

COEVOLUÇÃO

mapeando tendências e influências nas dinâmicas sócio-naturais e inovações

Jonas Conduru Barros Neto¹

Universidade Federal do Vale do São Francisco
jonas.barrosneto@discente.univasf.edu.br

Geysa Oliveira Lima Machado²

Universidade Federal do Vale do São Francisco
geysa.lima@discente.univasf.edu.br

Thaís Correia Magalhães³

Universidade Federal do Vale do São Francisco
thais.magalhaes@univasf.edu.br

Michely Correia diniz⁴

Universidade Federal do Vale do São Francisco
michely.diniz@univasf.edu.br

Resumo

A coevolução é um fenômeno fascinante que se manifesta de várias formas no mundo natural, incluindo simbiose, polinização, camuflagem, predação, corrida armamentista, e competição. Esses processos ilustram a complexa teia de interações que moldam a biodiversidade e a dinâmica dos ecossistemas. Quando aplicada à relação entre a sociedade e tecnologia, essa ideia captura a essência de como capacidades biológicas e inovações se moldam reciprocamente. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre coevolução biológica e sua influência nas dinâmicas sócio-naturais e inovações. O levantamento de dados foi realizado, de 2004 a 2024, nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. As pesquisas em coevolução, ao explorarem as interações dinâmicas entre organismos (humanos e não humanos) e seu ambiente, revelaram-se uma força motriz tanto na natureza quanto na inovação tecnológica. Ao mapear as tendências e influências das dinâmicas sócio-naturais e inovações, entende-se como essas relações complexas moldam a biodiversidade, a resiliência dos ecossistemas e a sociedade.

Palavras-chave: camuflagem; polinização assistida; hipótese da Rainha Vermelha.

COEVOLUTION:

mapping trends and influences on socio-natural dynamics and innovations

Abstract

Coevolution is a fascinating phenomenon that manifests itself in various ways in the natural world, including symbiosis, pollination, camouflage, predation, arms race, and competition. These processes illustrate the complex web of interactions that shape biodiversity and the dynamics of ecosystems. When applied to the relationship between society and technology, this idea captures the essence of how biological capacities and innovations shape each other. The objective of this work was to carry out a literature review on biological coevolution and its influence on socio-national dynamics and innovations. The data survey was conducted from 2004 to 2024 in the web of science and scopus databases. Research in coevolution, by exploring the dynamic

¹ Graduando em Ciências Biológicas (UNIVASF)

² Graduanda em Ciências Biológicas (UNIVASF)

³ Mestre em Genética e Biologia Molecular (UESC)

⁴ Doutora em Biotecnologia e Professora do Programa Profissional de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - PROFNIT



Esta obra está licenciada sob uma licença

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

P2P & INOVAÇÃO, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 1-21, e-7450, jan./jun. 2025.

interactions between organisms (human and non-human) and their environment, revealed a driving force in both nature and technological innovation. By mapping the trends and influences of socio-national dynamics and innovations, these complex relationships shape biodiversity, resilience of ecosystems and society.

Keywords: camouflage; assisted pollination; Red Queen Hypothesis.

COEVOLUÇÃO:

tendências e influências de mapeo em dinâmicas e inovações socio-naturais

Resumen

La coevolución es un fenómeno fascinante que se manifiesta de varias maneras en el mundo natural, incluida la simbiosis, la polinización, el camuflaje, la depredación, la carrera armamentista y la competencia. Estos procesos ilustran la compleja red de interacciones que dan forma a la biodiversidad y la dinámica de los ecosistemas. Cuando se aplica a la relación entre la sociedad y la tecnología, esta idea captura la esencia de cómo las capacidades biológicas e innovaciones se forman mutuamente. El objetivo de este trabajo era llevar a cabo una revisión de la literatura sobre la coevolución biológica y su influencia en la dinámica e innovaciones sacionacionales. La encuesta de datos se realizó de 2004 a 2024 en la Web of Science and Scopus Database. La investigación en coevolución, al explorar las interacciones dinámicas entre los organismos (humanos y no humanos) y su entorno, reveló una fuerza impulsora tanto en la naturaleza como en la innovación tecnológica. Al mapear las tendencias e influencias de la dinámica e innovaciones sacionacionales, estas relaciones complejas dan forma a la biodiversidad, la resiliencia de los ecosistemas y la sociedad.

Palabras clave: camuflaje; polinización asistida; Hipótesis de la reina roja.

1 INTRODUÇÃO

A evolução biológica é um processo fundamental que tem moldado todas as formas de vida na Terra ao longo de bilhões de anos. Através da seleção natural, mutação, deriva genética e fluxo gênico, os organismos se adaptam aos seus ambientes, resultando em uma diversidade impressionante de espécies. Características vantajosas são preservadas e transmitidas às gerações futuras, enquanto aquelas que não contribuem para a sobrevivência e reprodução tendem a desaparecer. Esse processo contínuo de adaptação e transformação é responsável pela complexidade biológica que observamos hoje, desde as formas de vida tidas como mais simples, como bactérias, até os organismos mais complexos, como plantas e animais.

O processo pelo qual duas ou mais espécies interagem direta ou indiretamente e mudam (evoluem) em resposta mútua às mudanças em cada uma delas é denominado de coevolução. A coevolução é um fenômeno fascinante que se manifesta de várias formas no mundo natural, incluindo simbiose, polinização, camuflagem, predação, corrida armamentista, e competição. Esses processos ilustram a complexa teia de interações que moldam a biodiversidade e a dinâmica dos ecossistemas (Reynolds, 2023). Quando aplicada à relação entre sociedade e tecnologia, essa ideia captura a essência de como as capacidades biológicas e inovações se moldam reciprocamente.

A inovação, em suas variadas formas, por outro lado, é uma característica distintiva da humanidade que tem acelerado a evolução cultural e social. Ferramentas e tecnologias desenvolvidas ao longo da história, como o fogo, a roda, a agricultura e a *internet*, transformaram radicalmente a forma como os seres humanos interagem com o mundo e entre si. A capacidade de inovar permitiu a expansão para novos ambientes, o aumento da eficiência na produção de alimentos, melhorias na saúde e o surgimento de sociedades complexas.

A inovação, principalmente a tecnológica, não só altera a trajetória da evolução cultural, mas também tem implicações biológicas e sociais, influenciando padrões de comportamento, saúde e até a estrutura genética das populações ao longo do tempo. Juntas, a coevolução biológica e a inovação moldam o destino da humanidade de maneiras profundas e interconectadas.

Em suma, a coevolução biológica e as inovações são forças poderosas que têm moldado a jornada dos seres vivos. Esse relacionamento simbiótico, caracterizado por um ciclo contínuo de influência mútua, continuará a definir o futuro das espécies. A compreensão

dessa dinâmica é crucial para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades que se apresentam para um ambiente mais avançado e equilibrado.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura sobre coevolução biológica e sua influência nas dinâmicas sócio naturais e inovações.

