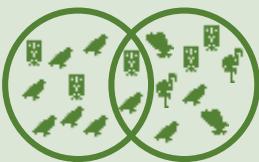




$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i * \ln P_i$$

$$Chao_1 = S_{obs} + \left( \frac{n-1}{n} \right) \frac{F_1(F_1 - 1)}{2(F_2 + 1)}$$

# Métricas de Diversidade Biológica: Teorias Ecológicas e Aplicações no R



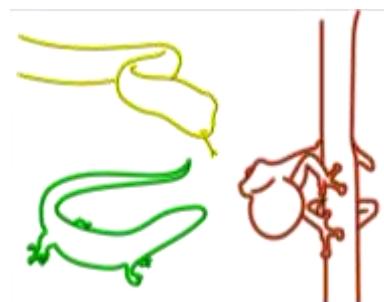
$$\beta_{sor} = \frac{b + c}{2a + b + c}$$

Edson Nilton – LHERP/UFPE

LAZOO - UFPE



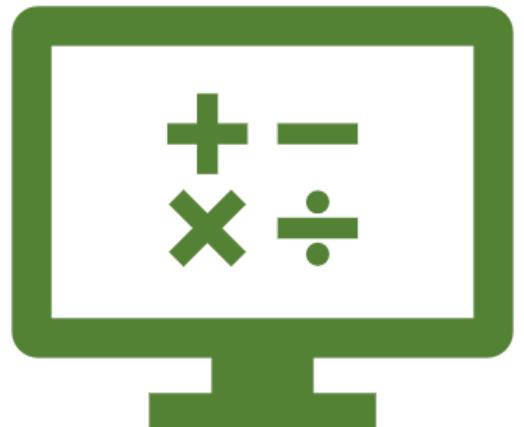
UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO



LHERP - UFPE

# Objetivos da mentoria

- Introduzir aos principais conceitos sobre o que é ecologia numérica;
- Introduzir aos principais conceitos sobre o que é uma comunidade biológica;
- Introduzir aos principais conceitos sobre métricas e estatísticas de diversidade biológica;
- Introduzir às principais ferramentas disso em R.



# O que é preciso para a mentoria

- Conhecimento básico sobre ecologia (iremos falar sobre);
- Conhecimentos básicos sobre estatística (amostragem, unidade amostral, hipótese...) (também iremos falar sobre);
- R, RTools e RStudio instalados (iremos falar sobre no último dia);
- E o mais importante: querer aprender (**ESSENCIAL!**).



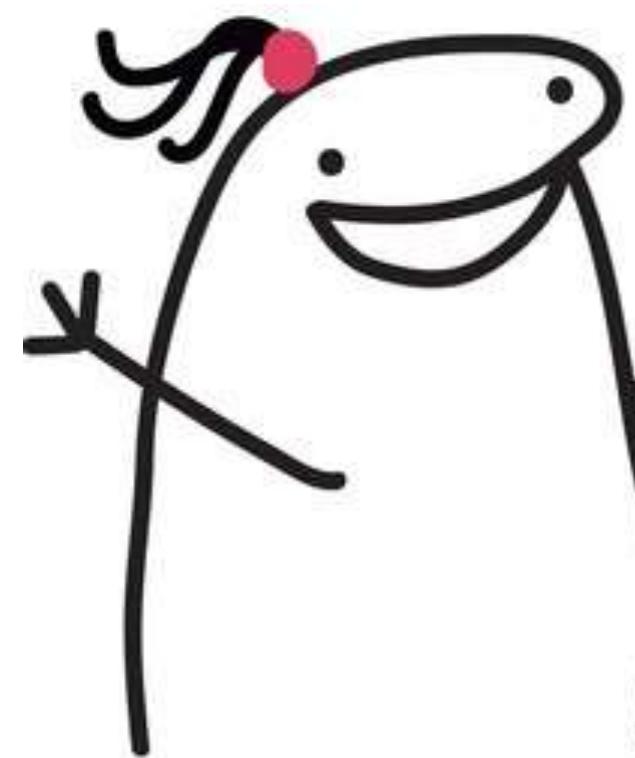
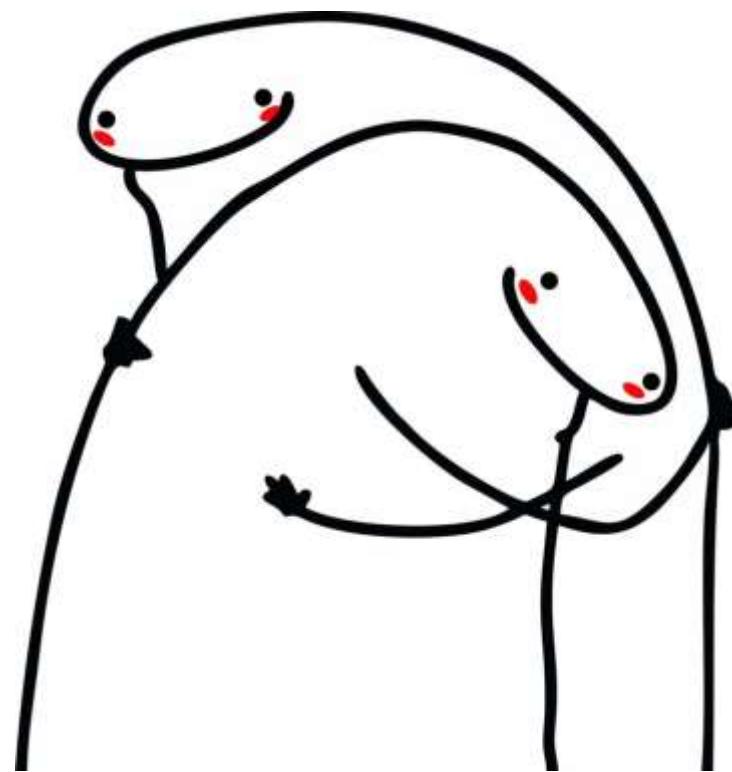
# Breve apresentação

