



## PLANO DE AULA

## Ecologia baseada em características: Teoria e aplicações em R

<b>Título do curso</b>	Ecologia Baseada em Traços: Teoria e Aplicações em R
<b>Duração</b>	5 dias — 15 horas no total (3 horas/dia)
<b>Nível</b>	Mestrado / Doutorado inicial
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de ecologia, estatística introdutória e linguagem R elementar.
<b>Linguagem</b>	Inglês (com legendas em português)
<b>Data</b>	De 11 a 15 de maio de 2026, das 9h às 12h.
<b>Instrutor</b>	Aurèle Toussaint - CNRS — Laboratório de Ecologia Funcional e Meio Ambiente (LEFE), Toulouse
<b>Formatar</b>	Aula teórica + aulas práticas de informática (R)
<b>Software</b>	R > 4.3, RStudio, pacotes listados por sessão
<b>Inscrição</b>	Acesse o formulário online até 30 de abril de 2026: <a href="https://forms.gle/AAbQsRDEwu6F2UJy5">https://forms.gle/AAbQsRDEwu6F2UJy5</a>

### Descrição do curso

Este curso intensivo de 5 dias apresenta aos estudantes e pesquisadores em início de carreira os fundamentos conceituais e os métodos analíticos da ecologia baseada em características. Características funcionais — características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais mensuráveis que influenciam o desempenho individual e mediam os processos ecossistêmicos — tornaram-se fundamentais para a pesquisa ecológica moderna. Este curso fornece tanto a base teórica quanto as habilidades computacionais práticas necessárias para projetar, executar e interpretar análises ecológicas baseadas em características.

O curso segue uma estrutura pedagógica deliberada: os dias 1 e 2 estabelecem os fundamentos conceituais e metodológicos; os dias 3 e 4 abordam as relações entre características e ambiente, bem como a dinâmica entre biodiversidade e funcionamento do ecossistema, incluindo as consequências da extinção de espécies na diversidade funcional; o dia 5 consolida métodos avançados e práticas de fluxo de trabalho reproduzíveis. Cada sessão da tarde é dedicada à implementação prática em R.

### Resultados de aprendizagem

Ao concluir este curso com êxito, os alunos serão capazes de:

- Definir e classificar características funcionais e justificar a estrutura baseada em características no contexto da comunidade e ecologia de ecossistemas.
- Importar, limpar e explorar conjuntos de dados de características de bancos de dados globais (TRY) usando R.
- Calcular as médias ponderadas da comunidade (CWM) e os índices de diversidade funcional multidimensional (FRic, FEve, FDiv, FDis).
- Aplicar análises RLQ e de quarta esquina para quantificar as relações entre características e ambiente.



- Simule cenários de extinção e quantifique a perda de diversidade funcional usando as métricas FUSE.
- Construir hipervolumes n-dimensionais e particionar a variância de características intraespecíficas.
- Produza um pipeline analítico totalmente reproduzível usando {renv}, {targets} e Rmarkdown.

## Pré-requisitos

Espera-se que os alunos possuam:

- Conhecimento prático de conceitos ecológicos fundamentais (ecologia de comunidades, interações entre espécies, funcionamento do ecossistema).
- Conhecimento básico de R: importação de dados, operações elementares do tidyverse, criação de gráficos com ggplot2.
- Estatística elementar: regressão linear, ANOVA, análise de componentes principais.

## Requisitos de software

Todas as atividades práticas serão realizadas em R (versão ≥ 4.3). Os alunos deverão instalar os seguintes pacotes antes do primeiro dia de aula:

<b>Gestão de dados</b>	{rtry}, {tidyverse}, {dplyr}
<b>Visualização</b>	{ggplot2}, {corrplot}, {ggforce}
<b>Diversidade funcional</b>	{FD}, {BAT}
<b>Métodos multivariados</b>	{ade4}, {adespatial}, {vegan}
<b>Análises especializadas</b>	{hypervolume}, {funrar}
<b>Reprodutibilidade</b>	{renv}, {targets}, {rmarkdown}, {knitr}

## Programa Detalhado

### Dia 1 — Fundamentos da Ecologia Baseada em Traços

**Objetivo de aprendizagem:** Compreender a mudança conceitual da ecologia centrada nas espécies para a ecologia centrada nas características e adquirir proficiência no tratamento de dados de características.