2 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão literatura de caráter exploratório e descritivo. O levantamento de dados foi realizado, no recorte de tempo de 2004 a 2024, nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. O termo *Coevolution* foi combinado no campo de busca simples com os termos *mimicry and predation*; *camouflage and predation*; *arms race and red queen*; *competition and interspecific*; *Symbiotic*, *Pollination*; com filtro apenas para artigos.

Os resultados foram analisados em relação aos seguintes critérios: anos das publicações, idiomas, tipo de publicação, países de origem e palavras-chave. Os dados obtidos foram avaliados através de estatística descritiva no Microsoft® Windows® Excel® 2010 e agrupados em gráficos e tabelas.

Foi elaborada uma rede de coocorrência das palavras-chave dos artigos recuperados nas buscas na plataforma *Web of Science*, utilizando do *software VOSviewer* versão 1.6.20 (Van Eck; Waltman, 2010). A rede usa linhas e cores para enfatizar conceitos que estão interligados. Configurou-se o *software* para usar os dados de texto extraídos do título e do resumo, usando o método de contagem completa (todos os termos que ocorrem nos documentos), e exibir os termos citados mais de 15 vezes, resultando na formação de *clusters* mais significativos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

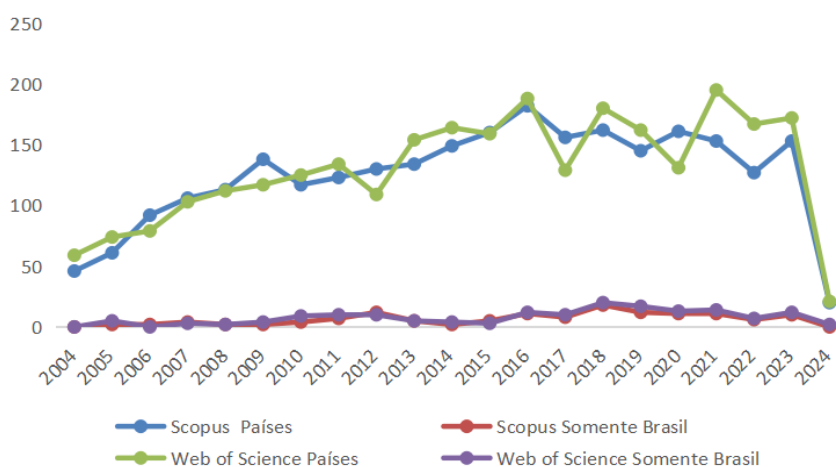
O Gráfico 1 sumariza os resultados gerais em ambas as plataformas com os termos pesquisados. No período pesquisado, a plataforma *Web of Science* apresentou 2.734 artigos, enquanto a *Scopus* 2.628, uma diferença de apenas 106 artigos. Quando foi considerada as publicações relativas somente ao Brasil, *Web of Science* apresentou 162 artigos, enquanto a *Scopus* 134, uma diferença de apenas 28 artigos. Em geral, o ano de 2021 foi o de maior pico para *Web of Science*, com 209 artigos, enquanto a *Scopus* apresentou 164. Já o ano de 2016, foi o de maior pico para *Scopus* com 193, e *Web of Science* teve 200.

A combinação *Coevolution* e *arms race* e *red queen* foi a que teve maior quantidade em ambas as plataformas *Web of Science* (828 - 30%) e *Scopus* (672 - 25%). No que se refere

ao Brasil, o destaque foi a combinação *Coevolution* e *camouflage e predation*, com *Web of Science* (56 - 2%) e *Scopus* (42 - 1,5%).

Os dados numéricos da *Scopus* e *Web of Science* mostraram-se similares por várias razões relacionadas à cobertura, metodologia e objetivos das duas bases de dados. Ambas são importantes recursos de pesquisa que indexam uma vasta gama de literatura científica, e suas semelhanças derivam de várias características compartilhadas (Martin *et al.*, 2019).

Gráfico 1 – Resultado geral das buscas nas plataformas Scopus e Web of Science com os termos *Coevolution* and: *mimicry and predation*; *camouflage and predation*; *arms race and red queen*; *competition and interspecific*; *Symbiotic*, *Pollination*;



Fonte: Autoria própria, 2024.

Os principais assuntos tratados sobre a temática *arms race* (estratégias de defesa e ataque) e *red queen* (Hipótese da Rainha Vermelha) discutem e contribuem com mecanismos imunológicos no sistema de interação de bactéria-vírus (Van Houte *et al.*, 2016). Apresentando algumas aplicações e inovações importantes dessas pesquisas como na produção de linhagens bacterianas resistentes ao vírus bacteriófago nas indústrias e agricultura, assim como o desenvolvimento de tratamentos antibióticos com os fagos virais contra bactérias resistentes (Van Houte; Buckling; Westra, 2016). A maioria desses artigos receberam mais citações entre 2019 e 2021. O relatório dessas citações, de acordo com o *Web Of Science*, evidencia artigos, e tecnologias sobre a Covid-19 (Diniz *et al.*, 2020) e abordam as áreas da microbiologia, imunologia e biologia molecular.

Outros tópicos que apareceram com destaque ainda em 2016 foram em relação a interações entre insetos e fungos patogênicos, com potenciais implicações práticas envolvendo, por exemplo, controle biológico (Lu; Leger, 2016; Santos; Hanna, 2017). A

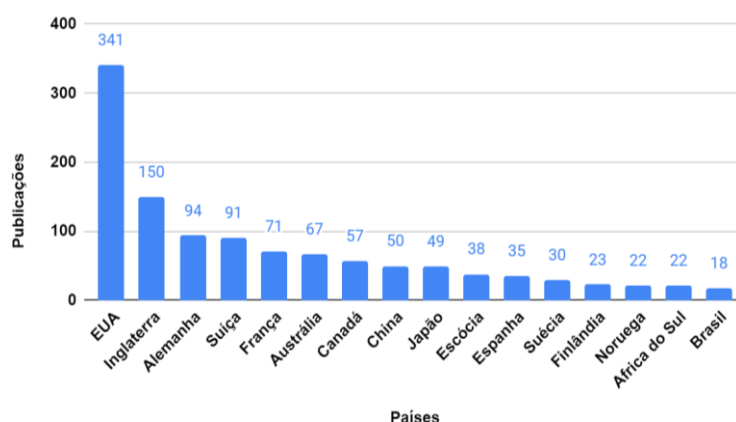
relação de herbivoria com o desenvolvimento de compostos secundários como defesa para as plantas é revisada por Mithöfer e Boland (2012). Plantas são estudadas também na interação com patógenos, no desenvolvimento de adaptações recíprocas a nível genético (Dodds *et al.*, 2006). Em um trabalho de revisão mais recente, os autores tratam de como a corrida armamentista entre as plantas e insetos herbívoros contribuem com a plasticidade fenotípica das espécies vegetais (Wang *et al.*, 2023).

