conhecimento adquirido (Lima-Ribeiro *et al.* 2007). Segundo Colquhoun

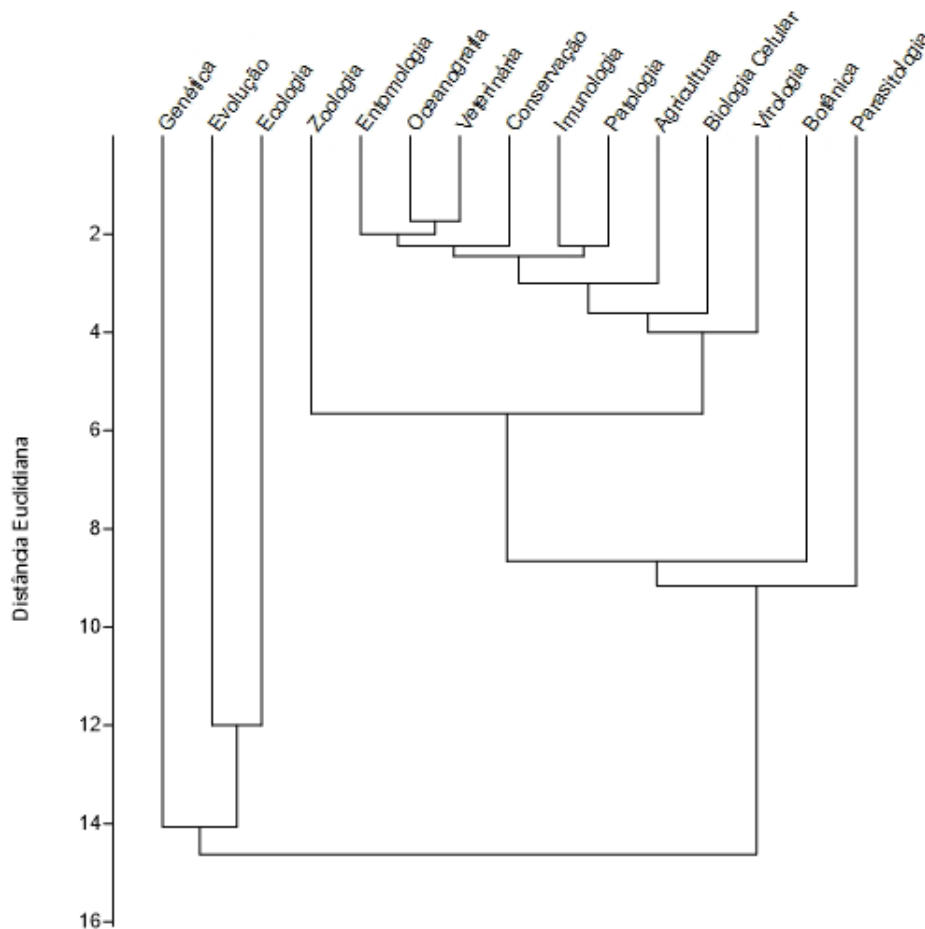


Figura 5. Análise de agrupamento entre as grandes áreas do conhecimento que publicaram artigos científicos sobre a Teoria da Rainha Vermelha no período investigado. Coeficiente de Correlação Cofenética = 0,9922.

Figure 5. Cluster analysis among the major areas of knowledge that published scientific articles on the Red Queen Theory during the period investigated. Cophenetic Correlation Coefficient = 0.9922.

(2003), o número de citações e FI não se relacionam pelo fato de que muitos trabalhos de boa qualidade são rejeitados pelos periódicos de alto impacto. Aproximadamente 95 % são rejeitados em revistas como Nature e Science (Lima-Ribeiro *et al.* 2007) e são aceitos em revistas com FI menos significativos. Porém, esses artigos revelam-se com alto índice de citações devido a qualidade e expressividade dos seus resultados, advertindo que a mensagem científica é mais importante que o periódico. Contudo, o presente estudo mostrou que revistas de alto impacto foram as que contribuíram expressivamente sobre o tema. Por outro lado, o tempo que um determinado trabalho está disponível na literatura não influencia seu índice de citação (Verbeek *et al.* 2002), como é o caso da TRV. Essa medida tem sido fortemente criticada

devido ao fato de que as taxas de citação não conseguem captar todos os aspectos do conceito de qualidade como solidez/plausibilidade, originalidade e valor social (Aksnes *et al.* 2019). Neste estudo, foi detectado um incremento nas publicações relacionadas à TRV nos últimos 10 anos. Essa relação direta do aumento do número de publicações ao longo do tempo foi observada por Lima-Ribeiro *et al.* (2007), sendo um reflexo nítido do crescimento exponencial de pesquisas sobre ecologia de populações e biodiversidade de maneira geral.