- Edson Nilton (ou só Ed =D);
- Biólogo – UFPE;
- Herpetólogo e pesquisador – LHERP;
- Mestrando – PPGBA;
- Experiência com modelagens estatísticas, espaciais e ecológicas em R;
- Ecologia de anfíbios: distribuição de espécies e métricas de diversidade de comunidades biológicas.



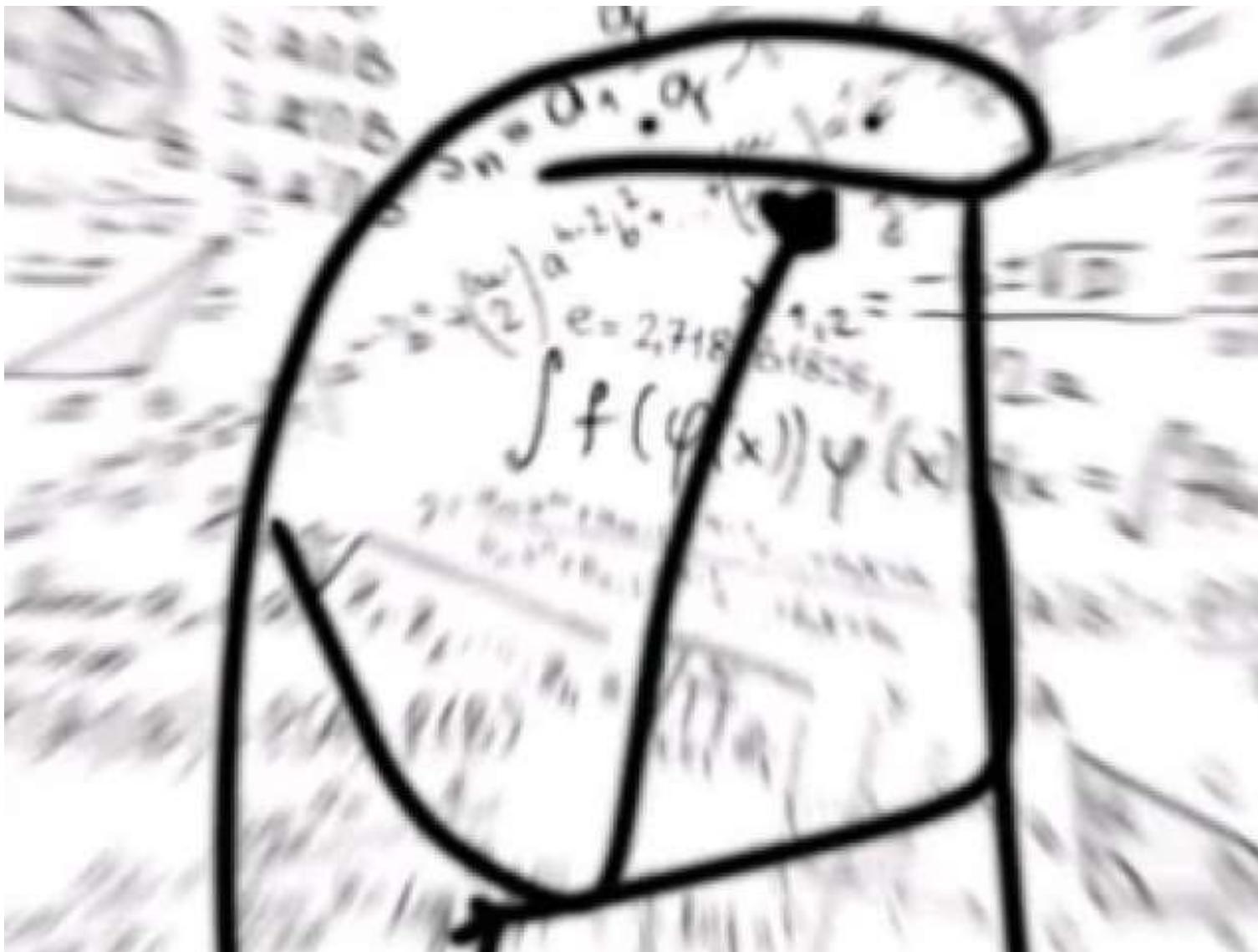
# Breve apresentação (de vocês)