Experimentando as dinâmicas coevolutivas em um sistema parasito-hospedeiro, Decaestecker *et al.* (2007) evidenciam como o mecanismo da Rainha Vermelha pode ser visto ao longo do tempo. Parker (2006) apresentou uma revisão sobre interações antagônicas entre machos e fêmeas, em modelos de resolução de conflitos e seleção sexual antagonística. Destacam-se ainda trabalhos que envolvem a Hipótese da Rainha Vermelha, em que se investiga como a interação coevolutiva na relação antagônica age na divergência evolutiva no sistema bactérias-fagos virais (Paterson *et al.*, 2010; Van Hout *et al.*, 2016). Siedentop *et al.*, (2024) discutem a corrida armamentista entre bactérias e os fagos virais.

A análise dos autores que mais contribuíram indica uma variedade de estudos que realizam testes para Hipótese da Rainha Vermelha através de sistemas de interações distintos. Modelos de dinâmica coevolutiva entre parasito-hospedeiro com a espécie de crustáceo *Daphnia* e seus microparasitos (Decaestecker *et al.*, 2007; Ebert, 2008); com aves parasitas de ninhos (Feeney; Welbergen; Langmore, 2014); com bactérias e vírus (Gómez; Buckling, 2011; Fortuna *et al.*, 2019). Além desses testes experimentais, destacam-se trabalhos sobre metodologias para análise de estudos de interações entre espécies em adaptação recíproca com uso de modelos matemáticos (Yoder; Nuismer, 2010; Nuismer; Week, 2019).

A autora com maior número de publicações no período foi Lively. Muitos de seus trabalhos são sobre testes da Hipótese da Rainha vermelha em patógenos como agentes de seleção e persistência da fecundação cruzada (Jokela; Dybdahl; Lively, 2009; Lively, 2010), bem como a demonstração que a dinâmica parasito-hospedeiro funciona como mecanismo garantidor de diversidade genética (Koskella; Lively, 2007). Os países que mais tiveram publicações na temática *arms race* (estratégias de defesa e ataque) e *red queen* (Hipótese da Rainha Vermelha), como mostrados no Gráfico 2, basicamente são os que fazem parte do norte global, com grande destaque para os Estados Unidos da América e o continente europeu.

Gráfico 2 – Resultado das publicações, por países, na temática *arms race* (estratégias de defesa e ataque) e *red queen* (Hipótese da Rainha Vermelha) em ambas as plataformas



Fonte: Autoria própria, 2024.

Assim, uma tendência indicada pelos achados desse estudo é em relação à riqueza de sistemas de interações antagônicas entre espécies (herbivoria, parasito-hospedeiro, hospedeiro-patógeno) e entre indivíduos da mesma espécie (conflito sexual). Sobre esse ponto de vista, Dixit (2024) propõe uma redefinição para coevolução mais ampla que abrange diferentes níveis de organização biológica. Ademais, encontra-se testes e experimentos com grupos de organismos diferentes, evidenciando modelos e simulações para o teste da Hipótese da Rainha Vermelha.

Os estudos demonstraram como a coevolução de diferentes estratégias de defesa e ataque, sobretudo contra parasitos, foi fundamental para evolução da reprodução sexuada e a fecundação cruzada, sendo um importante processo de divergência genética. Uma perspectiva que aparenta estar valorizada nas investigações nesse campo encontra-se na relação entre a ecologia e a evolução. A partir da estruturação das redes de interações envolvendo várias espécies agindo umas sobre as outras em diferentes níveis de seleção (dinâmica coevolutiva e adaptações recíprocas).

A observação dos trabalhos publicados no Brasil mostra que ainda o campo no país é pouco explorado, com nenhum artigo da temática publicado em metade dos anos do período do levantamento, e um número muito baixo em relação ao total (18), sem diferença entre as bases de dados. O ano de maior publicação foi 2019, apresentando estudos de revisão que evidenciam sinais de interação entre espécies em escala macro-evolutiva (Harmon *et al.*, 2019); como visto anteriormente na análise mais geral, também aparece aqui estudo sobre a evolução da síntese de metabólitos secundários e sua diversidade em *Euphorbia* sp. (Ernst *et al.*, 2019) e sobre a dinâmica de corrida armamentista entre borboletas e plantas (Andreazzi; Astegiano; Guimarães, 2020; Castro *et al.*, 2018).

Acompanhando a tendência geral aqui apontada, ressalta-se trabalhos eco-evolutivos, em que se aborda o desenvolvimento de modelos que demonstram como a coevolução molda ou é capaz de moldar a estrutura de uma rede de interação entre espécies (Andreazzi; Thompson; Guimarães, 2017; Salazar *et al.*, 2018). Além disso, o conflito sexual antagonista intraespecífico foi também um tópico explorado (Crumière *et al.*, 2019).

A predação, uma ação biológica, é vista como a pressão seletiva mais forte da natureza em que um organismo necessita matar o outro para sobreviver podendo levar ao surgimento de adaptações. A camuflagem também pode ser encontrada em predadores, e tem como objetivo o ganho de proximidade com as presas. Apesar dos diversos estudos relacionados à camuflagem, a camuflagem predatória possui menos atenção que a camuflagem anti-predador (Pembury *et al.*, 2020).

Ela desempenha um papel fundamental na formação das comunidades e ecossistemas, influenciando-os de várias maneiras. Contribui para a rotação de recursos, aumenta a abundância e diversidade das espécies de presas, estimula o desenvolvimento de novas características tanto para predadores quanto para suas presas e, indiretamente, modifica as interações das presas com outras espécies não predadoras. Esse aumento na variabilidade do ambiente biótico ao longo do tempo é esperado para acelerar a evolução adaptativa, comparado com cenários onde tais interações não ocorrem (Nair, 2019).

A camuflagem é uma adaptação animal utilizada para estratégias de predação e em anti-predação, certos animais a expressam para maximizar a sobrevivência e a aptidão. A camuflagem é um termo que abrange diversas técnicas usadas por animais para impedir sua detecção, podendo ser elas crípe, que envolve o atraso da detecção do animal por conta da modificação da cor, a transparência, a auto decoração, correspondência de fundo dentre outras adaptações. Dentre a diversa gama de estratégias relacionadas a camuflagem, encontra-se o mimetismo onde um organismo vai se assemelhar a outro com o intuito de confundir, essa é uma característica que vai alterar as pressões de seleção sobre o modelo imitado (Pembury *et al.*, 2020).

A correspondência de fundo, define uma estratégia de camuflagem em que o indivíduo possua uma aparência que corresponda a um ou mais fundos, tornando sua difícil visualização por predadores. A mariposa líquen da Ilha do Norte *Declana atronivea* possui um padrão de asas preto e branco que lhe permite se camuflar no líquen, sua aparência corresponde a função de correspondência de fundo. Esse estudo analisou sua sobrevivência em líquen e no fundo com casca simples, o padrão de predação foi mais baixo entre mariposas e substrato líquen.