Entre os países que lideram o *rank* de publicações sobre TRV, Estados Unidos teve destaque, o que pode estar relacionado ao investimento em pesquisa e desenvolvimento e ao PIB (Produto Interno Bruto). Os estudos nas áreas

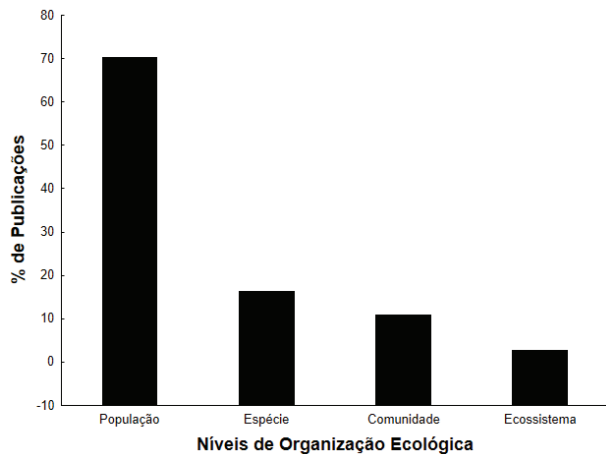


Figura 6. Percentagem de artigos publicados acerca da Teoria da Rainha Vermelha por níveis de organização ecológica.

Figure 6. Percentage of articles published about Red Queen Theory by levels of ecological organization.

de Ecologia e Evolução são reflexo do panorama político econômico global, pois, segundo King (2004), a representatividade científica de uma nação influencia a tomada de decisões do governo, seleção de prioridades e os investimentos em ciência. Portanto, é importante destacar que a ciência não é produzida de forma alheia ao contexto político (Abade 2005, King 2004) e sócio-econômico. O investimento do setor privado em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) também é um indicador do crescimento econômico, pois inclui a transferência de conhecimento entre os negócios e capacitação profissional de alto nível (Verbeek *et al.* 2002, King 2004). Com exceção da Itália e da Rússia, todos os países do G8 (Grupo das oito nações mais ricas do mundo) encontram-se ranqueados com as maiores contribuições em número de artigos publicados entres os periódicos com elevados FI sobre a TRV e mostraram efetiva produtividade, demonstrando experiência e maturidade científica. No entanto, Lima-Ribeiro *et al.* (2007) observou que apesar dos EUA ocuparem a primeira posição quanto a número de autores e publicações a discrepância entre estudos desenvolvidos em sua área geográfica, sugerindo que pesquisas em ecologia são executadas em ecossistemas de outros países visto a baixa biodiversidade existente em território norte-americano.

A maioria das publicações sobre a TRV foram estudos relacionados as áreas de Evolução, Ecologia e Genética, o que mostra a multidisciplinaridade da teoria. Estas áreas também mostraram uma forte

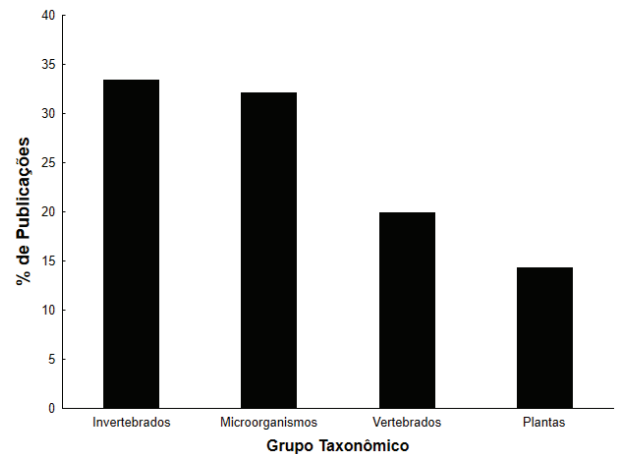


Figura 7. Percentagem de artigos publicados acerca da Teoria da Rainha Vermelha por tipo de organismo.