**Teoria: 70% Prática (R): 30%**

Tempo	Sessão	Conteúdo / Habilidades
09:00– 10:30	<b>Características funcionais: definições e estruturas</b> <b>[TEORIA]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perspectiva histórica: da teoria da RSC de Grime ao paradigma baseado em traços</li> <li>• Definição formal de características funcionais (Violle et al. 2007)</li> <li>• Tipologia: características de resposta versus características de efeito (Lavorel &amp; Garnier 2002)</li> <li>• Características morfológicas, fisiológicas, comportamentais e de história de vida</li> <li>• Variabilidade intraespecífica de características (VIC): definição, magnitude, relevância ecológica</li> <li>• O Espectro Econômico da Folha (Wright et al. 2004)</li> <li>• Bancos de dados de características globais: TRY, LEDA, BIEN — estrutura, escopo, limitações</li> </ul>

## Ecologia Baseada em Traços: Teoria e Aplicações em R | Programa do Curso

10:30– 10:45	<b>Quebrar</b>	—
10:45– 12:00	<b>Prática — Importação e limpeza de dados de características no R</b> <b>[PRÁTICO]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pacotes R: {rtry}, {tidyverse}, {ggplot2}</li> <li>• Importar e explorar uma exportação de dados TRY</li> <li>• Qualidade dos dados: valores ausentes, padronização de unidades, detecção de outliers</li> <li>• Transformação logarítmica de características com distribuição assimétrica; cálculo da média das características das espécies</li> <li>• Visualização exploratória: distribuição de características, gráficos de comparação aos pares</li> <li>• Resultado: conjunto de dados de características limpo + figuras exploratórias</li> </ul>

### Referências principais

Violle et al. (2007) *Oikos* 116: 882–892 — definição formal de traço funcional

Wright et al. (2004) *Nature* 428: 821–827 — o Espectro da Economia das Folhas

Kattge et al. (2020) *Global Change Biology* 26: 119–188 — Banco de dados TRY v5

## Dia 2 — Métricas de Diversidade Funcional

**Objetivo de aprendizagem:** Calcular e interpretar descritores funcionais ao nível da comunidade e índices de diversidade funcional multidimensional.

**Teoria: 55% Prática (R): 45%**

Tempo	Sessão	Conteúdo / Habilidades
09:00– 10:30	<b>Índices de diversidade funcional e CWM</b> <b>[TEORIA]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Média Ponderada da Comunidade (MPC): justificativa, fórmula, interpretação ecológica</li> <li>• O problema do quarto canto: relacionando características ao ambiente</li> <li>• Estrutura Mason &amp; Moullot: FRic, FEve, FDiv, FDis</li> <li>• Redundância funcional versus complementaridade</li> <li>• O conceito de hipervolume n-dimensional (Blonder et al. 2014)</li> <li>• Avaliação crítica: sensibilidade à riqueza de espécies, número de características, ITV</li> </ul>
10:30– 10:45	<b>Quebrar</b>	—
10:45– 12:00	<b>Prática — Calculando índices de dependência funcional em R</b> <b>[PRÁTICO]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pacotes R: {FD}, {ade4}, {vegan}, {ggplot2}</li> <li>• Construção de matrizes de espécies x características e de local x espécies</li> <li>• Calculando CWM, FRic, FEve, FDiv, FDis com dbFD()</li> <li>• Visualização do espaço funcional: envoltórias convexas, projeções 2D/3D</li> <li>• Análise de sensibilidade: efeito do número de características e dados faltantes</li> <li>• Resultado: tabela de índice FD por comunidade + figuras de espaço funcional</li> </ul>