Sua coloração proporciona uma vantagem significativa de sobrevivência contra predadores aviários daquela região (Mark *et al.*, 2022).

Ao ser avaliada a camuflagem relacionada à cobertura de neve, um estudo na Suécia evidenciou que devido às mudanças climáticas, ocorre grande desfasamento quando se trata de troca de pelagem e as mudanças sazonais do ambiente. O estudo foi realizado com iscas brancas e marrons para avaliação da camuflagem e predação. Esses resultados fornecem *insights* sobre a oferta de uma pelagem colorida e a necessidade dessa adaptação para maximizar a exibição de um ambiente exposto à alta sazonalidade. A baixa cobertura de neve por conta das mudanças climáticas deixa evidente que os animais que apresentam pelagem colorida no período de neve sofrerão mais com o impacto da predação, podendo chegar à extinção da espécie (Otte *et al.*, 2024).

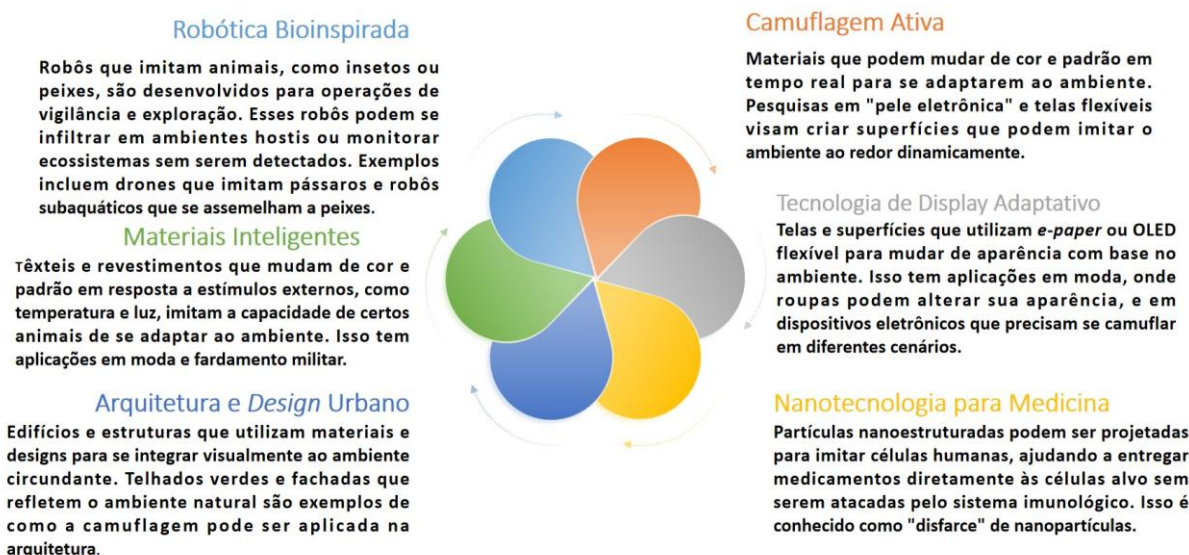
Na natureza, os seres vivos podem se parecer por diversos motivos, como herança filogenética compartilhada, evolução convergente e acaso (Grim, 2013). Contudo, em algumas situações, a semelhança é resultado da seleção natural que favorece a aproximação entre um organismo (o mimético) e outro organismo da mesma espécie, de espécie diferente ou mesmo um objeto inanimado (o modelo). Esse fenômeno é conhecido como mimetismo, um processo intrigante que engloba alguns dos exemplos mais marcantes de adaptação biológica (Jamie, 2017).

Em 1852 um grande naturalista alemão Friedrich Müller, em uma viagem ao Brasil se impressionou com um fenômeno visto em borboletas, mimetismo. Inicialmente tentou explicar isso através da seleção sexual, em 1978 assumiu que o mimetismo surgiu como consequência da seleção imposta pela predação. A teoria de Müller se baseia na força dos números, em que duas ou mais espécies intragáveis para predadores desenvolvem aparência semelhante por partilharem os custos da mortalidade, podendo assim evitar predadores (Sherratt, 2008).

O mimetismo batesiano é um dispositivo anti-predador bastante desenvolvido em artrópodes, muito utilizado por aranhas saltadoras, como pode ser visto neste estudo realizado com aranhas da espécie *Myrmarachne*. Aranhas saltadoras pequenas usam mimetismo para parecer formigas, assim, evitando ser atacadas por aranhas saltadoras maiores. Formigas são grandes predadoras de artrópodes, como aranhas, esse estudo demonstra que aranhas saltadoras em estágio juvenil podem ser vistas como presas por aranhas saltadoras maiores, com isso, o mimetismo batesiano é usado para parecerem com formigas no estágio inicial da vida desta forma conseguem proteção contra a predação de salitideos (Huang *et al.*, 2011).

As inovações baseadas no mimetismo e na camuflagem têm avançado significativamente, inspirando-se em processos naturais para desenvolver soluções inovadoras para a sociedade em diversas áreas, desde a defesa até a moda, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Inovações que apresentam mecanismos semelhantes no mimetismo e na camuflagem



Fonte: Autoria própria, 2024.

Além da camuflagem ativa e visual, há também esforços para desenvolver tecnologias que ocultem a assinatura térmica de objetos e pessoas (Gallagher; Oughton, 2023). Materiais e revestimentos que controlam a emissão de calor podem tornar alvos mais difíceis de detectar por câmeras infravermelhas e outros sensores térmicos (Usamentiaga *et al.*, 2024)

As tecnologias baseadas no mimetismo e camuflagem representam uma área de inovação que combina biologia, engenharia e *design* para criar soluções que se adaptam e se escondem no ambiente. À medida que o avança o conhecimento sobre os mecanismos naturais de mimetismo camuflagem, novas aplicações e inovações continuarão a emergir, expandindo as possibilidades de como integrar e interagir com os ambientes, utilizando também bioimpressão 3D e fabricação de tecidos biomiméticos (É *et al.*, 2020).

Considerando os termos *competition* and *interspecific*. A base com maior resultado foi a *Web Of Science* (118). Os anos com maior número de publicações foram em 2019 e 2015. No caso da relação de competição entre as espécies, a coevolução entre os pares envolvidos se manifesta quando existe uma assimetria, em que uma das espécies é mais competente, o que ocorre é uma segregação, com a redução na intensidade competitiva (Wang *et al.*, 2019). Quando a interação entre os competidores tende excluir um ao outro em determinado nicho,

tem como consequência a diversificação (Yoder; Nuismer, 2010). Case *et al.* (2005) destacam a interação interespecífica como um fator importante de limitação da distribuição geográfica. Nos limites da área, a coevolução entre as espécies, em competição por exemplo, pode atuar através de seleção estabilizadora.

