

REDES ECOLÓGICAS – UMA JANELA PARA O MOTOR DAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS



RUBEN HELENO^{1*}, SARA MENDES^{1,2}, SANDRA HERVÍAS-PAREJO¹, JOSÉ COSTA^{1,3},
LEONARDO CRAVEIRO¹, GERSON TOMO¹, SÉRGIO TIMÓTEO¹

* rheleno@uc.pt

1 Centro de Ecologia Funcional (CFE), Laboratório Associado TERRA, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra, 3000-456 Coimbra

2 Department of Biodiversity, Macroecology and Biogeography, Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, University of Göttingen, Germany

3 Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra

RESUMO

As comunidades biológicas são sistemas altamente complexos, onde centenas ou milhares de espécies interagem de forma muito diversa e dinâmica. A teoria de redes ecológicas permite caracterizar essa complexidade e compreender como a estrutura das comunidades influencia o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas. Estas ferramentas são particularmente relevantes para avaliar os efeitos das alterações globais, como a perda de habitat, as invasões biológicas, a defaunação ou o aquecimento

global. No Community Ecology Lab, estudamos as alterações na estrutura e no funcionamento das comunidades biológicas através de vários tipos de interações, como a polinização, a predação ou o parasitismo, mas com um foco especial no serviço de dispersão de sementes proporcionado pelos animais.

PALAVRAS-CHAVE

Alterações globais; comunidades biológicas; dispersão de sementes; ilhas oceânicas; redes ecológicas; serviços dos ecossistemas.

CITAÇÃO RECOMENDADA Heleno R, Mendes S, Hervías-Parejo S, Costa J, Craveiro L, Tomo G, Timóteo S (2025). Redes ecológicas – uma janela para o motor das comunidades biológicas. *Lucanus* – Revista de Ambiente e Sociedade, Volume IX, Páginas 80-85.

ABSTRACT

Biological communities are highly complex systems in which hundreds or thousands of species interact in diverse and dynamic ways. Ecological network theory allows us to characterize this complexity and understand how community structure influences ecosystem functioning and resilience. These tools are particularly relevant for assessing the effects of global changes, such as habitat loss, biological

invasions, defaunation, and global warming. At the Community Ecology Lab, we study changes in the structure and functioning of biological communities through various types of interactions, such as pollination, predation, and parasitism, with a particular focus on the seed dispersal service provided by animals.

KEYWORDS

Biological communities; Ecological networks; Ecosystem services; Global change; Oceanic islands; Seed dispersal.

Entender o funcionamento das comunidades biológicas – formadas por centenas ou milhares de espécies que partilham o mesmo local e interagem de formas muito diferentes e altamente dinâmicas entre si – é um enorme desafio. No entanto, as questões mais relevantes em ecologia estão inevitavelmente ligadas a alterações que ou têm a sua origem ou têm consequências ao nível das comunidades biológicas. Para enfrentar esse desafio, os cientistas necessitam de ferramentas capazes de extrair sentido desse aparente caos. No final do século passado, alguns ecólogos começaram a incorporar ferramentas desenvolvidas nas áreas das ciências sociais, da física e da matemática para compreender as comunidades biológicas através da teoria de redes (ou teoria de grafos). Os primeiros trabalhos mostraram rapidamente o potencial dessa abordagem e abriram um novo campo de investigação: o estudo das redes ecológicas. Uma rede ecológica é representada por um objeto matemático (uma matriz) que quantifica as interações entre diferentes entidades biológicas (normalmente espécies, mas também indivíduos ou populações). Desta forma, é possível descrever várias propriedades emergentes (*i.e.*, que representam mais do que a soma das suas partes constituintes) das comunidades e explorar a relação entre a estrutura das comunidades e o funcionamento dos ecossistemas. De certa forma, as redes ecológicas permitem-nos ver simultaneamente as árvores e a floresta, caracterizando objetivamente tanto os organismos como a forma como se organizam para formar comunidades funcionais. Existem dezenas de métricas que descrevem diferentes propriedades dessa estrutura emergente. Tal como tentar descrever o motor de um carro através da sua potência, emissões, número de componentes, tipo de combustível, material, etc., pode não ser suficiente para descrever toda a complexidade do motor; também, cada métrica de rede dá apenas uma perspetiva parcial sobre a estrutura da comunidade. No entanto, juntas oferecem pistas cruciais para entender e prever as





As redes ecológicas permitem-nos ver simultaneamente as árvores e a floresta, caracterizando objetivamente tanto os organismos como a forma como se organizam para formar comunidades funcionais.”

respostas das comunidades quando sujeitas a perturbações externas, como invasões biológicas, defaunação, perda de habitat ou aquecimento global.