- Quem são vocês?
- Nome? Curso? Período? Faz estágio? Com o que trabalha?



# Ecologia Numérica

O que é?



# Ecologia Numérica

O que você espera fazer na ecologia?

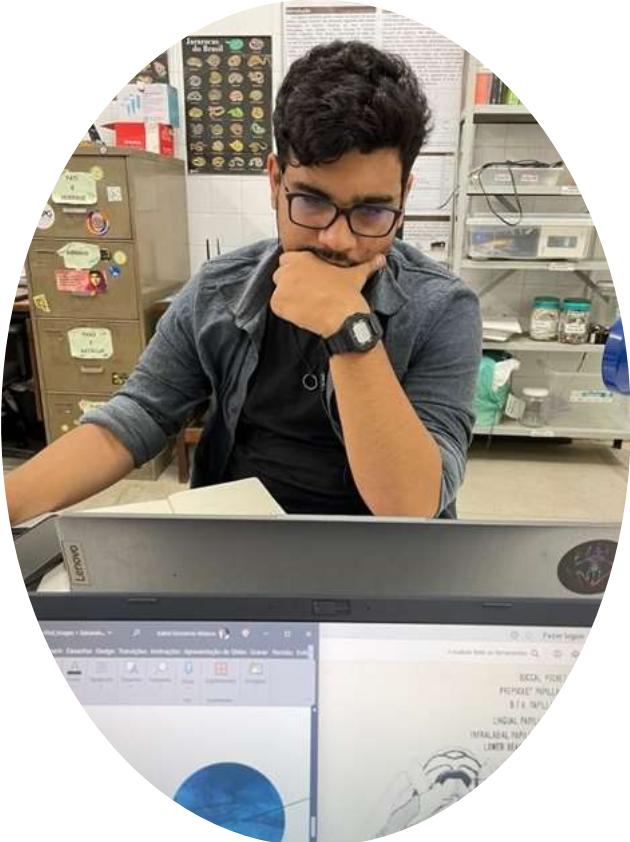
- Campo, viagens, coleta, meio do mato...



# Ecologia Numérica

O que você espera fazer na ecologia?

- O que acaba sendo a maior parte do tempo



# Ecologia Numérica

O que você espera fazer na ecologia?

- A falsa dicotomia campo x análises

Vou pegar um livro de Ecologia, adoro os animais e a natureza.

Livro:

$$N(t) = \frac{N_0 K e^{rt}}{[K + N_0(e^{rt} - 1)]}$$
$$\frac{dc}{dt} = kc^r$$
$$k = k_0 (c_{\max} - c)/c_{\max}$$
$$H' = - \sum p_i \cdot \ln p_i$$
$$p_i = \frac{n_i}{N}$$
$$D = \frac{\sum n_i (n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