### Referências principais

Mason et al. (2005) *Oikos* 111: 112–118 — CWM e diversidade funcional

Villegger et al. (2008) *Ecologia* 89: 2290–2301 — novos índices de FD

Blonder et al. (2014) *Ecologia Global e Biogeografia* 23: 595–609 — hipervolume

## Dia 3 — Relações entre Traços e Ambiente

**Objetivo de aprendizagem:** *Relacionar estatisticamente características funcionais a gradientes ambientais usando métodos de ordenação multivariada.*

**Teoria: 50% Prática (R): 50%**

Tempo	Sessão	Conteúdo / Habilidades
09:00– 10:30	<b>Filtragem de características e a resposta – estrutura de efeito</b> [TEORIA]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filtragem ambiental ao longo de gradientes climáticos, edáficos e de perturbação</li> <li>O espectro global da forma e função das plantas (Díaz et al. 2016)</li> <li>Análise RLQ: princípio e interpretação ecológica</li> <li>Análise do quarto canto: estrutura de permutação e testes múltiplos</li> <li>Previsão de processos ecossistêmicos com base em características: decomposição, GPP</li> <li>Em direção a modelos mecanísticos baseados em características</li> </ul>
10:30– 10:45	<b>Quebrar</b>	—
10:45– 12:00	<b>Prático — RLQ e quarto canto em R</b> [PRÁTICO]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pacotes R: {ade4}, {adespatial}, {ggplot2}, {corrplot}</li> <li>Definindo a estrutura de três tabelas: R (locais x ambiente), L (locais x espécies), Q (espécies x características)</li> <li>Executando a ordenação RLQ e interpretando biplots</li> <li>Teste de permutação do quarto canto: procedimentos do modelo 2 e do modelo 4</li> <li>Visualizando relações entre características e ambiente: mapas de calor e biplots RLQ</li> <li>Saída: biplots RLQ, matriz de significância do quarto canto</li> </ul>

### Referências principais

Díaz et al. (2016) *Nature* 529: 167–171 — espectro global da forma e função das plantas

Dray & Legendre (2008) *Ecologia* 89: 3400–3412 — problema do quarto canto

Lavelle & Garnier (2002) *Ecologia Funcional* 16: 545–556 — características de resposta-efeito

## Dia 4 — Diversidade Funcional e Funcionamento do Ecossistema

**Objetivo de aprendizagem:** *Analisar as relações entre biodiversidade e funcionamento do ecossistema a partir de uma perspectiva baseada em características e quantificar as consequências funcionais da perda de espécies.*

**Teoria: 50% Prática (R): 50%**

Tempo	Sessão	Conteúdo / Habilidades
-------	--------	------------------------

09:00– 10:30	<b>BEF e as consequências da extinção de espécies</b> [TEORIA]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biodiversidade-funcionamento do ecossistema (BEF): complementaridade versus efeito de amostragem</li> <li>Efeito da identidade funcional versus efeito da diversidade funcional</li> <li>Vulnerabilidade à extinção baseada em características: raridade, especialização, ciclo de vida lento</li> <li>Extinção funcional e degradação trófica (Estes et al. 2011)</li> <li>Espécies raras e redundância funcional (Moullot et al. 2013)</li> <li>Multifuncionalidade: análise simultânea de múltiplas funções do ecossistema</li> </ul>
10:30– 10:45	<b>Quebrar</b>	—
10:45– 12:00	<b>Prática — Simulações de extinção e perda funcional</b> [PRÁTICO]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pacotes R: {FD}, {funrar}, {ggplot2}, {dplyr}</li> <li>Simulação de cenários de extinção: aleatórios, classificados por abundância, classificados por característica</li> <li>Monitoramento das perdas de FRic e FDis em diferentes cenários</li> <li>Calcular as pontuações FUSE (Funcionalmente Único, Especializado e Ameaçado de Extinção)</li> <li>Visualização de curvas de erosão do espaço funcional</li> <li>Resultados: curvas de perda funcional, pontuações FUSE, figuras de extinção anotadas</li> </ul>