Figure 7. Percentage of articles published about Red Queen Theory by organism type.

proximidade entre si, o que pode ser explicado pelo fato de que as três áreas tratam de assuntos ligados à relação dos organismos com ambiente e suas modificações adaptativas (Lopes 2003). Por outro lado, a discrepância entre o número absoluto de artigos em nível populacional e outros níveis de organização pode ser explicado pelo fato da TRV ser testada em função do desempenho da coevolução rápida entre populações antagônicas através dos parâmetros específicos deste nível ecológico: proporção sexual, direção de fenótipo, infectividade e gerenciamento de recursos (Dercole *et al.* 2006), testes em nível de espécies sobre os aspectos genéticos (Rice & Holland 1997); migrações para avaliação da estrutura das comunidades (Gandon 2002) e análise de isótopos estáveis e quantificação energética em nível ecossistêmico (Liow *et al.* 2011) também são encontrados na literatura na tentativa de suprir uma possível lacuna teórica imposta pelas dificuldades de testes empíricos em Evolução.

A TRV possui ampla capacidade de generalização sobre testes e isso foi observado nas diversas áreas do conhecimento na qual ela perpassa as ciências naturais e sociais (Rossi 2011). Apesar do aperfeiçoamento significativo nos 24 anos de desenvolvimento da Ecologia no Brasil (Lima-Ribeiro *et al.* 2007), ainda é desproporcional a magnitude de aquisição de conhecimentos empíricos comparado aos teóricos, evidenciando que boa parte das nossas pesquisas é descritiva (Martins & Lima 2000) e que carecem de testes de hipóteses e de desenho experimental pertinente.

Padial *et al.* (2008) ressaltam a importância dos trabalhos de revisão/observacional pois solidificam as bases teóricas para aplicação em estudos realizados com organismos.

As frequências dos grupos taxonômicos também podem variar em função da área do conhecimento científico investigado. Por exemplo, em estudos sobre Biologia da Conservação, a maior parte dos estudos foi realizada em plantas (Grelle *et al.* 2009). Para tratar da teoria de Hutchinson sobre diversidade natural: “Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals” (1959), constatou-se que o principal grupo estudado foram os macroinvertebrados (Thomaz *et al.* 2010). Segundo D’abadia & Rodrigues (2012), os insetos são os organismos mais estudados em Genética Evolutiva, tanto pela diversidade, quanto facilidade de captura. No caso da TRV, o grupo dos invertebrados apresentou destaque para estudos populacionais que abordam coevolução, parasitismo e manutenção da reprodução sexuada.

No Brasil, a produtividade científica está vinculada a quantidade de bolsas de mestrado e doutorado e com o avanço do sistema de pós-graduação nacional induzido pelas agências de fomento de grande prestígio (CAPES, CNPq e FAPESP; Jabbour *et al.* 2013). Neste caso, os indicadores bibliométricos podem ser úteis para avaliar resultados do investimento em pesquisa (Mugnaini *et al.* 2004). Dessa forma, se a transformação dos dados em publicações demora mais de cinco anos ou é negligenciada, ações de manejo e monitoramentos baseados nessas informações podem ser tardias (Alves & Minte-Vera 2013) e contribuir para tornar o processo de tomada de decisões e de gestão lento e principalmente ineficaz.