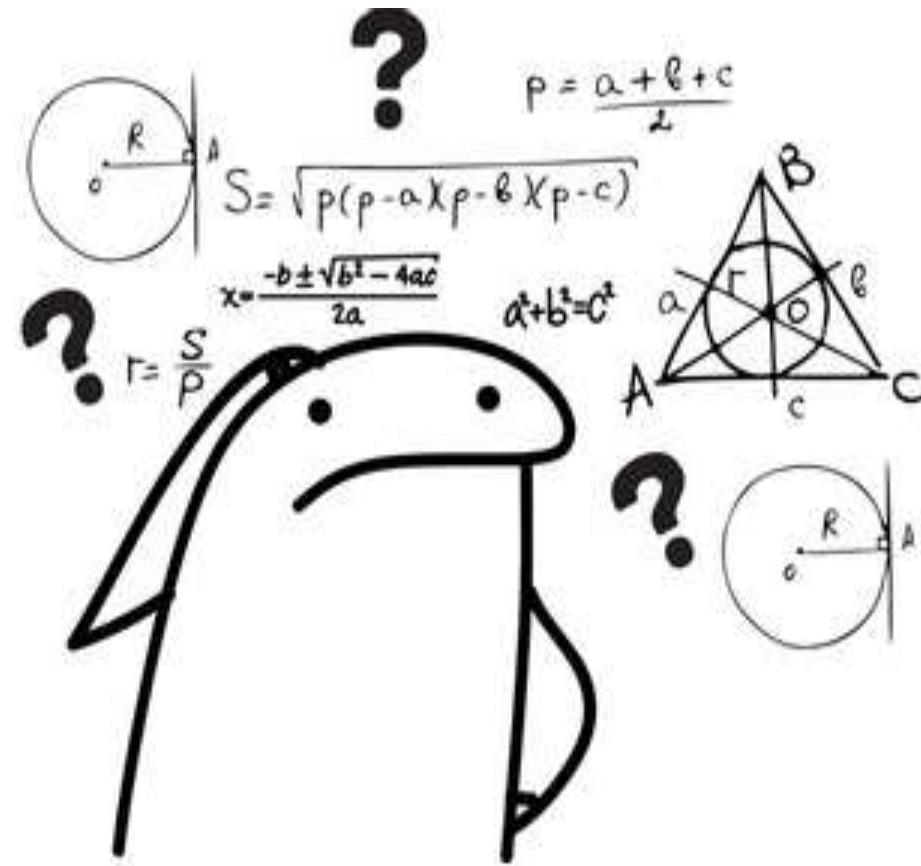
$\frac{dy}{dt} = -cy + dx$

@biologiasitu

BIO

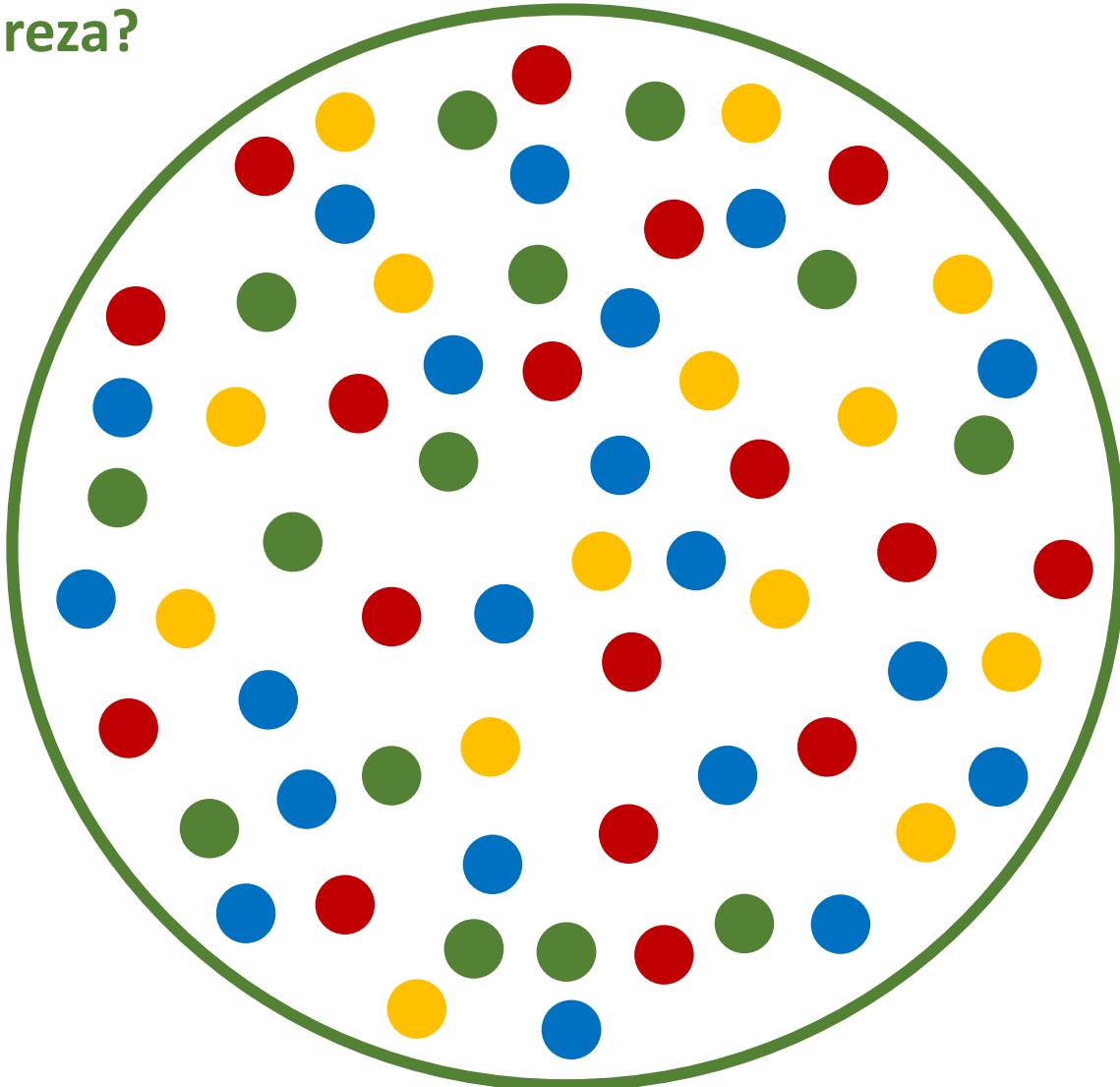