Ao avaliar a dinâmica de competição entre raízes de plantas, Schenk (2006) discute os fatores envolvidos que influenciam a interação a nível das condições bióticas e abióticas do solo. Mecanismos espécie-específicos e a estrutura do solo podem favorecer, por exemplo, a invasão de espécies de plantas exóticas. Além disso, possibilita a diversificação e coexistência de espécies.

Vários estudos apontaram para a perspectiva eco-evolutiva das interações entre os organismos e em como essa dinâmica constroem as comunidades. Wang *et al.* (2019) apresentam um trabalho em que é testado o que ocorre em diferentes modos de interações (mutualismo, competição e antagonismo) e concluem com as implicações que estas diferentes interações podem levar (co-especiação, co-diversificação). Desenvolvimento de modelos matemáticos que testam a preditibilidade das teorias de estruturação de comunidades, realizados a partir de traços evolutivos observados na filogenia (Nuismer; Harmon, 2015).

Os princípios das interações do tipo competição estão presentes em diversas inovações tecnológicas e científicas, como:

-Sistemas de Manejo de Ecossistemas: Implementação de práticas que promovem a competição entre espécies invasoras e nativas, ajudando a restaurar ecossistemas naturais. Por exemplo, a introdução de espécies nativas que competem com plantas invasoras para controlar sua disseminação (Virginia, 2024).

-Probióticos e Prebióticos: Desenvolvimento de suplementos alimentares que promovem a competição entre bactérias benéficas e patogênicas no intestino humano, melhorando a saúde digestiva e imunológica (Pires *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2024;).

-Algoritmos Evolutivos: Programas de computador que utilizam princípios de competição biológica para resolver problemas complexos. Esses algoritmos simulam a seleção natural, onde as soluções competem entre si e as melhores são selecionadas para evoluir em gerações subsequentes (Moraneus, 2024).

-Redes Neurais Artificiais: Inspiradas pela competição entre neurônios no cérebro, essas redes utilizam processos de aprendizado que imitam como os neurônios competem e colaboram para processar informações, melhorando a eficiência e a precisão em tarefas como reconhecimento de imagem e processamento de linguagem natural (Ahmed, 2021)

Essas inovações não só promovem a sustentabilidade e eficiência, mas também incentivam uma abordagem mais harmoniosa e integrada com o meio ambiente.

Para os termos *Coevolution* e *Symbiotic*, as duas bases mostraram um retorno de artigos bem próximos, sendo que a base *Scopus* totalizou 401 artigos, enquanto a base *Web of Science* retornou 357 artigos.

Relações simbióticas são formas de interação entre seres vivos de espécies diferentes, podendo esse contato ser benéfico, prejudicial ou até mesmo neutro, para uma ou ambas as espécies. Um desses tipos de simbiose é o mutualismo, onde ambas as espécies envolvidas irão se beneficiar da relação. Esse tipo de relacionamento pode levar ao processo de coevolução, em que duas espécies diferentes vão ter interações que trarão mudanças para ambas (Burger *et al.*, 2024) ou para o ambiente.

Segundo Sthephens *et al.*, (2023), o mutualismo entre angiospermas e insetos polinizadores é considerada uma relação ancestral, preservada ao longo de 86% da história evolutiva dessas plantas. Com aproximadamente 89% das famílias modernas de angiospermas sendo polinizadas por insetos, fica evidente a importância crucial dessa relação para a reprodução e sobrevivência das plantas atualmente.

As temáticas mais pesquisadas foram sobre as relações simbióticas que ocorrem entre as plantas e os fungos, formando as micorrizas, e as relações de mutualismo entre os hospedeiros humanos e os microrganismos que fazem parte de sua microbiota. Além disso, as pesquisas mostraram que os países que mais publicaram, de acordo com as duas bases de dados foram: Estados Unidos, China e França.

Com relação ao Brasil, os artigos que vem sendo produzidos trazem temas como: Bacteriomas de espécies de plantas, identificação de proteínas envolvidas com a adaptação e evolução de membros da família *Xanthomonadaceae* associados a plantas, estudo da evolução da microbiota oral de povos indígenas, entre outros. Observou-se que os temas que vem sendo desenvolvidos no Brasil divergem em parte com as pesquisas desenvolvidas no mundo.

Associações microbianas do tipo fungos e bactérias são utilizadas para o desenvolvimento de várias tecnologias para os mais diversos fins, dentre eles a biorremediação de metais pesados (Santos *et al.*, 2018).

Para os termos *Coevolution* e *Pollination*, as duas bases mostraram um retorno de artigos bem próximos, sendo que a base *Scopus* totalizou 355 artigos, enquanto a base *Web of Science* retornou 374 artigos.

A relação entre as plantas e os seus polinizadores muitas vezes resulta no processo de coevolução, em que as plantas evoluem as suas estruturas florais e os polinizadores

desenvolvem estratégias para reprodução e dispersão de pólen ao longo do tempo (Stephens *et al.*, 2023). Gostinski *et al.* (2016) realizaram uma prospecção de tecnologias que mapeassem o comportamento de polinizadores.

Embora algumas plantas possam ser polinizadas pelo vento ou até mesmo possuírem flores autopolinizadas, é notado que até um terço das angiospermas não produzem semente sem que ocorra a polinização por algum animal (Rodger *et al.*, 2021). As plantas desenvolveram uma variedade de adaptações que se tornaram ferramentas atraentes para os polinizadores, como insetos, pássaros e mamíferos. O processo pelo qual os métodos de polinização mudaram ao decorrer do tempo segue sendo uma questão central na evolução dessas espécies (Ollerton *et al.*, 2019; Sauquet; Magallón, 2018). Além disso, as pesquisas realizadas com esses termos, mostraram que os países que mais publicaram, de acordo com as duas bases de dados são: Estados Unidos, China e Inglaterra.

Com relação ao Brasil, os artigos que vem sendo produzidos trazem temática como: a coevolução em redes mutualísticas; como as redes ecológicas moldam o mutualismo na coevolução; a coevolução relacionada com redes antagônicas e mutualísticas, entre outros. Observa-se que os temas que vem sendo desenvolvidos no Brasil são similares com as pesquisas desenvolvidas no mundo. A Figura 2 ilustra algumas inovações inspiradas na simbiose e polinização.

13

Figura 2 - Inovações para a sociedade que utilizam princípios da simbiose e polinização



Fonte: Autoria própria, 2024.