### Referências principais

Cadotte et al. (2011) *Ecology Letters* 14: 852–859 — FD e funcionamento do ecossistema

Moullot et al. (2013) *Trends Ecology & Evolution* 28: 554–562 — espécies raras

Estes et al. (2011) *Science* 333: 301–306 — degradação trófica

## Dia 5 — Métodos Avançados e Perspectivas de Pesquisa

**Objetivo de aprendizagem:** Aplicar análises de variabilidade intraespecífica e métodos de hipervolume; produzir um fluxo de trabalho em R totalmente reproduzível.

**Teoria:** 40% **Prática (R):** 60%

Tempo	Sessão	Conteúdo / Habilidades
09:00– 10:00	<b>ITV, hipervolumes e ciência aberta</b> [TEORIA]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ITV: magnitude, fatores determinantes e consequências ecológicas ao nível da comunidade</li> <li>Partição da variância: componentes entre espécies versus componentes dentro de espécies (Violle et al. 2012)</li> <li>O hipervolume n-dimensional: geometria dos nichos ecológicos (Blonder 2018)</li> <li>Sensoriamento remoto como fonte de dados sobre características: espectroscopia de imagem e espectranômica</li> <li>Princípios FAIR e reprodutibilidade na ecologia baseada em características</li> </ul>
10:00– 10:15	<b>Quebrar</b>	—



10:15– 11:45	<p><b>Prático — Hipervolumes, particionamento ITV, fluxo de trabalho reproduzível</b></p> <p>[PRÁTICO]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pacotes R: {hypervolume}, {BAT}, {renv}, {targets}, {rmarkdown}</li> <li>• Construção de hipervolumes n-dimensionais (método do kernel gaussiano)</li> <li>• Cálculo da sobreposição de hipervolumes e das distâncias entre os centroides</li> <li>• Particionamento da variância de características em componentes inter e intraespecíficos</li> <li>• Montando um pipeline reproduzível com {renv} + {targets} + Rmarkdown</li> <li>• Resultados: figuras de sobreposição de hipervolume, tabela ITV, relatório HTML reproduzível</li> </ul>
11:45– 12:00	<p><b>Síntese e discussão aberta</b></p> <p>[TEORIA]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resumo transversal dos principais conceitos</li> <li>• Questões em aberto: dimensionalidade de características, sinal filogenético, escalonamento para biomas</li> <li>• Sessão de perguntas e respostas com os alunos e discussão sobre aplicações de pesquisa.</li> </ul>

### Referências principais

Violle *et al.* (2012) *Tendências em Ecologia e Evolução* 27: 146–153 — *retorno da variância*

Blonder (2018) *Ecologia Global e Biogeografia* 27: 1339–1353 — *conceitos de hipervolume*

Asner & Martin (2011) *Biologia da Mudança Global* 17: 2718–2727 — *espectranômica*

## Avaliação

Os alunos são avaliados por meio de dois componentes:

### 1. Portfólio prático (60%)

Ao final de cada dia, os alunos entregam scripts R anotados e figuras com os resultados da sessão prática.

Os trabalhos submetidos são avaliados quanto à correção, qualidade do código e interpretação dos resultados.

### 2. Relatório analítico (40%)

Os alunos devem produzir um relatório curto (1.000 a 1.500 palavras) e reproduzível em Rmarkdown, analisando um conjunto de dados de características de sua escolha, aplicando pelo menos três dos métodos abordados no curso. O relatório deve incluir um ambiente {renv} reproduzível e um pipeline {targets}.

## Bibliografia

As referências a seguir constituem a lista de leitura principal para este curso. Os alunos devem ler os artigos principais atribuídos a cada dia antes da respectiva sessão.