# Ecologia Numérica

Como medimos a natureza?



# Ecologia Numérica

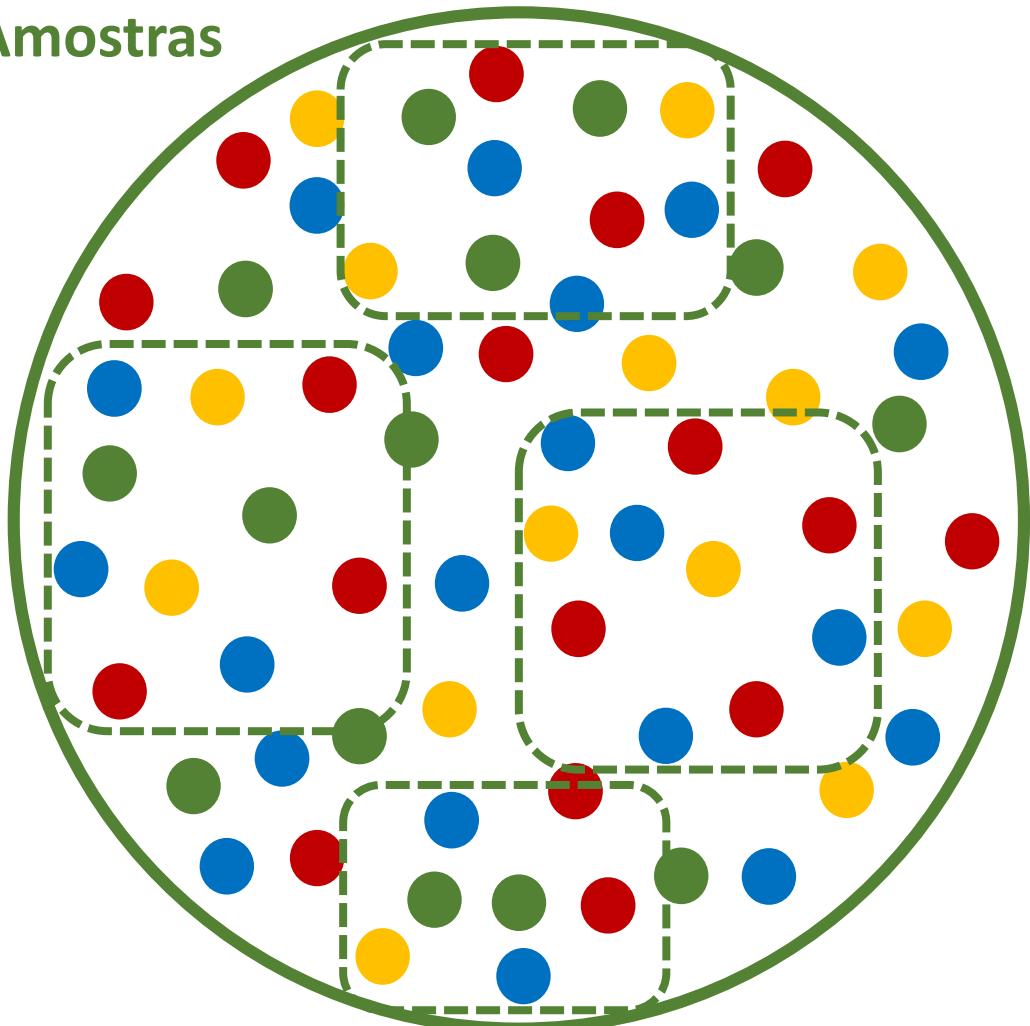
Como medimos a natureza?