Conclui-se que a TRV, desde sua formulação, apresentou o aumento de sua visibilidade por meio das citações, conduzindo a um incremento em discussão e aceitabilidade. O reflexo nas publicações nas áreas de Ecologia e Evolução coincidiu com a produção das nações que mais investem em P&D. Os resultados corroboram ainda com a possibilidade de análise em diferentes grupos taxonômicos e níveis ecológicos, além de fornecer subsídios teóricos para reduzir o tempo entre coleta de dados e transformação em informação científica.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais e Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura pelo suporte logístico e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Abade, F. L. 2005. Orientação profissional no Brasil: uma revisão histórica da produção científica. *Revista Brasileira de Orientação Profissional*, 6(1), 15–24.
- Alves, D. C., & Minte-Vera, C. V. 2013. Scientometric analysis of freshwater fisheries in Brazil: repeating past errors? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 23(1), 113–126.
- Aksnes, D. W., Langfeldt, L., & Wouters, P. 2019. Citations, Citation Indicators, and Research Quality: An Overview of Basic Concepts and Theories. *Sage Journals*, 9 (1), 1–17. DOI: 10.1177/2158244019829575
- Brockhurst, M. A. 2011. Sex, death, and the red queen. *Science*, 333(6039), 166–167. DOI: 10.1126/science.1209420
- Brufem, L. S., Junior, R. F. G., & Gonçalves, V. 2010. Práticas de co-autoria no processo de comunicação científica na pós graduação em ciência da informação no Brasil. *Informação & Informação*, 15(1), 111–130. DOI: 10.5433/1981-8920.2010v15nesp.p111
- Carneiro, F. M., Nabout, J. C., & Bini, L. M. 2008. Trends in the scientific literature on phytoplankton. *Limnology*, 9(2), 153–158. DOI 10.1007/s10201-008-0242-8
- Clément, J. A. J., Magalon, H., Pellé, R., Marquer, B., & Andrivon, D. 2010. Alteration of pathogenicity-linked life-history traits by resistance of its host *Solanum tuberosum* impacts sexual reproduction of the plant pathogenic oomycete *Phytophthora infestans*. *Journal of Evolutionary Biology*, 23(12), 2668–2676. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2010.02150.x
- Colquhoun, D. 2003. Challenging the tyranny of impact factors. *Nature*, 423(6939), 479–480.
- Condamine, F. L., Rolland, J., Hohna, S., Sperling, F. A. H., & Sanmartín, I. 2018. Testing the role of the Red Queen and Court Jester as drivers of the

- macroevolution of apollo butterflies. *Systematic Biology*, 67 (6), 940–964. DOI: 10.1093/sysbio/syy009
- D'Abadia, P. L., & Rodrigues, F. M. 2012. Genética Evolutiva: uma análise da produção científica. *Revista EVS-Revista de Ciências Ambientais e Saúde*, 39(3), 345–352. DOI: 10.18224/est.v39i3.2649
- Dercole, F., Ferriere, R., Gragnani, A., & Rinaldi, S. 2006. Coevolution of slow-fast populations: evolutionary sliding, evolutionary pseudo-equilibria and complex Red Queen dynamics. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1589), 983–990. DOI: 10.1098/rspb.2005.3398
- Gaba, S., & Ebert, D. 2009. Time-shift experiments as a tool to study antagonistic coevolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(4), 226–232. DOI: 10.1016/j.tree.2008.11.005
- Gandon, S. 2002. Local adaptation and the geometry of host-parasite coevolution. *Ecology Letters*, 5(2), 246–256. DOI: 10.1046/j.1461-0248.2002.00305.x
- Grelle, C. E. V., Pinto, M. P., do Rego Monteiro, J. P., & Figueiredo, M. S. 2009. Uma década de Biologia da Conservação no Brasil. *Oecologia Brasiliensis*. 13(3), 420–433.
- Greenspoon, P. B. & Mideo, N. 2017. Parasite transmission among relatives halts Red Queen dynamics. *Evolution*, 71(3), 747–755. DOI 10.1111/evo.13157
- Haafke, J., Chakra, M. A. & Becks, L. 2016. Eco-Evolutionary feedback promotes Red Queen dynamics and selects for sex in predator population. *Evolution*, 70 (3), 641–652. DOI: 10.1111/evo.12885
- Hoffman, A. 1991. Testing the Red Queen Hypothesis. *Journal evolutionary biology*, 7, 1–7. DOI: 10.1016/j.tree.2008.04.010
- Jabbour, C. J. C., Jabbour, A. B. L. S., & Oliveira, J. H. C. 2013. “Decipher me or I’ll devour you”: an analysis of the variables and factors that influence the impact of scientific research developed in the area of sustainability in Brazil. *Perspectivas da Ciência da Informação*, 18(2), 79–90. DOI: 10.1590/S1413-99362013000200006
- Killick, S. C., Carlsson, A. M., West, S. A., & Little, T. J. 2006. Testing the pluralist approach to sex: the influence of environment on synergistic interactions between mutation load and parasitism in *Daphnia magna*. *Journal of Evolutionary Biology*, 19(5), 1603–1611. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2006.01123.x
- King, D. A. 2004. The scientific impact of nations: What different countries get for their research spending. *Nature*, 430, 311–316.
- Lima-Ribeiro, M. S., Nabout, J. C., Pinto, P. M., Moura, I. O., Melo, T. L., Costa, S. S., & Rangel, T. F. L. V. B. 2007. Análise Cienciométrica em ecologia de populações: Importância e tendências dos últimos 60 anos. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 29 (1), 39–47.
- Liow, L. H., Van Valen, L., & Stenseth, N. C. 2011. Red Queen: from populations to taxa and communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 349–358. DOI: 10.1016/j.tree.2011.03.016
- Lively, C. M. 2010. Parasite virulence, host life history, and the costs and benefits of sex. *Ecology*, 91(1), 3–6. DOI: 10.1890/09-1158.1
- Martins, R. P., & Lima, C. A. 2000. O desenvolvimento da ecologia no Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 1, 83–86
- MacPherson, A., & Otto, S. P. 2017. Joint coevolutionary-epidemiological models dampen Red Queen cycles and alter conditions for epidemics. *Theoretical Population Biology*, 122(2018), 137–148. DOI: 10.1016/j.tpb.2017.12.003
- McLennan, D. A., & Brooks, D. R. 1991. Parasites and sexual selection: a macroevolutionary perspective. *The Quarterly Review of Biology*, 66(3), 255–286. DOI: 10.1086/417242
- Milojevic, S. 2012. How are academic age, productivity and collaboration related to citing behavior of researchers? *PlosOne*, 7(11), 1–13. DOI:10.1371/journal.pone.0049176
- Morran, L. T., Schmidt, O. G., Gelarden, I. A., Parrish, R. C., & Lively, C. M. 2011. Running with the Red Queen: host-parasite coevolution selects for biparental sex. *Science*, 333(6039), 216–218. DOI: 10.1126/science.1206360
- Mugnaini, R., de Martino Jannuzzi, P., & Quoniam, L. 2004. Indicadores bibliométricos da produção científica brasileira: uma análise a partir da base Pascal. *Ciência da Informação*, 33(2), 123–131.
- Padial, A. A., Bini, L. M., & Thomaz, S. M. 2008. The study of aquatic macrophytes in Neotropics: a scientometrical view of the main trends and gaps. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 1051–1059. DOI: 10.1590/S1519-69842008000500012