Uma forma de entender melhor uma rede ecológica é pensar na estrutura de uma rede social, em que cada pessoa (nó) está ligada a outras por diferentes tipos de interação (por exemplo: amizade, relações familiares, colegas de trabalho, atletas de um grupo desportivo, etc.). Cada pessoa pode ter mais ou menos interações, e estas podem estar mais ou menos dispersas entre os diferentes grupos, o que leva a uma estrutura global (emergente) da rede com profundas implicações para a coesão social. As redes ecológicas funcionam de forma semelhante, mas com organismos e interações bióticas (Figura 1).

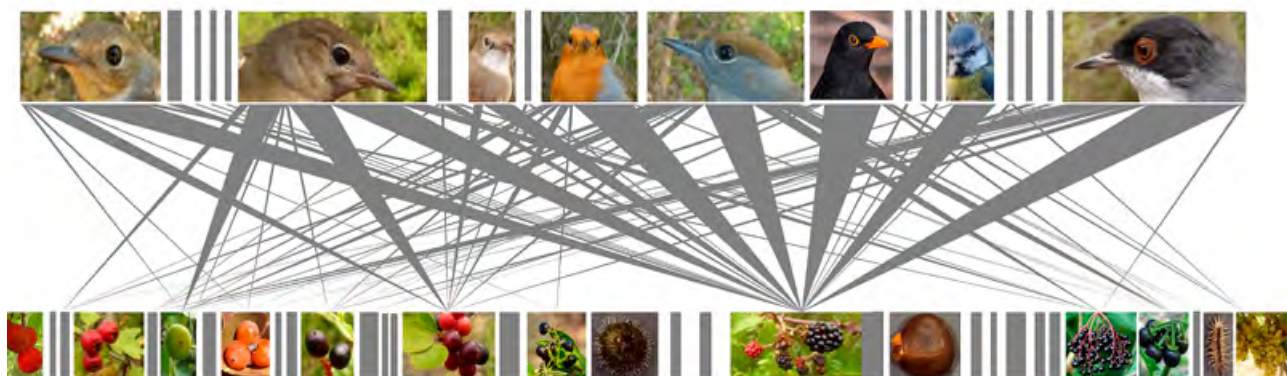


FIGURA 1 Exemplo de uma rede de dispersão de sementes de uma floresta portuguesa, mostrando a frequência com que cada espécie de ave (em cima) dispersa sementes de plantas com frutos carnudos (em baixo).

Outra grande vantagem das redes ecológicas é justamente a sua versatilidade, pois permitem explorar diversos tipos de interação. Estas interações podem ser tróficas (ex.: presa-predador), mas também parasíticas, de competição, de facilitação, mutualísticas (ambas as espécies ganham com a interação), ou ainda combinar vários tipos de interação na mesma rede, aproximando-se assim da complexidade real dos sistemas naturais. Uma vez que muitos dos serviços que os ecossistemas nos proporcionam dependem diretamente de interações biológicas – como, por exemplo, a polinização – as redes ecológicas permitem-nos também prever e monitorizar os efeitos de perturbações nos serviços dos ecossistemas.



Muitos destes processos são mais fáceis de estudar em ilhas oceânicas, que devido ao seu isolamento, limites bem definidos, simplicidade biológica e alta taxa de endemismo são particularmente vulneráveis aos efeitos das alterações globais.”

No Community Ecology Lab – um grupo de investigação do Centro de Ecologia Funcional da Universidade de Coimbra – tentamos exatamente entender como as muitas facetas das alterações globais estão a modificar a estrutura, o funcionamento e a resiliência das comunidades, muitas vezes com recurso à análise de redes ecológicas. Estudamos muitos tipos de interações, com principal destaque para a dispersão de sementes – um serviço muito importante para as plantas uma vez que lhes permite (re)colonizar locais novos, aumentar o fluxo genético entre populações, e manter a diversidade vegetal à escala regional. Este serviço é essencialmente prestado por animais frugívoros (e.g., aves, mamíferos e formigas) e constitui um pilar insubstituível de um ecossistema saudável, uma vez que, sem dispersores de sementes, muitas plantas não conseguem adaptar-se às perturbações que afetam as suas populações, tais como incêndios florestais, invasões biológicas, deslizamentos de terras, poluição ou aquecimento global. Estudamos ainda interações entre as flores e os insetos que as polinizam, entre as raízes das plantas e os fungos micorrízicos, entre as plantas e os insetos galhadores (*i.e.*, os que formam os bugalhos), entre presas e predadores, entre parasitas e hospedeiros, ou entre todos estes grupos, formando meta- (e mega-) redes ecológicas com muitos tipos de interações.

Para tentar controlar um pouco as fontes de tanta complexidade, muitos destes processos são mais fáceis de estudar em ilhas oceânicas (aquelas que nunca estiveram ligadas a um continente) e são amplamente reconhecidas como laboratórios naturais de biodiversidade. Devido ao seu isolamento e aos limites bem definidos, as espécies insulares (incluindo muitas endémicas) são particularmente vulneráveis aos efeitos das alterações globais. No Community Ecology Lab, temos estudado vários destes laboratórios naturais para explorar questões ecológicas com implicações nas ilhas e nos continentes, com destaque para os Açores, Galápagos, Canárias e Seychelles.