A Figura 3 mostra a análise de co-ocorrência de termos obtidos nos resultados da plataforma *Web of Science*, que resultou no maior número de dados. Foram selecionados os

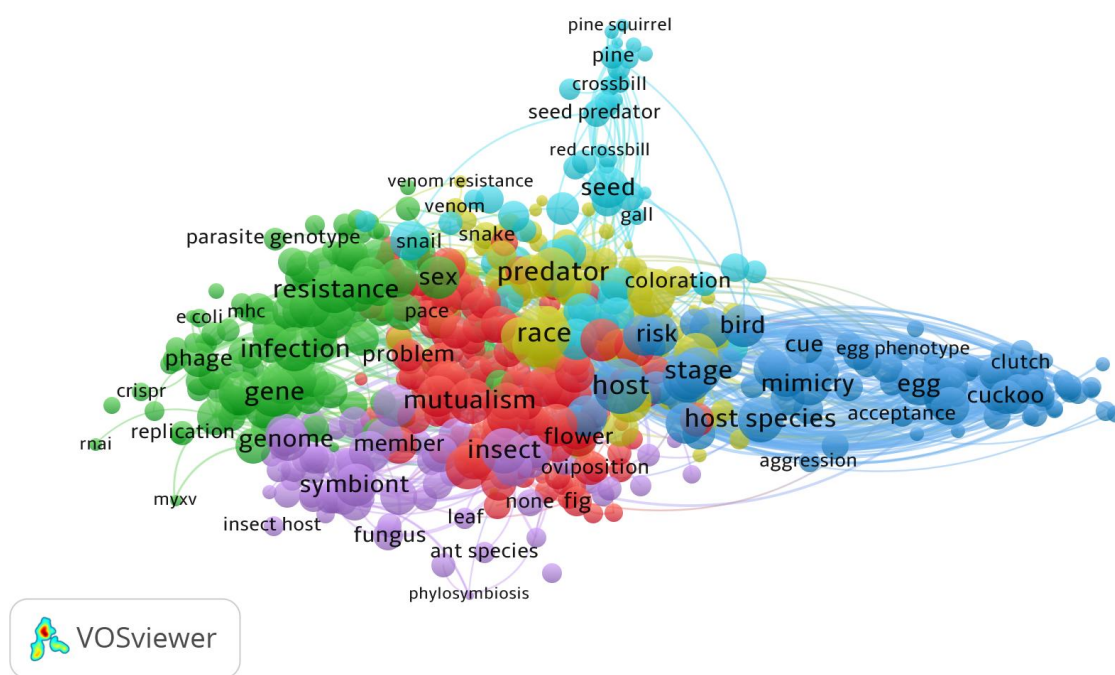
resultados dos artigos, com todos os termos pesquisados, no título ou abstract, *mimicry and predation; camouflage and predation; arms race and red queen; competition and interspecific; Symbiotic, Pollination,*

Foram detectados inicialmente 45.784 termos, destes 1.060 estavam dentro das configurações, e destes apenas 636 (60%) foram evidenciadas no mínimo 15 vezes, resultando numa rede de interação que formou seis *clusters* principais (vermelho, azul, verde, amarelo, cinza e lilás).

O Termo *Host* do *cluster* cinza foi o que apresentou o maior número de interações, estando ligado a outros termos 581 vezes. *Host* pode ser traduzido como hospedeiro, essa ocorrência na maior parte dos trabalhos pode ser explicada devido a esse papel ser fundamental nos estudos coevolutivos porque se refere ao organismo que serve de ambiente ou fonte de recursos para outro organismo, conhecido como parasita, simbiote, ou mutualista. A interação entre hospedeiro e parceiro coevolutivo é um dos principais motores da coevolução, pois pressões seletivas recíprocas entre essas entidades podem levar a adaptações contínuas e complexas.

O papel "hospedeiro" ou *Host*, representado pelo termo que ocorre na maior parte dos estudos, é portanto, crucial para entender como as interações biológicas moldam a evolução e a ecologia dos organismos.

Figura 3 - Rede multivariada de co-ocorrência de palavras-chaves no resultados do *Web of Science*.



Fonte: Autoria própria através VOSviewer, 2024.

O VOSViewer é um *software* gratuito da Universidade de Leiden, Holanda, e pode ser utilizado em qualquer conjunto de dados de redes e adota o método conhecido como VOS (*Visualization of Similarities*) para definir os nós e ligações de sua rede (Moreia; Tsunoda, 2020). Assim, a rede multivariada obtida neste trabalho corroborou com os achados das áreas de pesquisa dos resultados anteriores, ressaltando as palavras que mais se repetiram nas publicações pesquisadas.

4 CONCLUSÃO

O estudo em termos quantitativos não mostrou diferenças significativas entre as duas plataformas utilizadas. Como descrito, o Brasil ainda fica atrás dos demais países em números de publicações em praticamente todos os subtemas abordados.

As pesquisas em coevolução, ao explorarem as interações dinâmicas entre organismos e seu ambiente, revelaram-se uma força motriz tanto na natureza quanto na inovação tecnológica. Percebe-se a influência dos processos coevolutivos como simbiose, polinização e competição, nas inovações humanas. Desde práticas agrícolas sustentáveis e tecnologias de energia renovável até avanços na biotecnologia e engenharia, a aplicação dos princípios coevolutivos demonstra um potencial vasto para criar soluções eficientes e sustentáveis.

A compreensão aprofundada dos mecanismos coevolutivos não apenas ilumina o funcionamento intrincado da natureza, mas também proporciona um modelo para a inovação adaptativa e integrada. À medida que se desvenda as nuances da coevolução, emergem novas oportunidades para desenvolver tecnologias que não só imitam a natureza, mas que também colaboram com ela, promovendo um futuro em que o progresso tecnológico e sustentabilidade ambiental caminham lado a lado.

5 PERSPECTIVAS FUTURAS

Os avanços nas pesquisas em Evolução Biológica, com enfoque na coevolução e seus processos, vão trazer oportunidades para explorar e aplicar os princípios coevolutivos de maneiras inovadoras e sustentáveis.

Espera-se que os EUA continuem na vanguarda das pesquisas com os temas coevolutivos elencados, em relação aos demais países, devido aos vultuosos investimentos em infraestrutura e capital intelectual humano. Em relação ao Brasil, o tema Coevolução e simbiose exibiu uma lacuna que pode ser mais explorada a fim de que não fique tão aquém dos demais países nesse tópico.

Vislumbra-se, como tendência de pesquisa e desenvolvimento nos países, a integração avançada de Biotecnologia e Ecologia, com uso de ferramentas de edição gênica e desenvolvimento de novas formas de simbiose entre organismos, como plantas e microrganismos, para melhorar a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental.

Na área de Agroecologia e Agricultura Regenerativa, espera-se a implementação de práticas agrícolas que imitam os processos naturais de coevolução, promovendo a biodiversidade, a saúde do solo e a resiliência e equilíbrio dos ecossistemas. Bem como avanços em robótica e inteligência artificial para criar sistemas de polinização eficientes que complementam ou substituem polinizadores naturais em áreas onde suas populações estão em declínio.

Na Saúde e Medicina, espera-se o avanço no uso de Microbiomas e Terapias Personalizadas que promovam a saúde através da simbiose com microrganismos benéficos.