# Ecología Numérica

Como medimos a natureza?

Amostras



ECOLOGY

ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA

Concepts & Synthesis | Open Access |

A practical guide to selecting models for exploration, inference, and prediction in ecology

Andrew T. Tredennick, Giles Hooker, Stephen P. Ellner, Peter B. Adler

First published: 12 March 2021 | <https://doi.org/10.1002/ecy.3336> | Citations: 95

Corresponding Editor: Derek M. Johnson.

Tredennick et al. 2021

BIOLOGICAL REVIEWS

Cambridge  
Philosophical Society

Original Article | Open Access |

Understanding 'it depends' in ecology: a guide to hypothesising, visualising and interpreting statistical interactions

Rebecca Spake Diana E. Bowler, Corey T. Callaghan, Shane A. Blowers, C. Patrick Doncaster, Laura H. Antão, Shinichi Nakagawa, Richard McElreath, Jonathan M. Chase

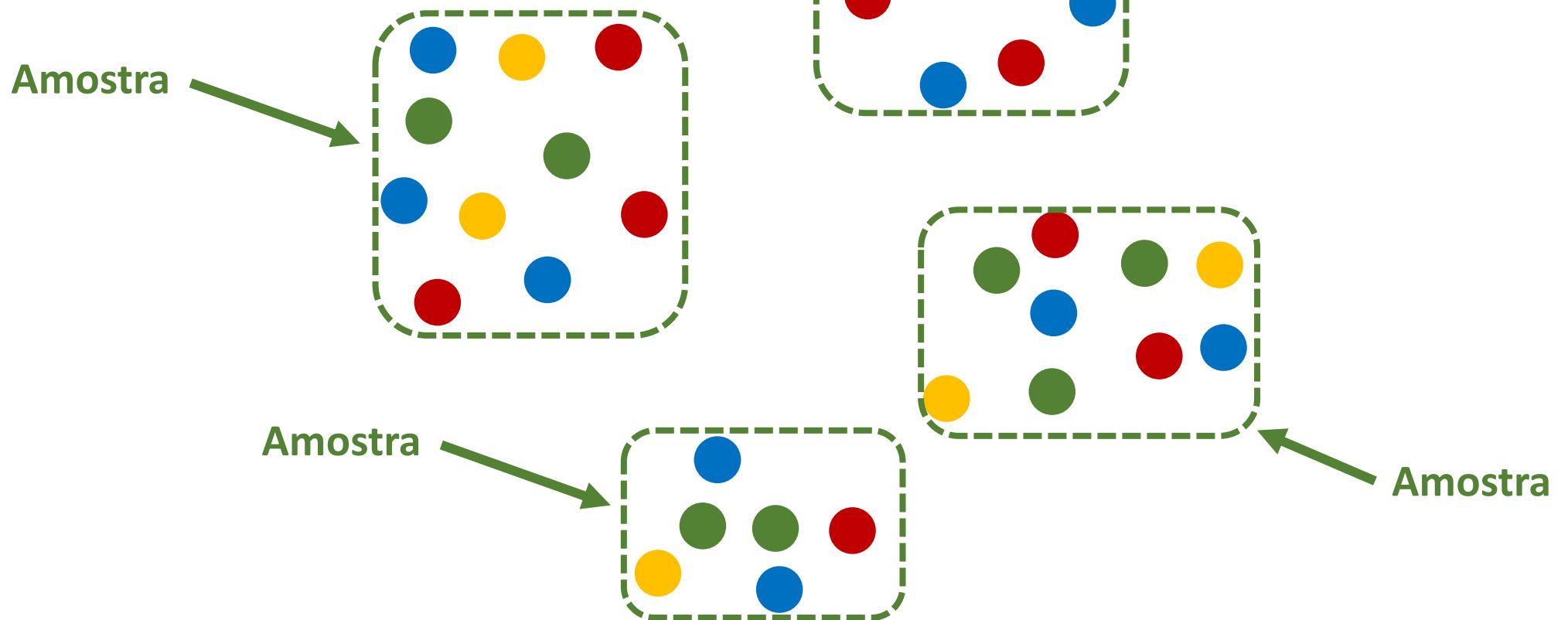
First published: 01 March 2023 | <https://doi.org/10.1111/brv.12939> | Citations: 5

Spake et al. 2023

# Ecologia Numérica

Como medimos a natureza?