- [1] Violle C. *et al.* (2007) *Que o conceito de traço seja funcional!* *Oikos* 116: 882–892.
- [2] Wright IJ *et al.* (2004) *O espectro econômico mundial das folhas.* *Nature* 428: 821–827.
- [3] Kattge J. *et al.* (2020) *Banco de dados de características de plantas TRY — cobertura aprimorada e acesso aberto.* *Global Change Biology* 26: 119–188.
- [4] Mason NWH *et al.* (2005) *Riqueza funcional, equitabilidade funcional e divergência funcional: os componentes primários da diversidade funcional.* *Oikos* 111: 112–118.



- [5] Villeger S., Mason NWH & Mouillot D. (2008) Novos índices multidimensionais de diversidade funcional para uma estrutura multifacetada em ecologia funcional. *Ecology* 89: 2290–2301.
- [6] Blonder B. et al. (2014) O hipervolume n-dimensional. *Ecologia Global e Biogeografia* 23: 595–609.
- [7] Blonder B. (2018) Conceitos de hipervolume em ecologia baseada em nicho e traço. *Ecologia Global e Biogeografia* 27: 1339–1353.
- [8] Díaz S. et al. (2016) O espectro global da forma e função das plantas. *Nature* 529: 167–171.
- [9] Dray S. & Legendre P. (2008) Testando as relações entre características das espécies e ambiente: o problema do quarto canto revisitado. *Ecologia* 89: 3400–3412.
- [10] Lavorel S. & Garnier E. (2002) Previsão de mudanças na composição da comunidade e no funcionamento do ecossistema a partir de características das plantas: revisitando o Santo Graal. *Ecologia Funcional* 16: 545–556.
- [11] Cadotte MW, Carscadden K. & Mirotchnick N. (2011) Além das espécies: diversidade funcional e a manutenção de processos e serviços ecológicos. *Journal of Applied Ecology* 48: 1079–1087.
- [12] Mouillot D. et al. (2013) Espécies raras sustentam funções vulneráveis em ecossistemas de alta diversidade. *PLOS Biology* 11: e1001569.
- [13] Estes JA et al. (2011) Degradação trófica do planeta Terra. *Science* 333: 301–306.
- [14] Violle C. et al. (2012) O retorno da variância: variabilidade intraespecífica na ecologia de comunidades. *Tendências em Ecologia e Evolução* 27: 146–153.
- [15] Asner GP & Martin RE (2011) Montagem filogenética, química e espectral do dossel em uma floresta amazônica de terras baixas. *New Phytologist* 189: 999–1012.

## Recursos adicionais

### Livros didáticos

- Cadotte MW & Tucker CM (2017) A filtragem ambiental deve ser abandonada? *Tendências em Ecologia e Evolução* 32: 429–437.
- Violle C. et al. (2014) Ecologia baseada em características funcionais: rumo a uma estrutura unificada. *Oikos* 123: 1391–1393.

### Bases de dados online

- Banco de Dados de Características de Plantas TRY — <https://www.try-db.org>
- BIEN Rede de Informação Botânica e Ecologia — <https://biendata.org>
- Base de dados LEDA — <https://uol.de/en/landeco/research/leda>

### Recursos R

- Swenson NG (2014) *Ecologia Funcional e Filogenética em R*. Springer.
- Visualização de Tarefas do R: Environmetrics — <https://cran.r-project.org/web/views/Environmetrics.html>

## Notas

#### Compartilhamento de dados

Todos os conjuntos de dados utilizados nas aulas práticas serão distribuídos no início do primeiro dia. Os alunos são incentivados a trazer seus próprios dados sobre características.

#### Reprodutibilidade

Todos os scripts práticos serão versionados e distribuídos através do repositório do curso. Os alunos devem trabalhar em projetos do RStudio.

#### Contato

Dúvidas enviadas fora do horário de aula devem ser encaminhadas pelo fórum do curso. Atendimento individual disponível mediante solicitação.