Além disso é fundamental a promoção de Programas Educacionais e de Extensão que desenvolvam currículos e programas que ensinem os princípios da coevolução e suas aplicações, intensificando uma maior conscientização e engajamento público. Bem como Políticas Públicas e Planejamento Urbano que implementem práticas coevolutivas em planejamento urbano e rural, promovendo o desenvolvimento sustentável e a conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Khadeer. Brain-Inspired Spiking Neural Networks. In: HABIB, Maki K.; MARTÍN-GÓMEZ, César (eds.). **Biomimetics**. [S.l.]: IntechOpen, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93435>. Acesso em:
- ANDREAZZI, C. S.; ASTEGIANO, J.; GUIMARÃES, P. R. Coevolution by different functional mechanisms modulates the structure and dynamics of antagonistic and mutualistic networks. **Oikos**, v. 129, n. 2, p. 224–237, fev. 2020. DOI: 10.1086/692110
- ANDREAZZI, C. S.; THOMPSON, J. N.; GUIMARÃES, P. R. Network structure and selection asymmetry drive coevolution in species-rich antagonistic interactions. **American Naturalist**, v. 190, n. 1, p. 99–115, 2017. DOI: 10.1086/692110
- BURGER, N.; FRANCOIS, V.; NICOLIS, V. F.; BOTHA, A. Host-specific co-evolution likely driven by diet in *Buchnera aphidicola*. **BMC genomics**, v. 25, n. 1, p. 153, 2024.
- CASE, T. J. *et al.* The community context of species' borders: Ecological and evolutionary perspectives. **Oikos**, jan. 2005. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2005.13148.x
- CASTRO, É. C. P. de *et al.* The arms race between heliconiine butterflies and *Passiflora* plants – new insights on an ancient subject. **Biological Reviews**, v. 93, n. 1, p. 555–573, fev. 2018. DOI: 10.1086/692110
- CRUMIÈRE, A. J. J. *et al.* Escalation and morphological constraints of antagonistic armaments in water striders. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, n. jun, 2019. DOI: 10.3389/fevo.2019.00215
- DECAESTECKER, E. *et al.* Host-parasite “Red Queen” dynamics archived in pond sediment. **Nature**, v. 450, n. 7171, p. 870–873, dez. 2007. DOI: 10.1038/nature06291
- DINIZ, M. C.; MARTINS, M. G.; XAVIER, K. V. M.; SILVA, M. A. A. da; SANTOS, E. de A. Crise Global Coronavírus: monitoramento e impactos. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 2, p. 359, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i2.35937>. Acesso em:
- DIXIT, T. A synthesis of coevolution across levels of biological organization. **Evolution**, v. 78, n. 2, p. 211-220, fev. 2024. DOI: 10.1093/evolut/qpad082
- DODDS, P. N. *et al.* Direct protein interaction underlies gene-for-gene specificity and coevolution of the flax resistance genes and flax rust avirulence genes. **PNAS**, v. 103, n. 23, p. 8888-8893, jun. 2006. DOI: 10.1073/pnas.0602577103
- É, G. do N.; PEDUTI, G. P.; CARVALHO, A. M. L. de; RABELO, A. dos S.; DINIZ, M. C. Bioimpressão 3D de Tecidos e Órgãos: uma prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 5, p. 1383, Oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i5.33571>. Acesso em:
- EBERT, D. Host-parasite coevolution: Insights from the *Daphnia*-parasite model system. **Current Opinion in Microbiology**, v. 11, p. 290-301, jun. 2008. DOI: 10.1016/j.mib.2008.05.012

ERNST, M. *et al.* Assessing specialized metabolite diversity in the cosmopolitan plant genus *Euphorbia* l. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, maio 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00846

FEENEY, W. E.; WELBERGEN, J. A.; LANGMORE, N. E. Advances in the study of coevolution between avian brood parasites and their hosts. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 45, p. 227–246, nov. 2014. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-120213-091603

FORTUNA, M. A. *et al.* Coevolutionary dynamics shape the structure of bacteria-phage infection networks. **Evolution**, v. 73, n. 5, p. 1001–1011, maio 2019. DOI: 10.1111/evo.13731

GALLAGHER, J. E.; OUGHTON, E. J. Assessing thermal imagery integration into object detection methods on air-based collection platforms. **Sci Rep**, v. 13, p. 84-91, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34791-8>

GOSTINSKI, L. F.; COSTA, H. D.; FIRMO, W. da C. A.; MENDES, H. B. R.; CRUZ, G. B. V.; ALBUQUERQUE, P. M. C. de. Prospecção tecnológica: o uso de dispositivos de georreferenciamento para análise da distribuição e comportamento de abelhas sociais. **Cadernos de Prospecção**, v. 9, n. 1, p. 63, 2016. <https://doi.org/10.9771/s.cprosp.2016.009.008>

GÓMEZ, P.; BUCKLING, A. Bacteria-Phage Antagonistic Coevolution in Soil. **Science**, v. 332, n. 6025, p. 106-109, abr. 2011. DOI: 10.1126/science.1198767

GRIM, Tomáš. Perspectives and debates: Mimicry, signalling and co-evolution (Commentary on Wolfgang Wickler–Understanding Mimicry–With special reference to vocal mimicry). **Ethology**, v. 119, n. 4, p. 270-277, 2013.

HARMON, L. J. *et al.* Detecting the macroevolutionary signal of species interactions. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 32, p. 769-782, abr 2019. DOI: 10.1111/jeb.13477

HUANG, Jin-Nan *et al.* Salticid predation as one potential driving force of ant mimicry in jumping spiders. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 278, n. 1710, p. 1356-1364, 2011.

JAMIE, G.A. Signals, cues and the nature of mimicry. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1849, p. 2016-2080, 2017.

JOKELA, J.; DYBDAHL, M. F.; LIVELY, C. M. The maintenance of sex, clonal dynamics, and host-parasite coevolution in a mixed population of sexual and asexual snails. **American Naturalist**, v. 174, n. SUPPL. 1, jul. 2009. DOI: 10.1086/599080

KOSKELLA, B.; LIVELY, C. M. Advice of the rose: Experimental coevolution of a trematode parasite and its snail host. **Evolution**, v. 61, n. 1, p. 152–159, jan. 2007. DOI: 10.1111/j.1558-5646.2007.00012.x

LIVELY, C. M. Parasite virulence, host life history, and the costs and benefits of sex. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 3–6, jan. 2010. DOI: 10.1890/09-1158.1

LU, H. L.; LEGER, R. J. St. Insect Immunity to Entomopathogenic Fungi. **Advances in Genetics**, v. 94, p. 251–285, 2016. DOI: 10.1016/bs.adgen.2015.11.002

MARK, C. J.; O'HANLON, J. C.; HOLWELL, G. I. Camouflage in lichen moths: Field predation experiments and avian vision modelling demonstrate the importance of wing pattern elements and background for survival. **Journal of Animal Ecology**, v. 91, n. 12, p. 2358–2369, 2022.