- Rice, W. R., & Holland, B. 1997. The enemies within: intergenomic conflict, interlocus contest evolution (ICE), and the intraspecific Red Queen. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 41(1), 1–10.
- Rossi, S. M. 2011. Bourdieu e a Rainha Vermelha. *Atos de Pesquisa em Educação*, 6(3), 823–830.
- Riesch, R., Plath, M., Makowicz, A. M., & Schlupp, I. 2012. Behavioural and life-history regulation in a unisexual/bisexual mating system: does male mate choice affect female reproductive life histories? *Biological Journal of the Linnean Society*, 106(3), 598–606. DOI: 10.1111/j.1095-8312.2012.01886.x
- Scharnweber, K., Plath, M., & Tobler, M. 2011. Examination of boldness traits in sexual and asexual mollies (*Poecilia latipinna*, *P. formosa*). *Acta Ethologica*, 14(2), 77–83. DOI: 10.1007/s10211-011-0097-6
- Thomaz, S. M., Michelan, T. S., Carvalho, P., & Bini, L. M. 2010. The influence of “Homage to Santa Rosalia” on aquatic ecology: a scientometric approach. *Hydrobiologia*, 653, 7–13. DOI: 10.1007/s10750-010-0342-4
- VandenWyngaert, S., Gsell, A. S., Spaak, P., & Ibelings, B. W. 2013. Herbicides in the environment alter infection dynamics in a microbial host–parasite system. *Environmental Microbiology*, 15(3), 837–847. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2012.02874.x
- Van Valen, L. 1973. A New Evolution Law. *Evolutionary Theory*, 1, 1–30.
- Verbeek, A., Debackere, K., Luwel, M., & Zimmermann, E. 2002. Measuring progress and evolution in science and technology–I: The multiple uses of bibliometric indicators. *International Journal of Management Reviews*, 4(2), 179–211. DOI: 10.1111/1468-2370.00083

Submitted: 30 August 2019

Accepted: 30 February 2020

Published on line: 01 April 2020

Associate Editor: Fabiana Barbosa

Material Suplementar. Tabela S1: Lista dos 533 artigos, publicados em 141 periódicos, abordados nesta revisão.

Supplementary Material. Table S1: List of 533 papers, published in 141 periodicals, addressed in this revision.