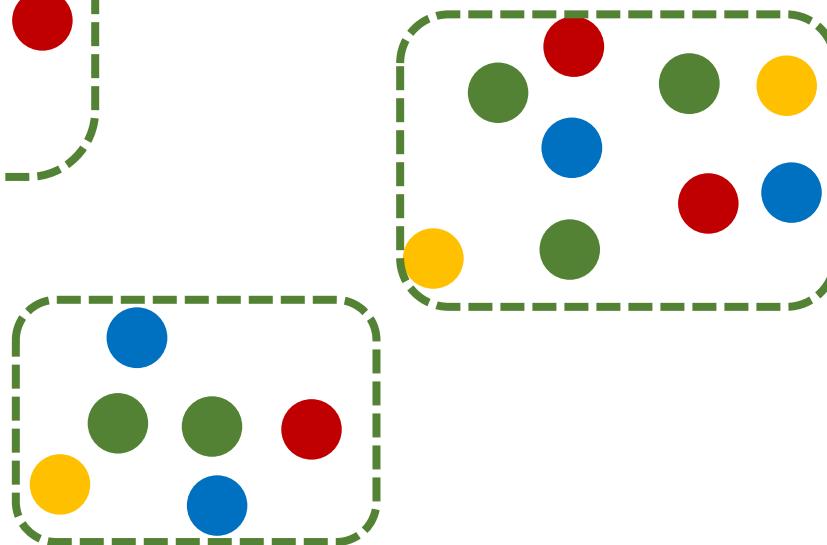
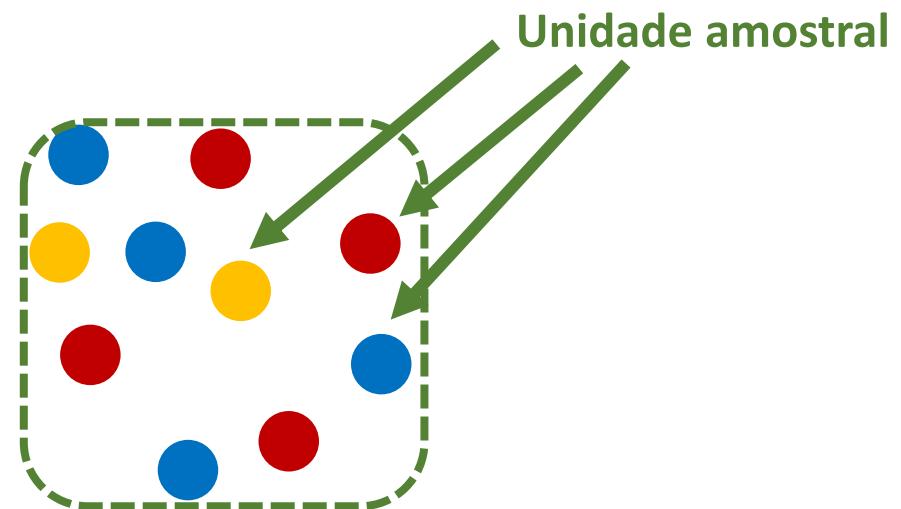
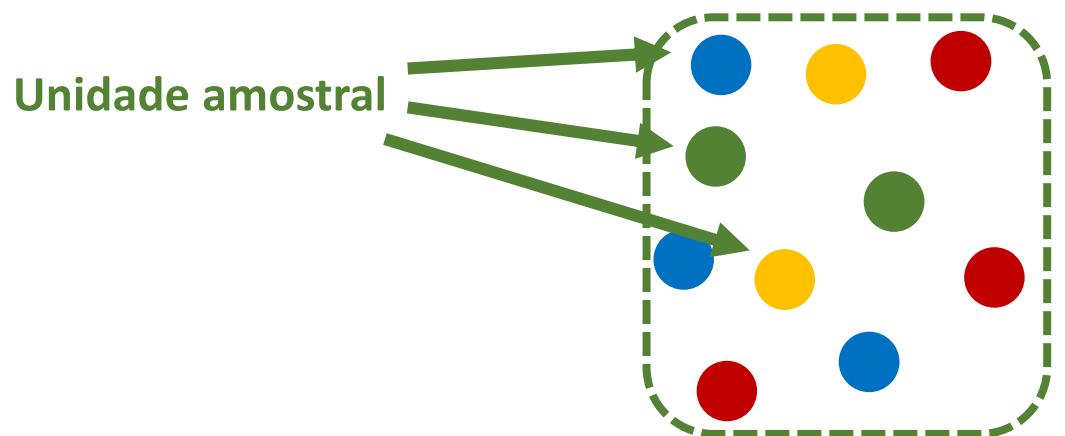
Amostras



# Ecologia Numérica

Como medimos a natureza?