MARTÍN, A. A. *et al.* Google Scholar, Web of Science, and Scopus: a systematic comparison of citations in 252 subject categories. **Journal of Informetrics** [online], v. 12, n. 4, p. 1160–1177, November 2019. DOI: 10.1016/J.JOI.2018.09.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157718303249>

MITHÖFER, A.; BOLAND, W. Plant defense against herbivores: Chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 431–450, jun. 2012. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110-103854

MOREIRA, P. S. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual ferramenta bibliométrica escolher? um estudo comparativo entre softwares. **P2P e Inovação**, v. 6, p. 140–158, 2020.

MORANEUS. Evolution: Not Just a Theory, But a Problem-Solving Tool. **Portal Medium**, Mar. 2024. Disponível em: <https://medium.com/@moraneus/evolution-not-just-a-theory-but-a-problem-solving-tool-0e5884f68bd8>. Acesso em:

NAIR, R. *et al.* A coevolução bacteriana predador-presa acelera a evolução do genoma e seleciona as defesas das presas associadas à virulência. **Comunicações da natureza**, v. 10, n. 1, p. 4301, 2019.

NUISMER, S. L.; HARMON, L. J. Predicting rates of interspecific interaction from phylogenetic trees. **Ecology Letters**, v. 18, n. 1, p. 17–27, jan. 2015. DOI: 10.1111/ele.12384

NUISMER, S. L.; WEEK, B. Approximate Bayesian estimation of coevolutionary arms races. **PLoS Computational Biology**, v. 15, n. 4, 2019. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006988

OLLERTON, J. *et al.* The diversity and evolution of pollination systems in large plant clades: Apocynaceae as a case study. **Annals of Botany**, v. 123, n. 2, p. 311–325, 2019.

OTTE, P. J. *et al.* Snow cover-related camouflage mismatch increases detection by predators. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology**, v. 341, n. 4, p. 327–337, jan. 2024.

PARKER, G. A. Sexual conflict over mating and fertilization: An overview. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 361, p. 235–259, jan. 2006. DOI: 10.1098/rstb.2005.1785

PATERSON, S. *et al.* Antagonistic coevolution accelerates molecular evolution. **Nature**, v. 464, n. 7286, p. 275–278, mar. 2010. DOI: 10.1038/nature08798

PEMBURY, S. *et al.* Camouflage in predators. **Biological Reviews**, v. 95, n. 5, p. 1325-1340, 2020.

PIRES, E. A.; FERREIRA, M. A.; VIEIRA, R. B.; BARBOSA, C. A.; SANTOS, F. L. Perfil dos documentos de patente referentes a tecnologias e produtos probióticos, prebióticos e simbióticos na América Latina. **Cadernos de Prospecção**, v. 8, n. 1, p. 142. 2015. <https://doi.org/10.9771/s.cprosp.2015.001.016>

REYNOLDS, C. Coevolution of Camouflage. *In: Artificial Life Conference*, 35, 2023, Massachusetts. **Proceedings [...]** Massachusetts: MIT Press, 2023. p. 11.

RODGER, J. G. *et al.* Widespread vulnerability of flowering plant seed production to pollinator declines. **Science advances**, v. 7, n. 42, p. eabd3524, 2021.

SALAZAR, D. *et al.* Origin and maintenance of chemical diversity in a species-rich tropical tree lineage. **Nature Ecology and Evolution**, v. 2, n. 6, p. 983–990, jun. 2018. DOI: 10.1038/s41559-018-0552-0

SANTOS, S. C. dos; CASTRO, D. C. M. de; ASSUNÇÃO, P. S. de; SANTOS, T. L. dos; QUINTELLA, C. M. Mapeamento Tecnológico de Processos Microbianos Aplicados na Biorremediação de Metais Pesados. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 5, p. 1740, 2018. <https://doi.org/10.9771/cp.v11i5.25240>

SANTOS, A. F. de J.; HANNA, S. A. Prospecção tecnológica de patentes na produção de bioinoculantes e biofertilizantes. **Cadernos de Prospecção**, v. 10, n. 2, p. 300, 2017. <https://doi.org/10.9771/cp.v10i2.20719>

SAUQUET, H.; MAGALLÓN, S. Key questions and challenges in angiosperm macroevolution. **New Phytologist**, v. 219, n. 4, p. 1170-1187, 2018.

SCHENK, H. J. Root competition: Beyond resource depletion. **Journal of Ecology**, jul. 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2006.01124.x

SHERATT, T. N. The evolution of Müllerian mimicry. **Naturwissenschaften**, v. 95, n. 8, p. 681-695, 2008.

SIEDENTOP, B. *et al.* My host's enemy is my enemy: plasmids carrying CRISPR-Cas as a defence against phages. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 291, n. 2015, jan. 2024. DOI: 10.1098/rspb.2023.2449

STEPHENS, R. E.; GALLAGHER, R. V.; DUN, L.; CORNWELL, W.; SAUQUET, H. Insect pollination for most of angiosperm evolutionary history. **New Phytologist**, v. 240, n. 2, p. 880-891, 2023.

USAMENTIAGA, R.; VENEGAS, P.; GUEREDIAGA, J.; VEGA, L.; MOLLEDA, J.; BULNES, F. G. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors (Basel)**, v. 14, n. 7, p. 12305-12348, jul. 2014. doi: 10.3390/s140712305. PMID: 25014096; PMCID: PMC4168422.

VAN HOUTE, S. *et al.* The diversity-generating benefits of a prokaryotic adaptive immune system. **Nature**, v. 532, n. 7599, p. 385–388, abr. 2016. DOI: 10.1038/nature17436

VAN HOUTE, S.; BUCKLING, A.; WESTRA, E. R. Evolutionary Ecology of Prokaryotic Immune Mechanisms. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 80, n. 3, p. 745–763, set. 2016. DOI: 10.1128/mmbr.00011-16

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–38, 2010.

VIRGINIA (United States). DEPARTMENT OF CONSERVATION AND RECREATION. Native and Non-native Invasive Plants. **Portal DCR**, [2024?]. Disponível em: <https://www.dcr.virginia.gov/natural-heritage/native-vs-aliens>. Acesso em:

WANG, A. Y. *et al.* The nature of interspecific interactions and co-diversification patterns, as illustrated by the fig microcosm. **New Phytologist**, v. 224, n. 3, p. 1304–1315, nov. 2019. DOI: 10.1111/nph.16

WANG, X. *et al.* Phenotypic plasticity plays an essential role in the confrontation between plants and herbivorous insects. **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 4, n. 58, p. 1-12, dez. 2023. DOI: 10.1186/s43170-023-00201-2

YODER, J. B.; NUISMER, S. L. When does coevolution promote diversification? **American Naturalist**, v. 176, n. 6, p. 802–817, dez. 2010. DOI: 10.1086/657048

ZHOU, P.; CHEN, C.; PATIL, S.; DONG, S. Unveiling the therapeutic symphony of probiotics, prebiotics, and postbiotics in gut-immune harmony. **Front Nutr.**, v. 8, n. 11, p. 1355542, Feb. 2024. doi: 10.3389/fnut.2024.1355542. PMID: 38389798; PMCID: PMC10881654.