Estas são algumas das nossas principais contribuições nos últimos anos:

- Um terço dos animais que dispersam as plantas com frutos carnudos na Europa está ameaçado de extinção ou em declínio (Mendes *et al.* 2024, Science).

- Os efeitos do declínio de animais dispersores de sementes já se podem medir em muitos ecossistemas pelo mundo fora (Fricke *et al.* 2025, Nature Reviews Biodiversity).
- As comunidades de plantas estão mais incompletas (ou seja, há plantas que não conseguem recolonizar locais favoráveis para elas) em áreas com maior pressão humana (Pärtel *et al.* 2025, Nature).
- As introduções biológicas alteraram mais o serviço de dispersão de sementes em ilhas do que as extinções (Heinen *et al.* 2025, Proceedings of the National Academy of Sciences).
- Cinco novas espécies de ácaros descobertas para a ciência em aves endémicas das Seychelles (Mironov & Heleno 2025, Systematic and Applied Acarology).
- O inseto utilizado para controlar a invasão de *Acacia longifolia* em Portugal não está a ter efeitos indesejados nas redes ecológicas (López-Núñez *et al.* 2025, Restoration Ecology).
- Os animais dispersores são essenciais para ajudar as plantas a refugiarem-se do aquecimento global, nomeadamente subindo as montanhas (Mendes *et al.* 2025, New Phytologist).
- A remoção de plantas invasoras nas Seychelles permitiu recuperar a estrutura das redes de interação entre sementes e insetos predadores (Costa *et al.* 2024, Journal of Applied Ecology).
- As aves são forçadas a otimizar ainda mais as suas dietas, consumindo frutos melhor ajustados ao tamanho dos seus bicos, à medida que se aproximam dos limites da sua área de distribuição (Martins *et al.* 2024, Science).
- O serviço que os animais nos prestam ao dispersar sementes em áreas ardidas em Portugal custaria mais de 23 milhões de euros/ano para tentar substituir (Royuela *et al.* 2024, Conservation Letters).
- As espécies-chave tendem a ser mais importantes nas diferentes dimensões do seu nicho ecológico, e não apenas para um tipo de interação específico (Timóteo *et al.* 2023, Functional Ecology).
- Enquanto a extinção de animais grandes nos continentes tende a favorecer a dispersão de plantas com frutos pequenos, a introdução de animais grandes em ilhas (como em São Tomé) tende a favorecer plantas com frutos grandes (Heleno *et al.* 2022 Oikos).



FIGURA 2 Equipa Community Ecology Lab.

AGRADECIMENTOS

Trabalho financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através de fundos nacionais no âmbito do projeto DISPERSIFY doi:10.54499/2024.13086.PEX.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa A *et al.* (2024). Insect seed-predator networks respond positively to restoration on a tropical island. *Journal of Applied Ecology*, 61, 2727-2738.
- Fricke EC *et al.* (2025). Drivers and impacts of global seed disperser decline. *Nature Reviews Biodiversity*, 1, 386-400.
- Heine JH *et al.* (2025). Species introductions shift seed dispersal potential more than extinctions across 120 island plant-frugivore communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122, 51.
- Heleno RH *et al.* (2022). The upsizing of the São Tomé seed dispersal network by introduced animals. *Oikos*, 2.
- López-Núñez FA *et al.* (2025). Three-trophic level food webs support the safety of a biocontrol agent 3 years after release. *Restoration Ecology*, 33, e14371.
- Martins LP *et al.* (2024). Birds optimize fruit size consumed near their geographic range limits. *Science*, 385, 331-336.
- Mendes SB *et al.* (2024). Evidence of a European seed dispersal crisis. *Science*, 386, 206-211.
- Mendes SB *et al.* (2025). Climb forest, climb: diverse disperser communities are key to assist plants tracking climate change on altitudinal gradients. *New Phytologist*, 245, 1315-1329.
- Mironov SV & Heleno RH (2025). New species and records of feather mites (Acariformes: Analgoidea) from endemic passerines (Aves: Passeriformes) in the Seychelles. *Systematic and Applied Acarology*, 30, 88-120.
- Pärtel M *et al.* (2025). Global impoverishment of natural vegetation revealed by dark diversity. *Nature*, 641, 917-924.
- Royuela JB *et al.* (2024). What is the value of biotic seed dispersal in post-fire forest regeneration? *Conservation Letters*, 17, e12990.
- Timóteo S *et al.* (2023). Tripartite networks show that keystone species can multitask. *Functional Ecology*, 37, 274-286.