Unidade amostral



# Ecologia Numérica

## Características de uma boa amostra

- Representatividade;
- Aleatoriedade;
- Reprodutibilidade.

Methods in Ecology and Evolution



RESEARCH ARTICLE

Open Access



### Optimising sampling designs for habitat fragmentation studies

Ellen Bowler Veronique Lefebvre, Marion Pfeifer, Robert M. Ewers

First published: 29 September 2021 | <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13731> | Citations: 2

Handling Editor: Nick Isaac

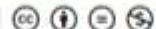
[Bowler et al. 2021](#)

Methods in Ecology and Evolution



RESEARCH ARTICLE

Open Access



### Maximising the informativeness of new records in spatial sampling design

Ian Flint Chung-Huey Wu, Roozbeh Valavi, Wan-jyun Chen, Te-En Lin

First published: 08 December 2023 | <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14260>

Handling Editor: Eric Ward

[Flient et al. 2023](#)

# Ecologia Numérica

Avaliando uma amostra: métodos matemáticos-estatísticos

- Desvio padrão

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

- Erro Padrão

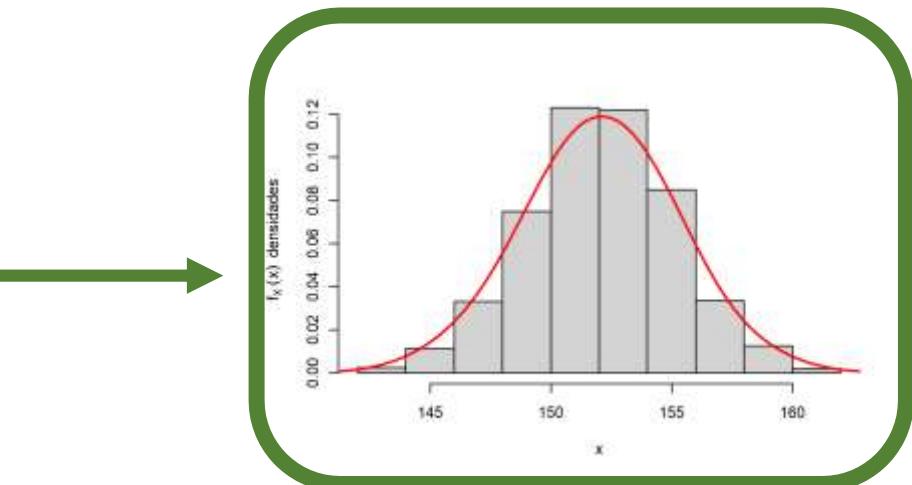
$$S_x = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

- Distribuição de probabilidades

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$



[Hedges et al. 1999](#)



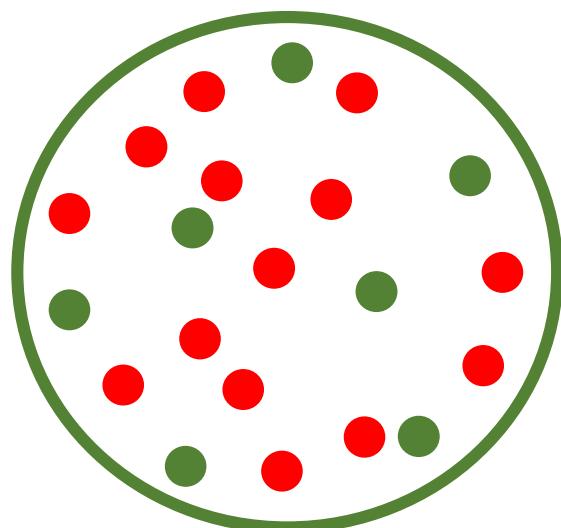
# Ecologia Numérica

Avaliando uma amostra: métodos matemáticos-estatísticos

- I de Moran

$$I = \frac{N}{W} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

- Padronização por distância mínima entre unidades amostrais



Home > Vegetatio > Article

**Spatial pattern and ecological analysis**

Published: June 1989

Volume 80, pages 107–138, (1989) [Cite this article](#)

[Download PDF](#) Access provided by CAPES Springer

Pierre Legendre & Marie Josée Fortin

[Legendre & Fortin 1989](#)

# Ecologia Numérica

Avaliando uma amostra: metodologias de amostragem

- Protocolo de módulo RAPELD  
[\(Magnusson et al. 2005\)](#)

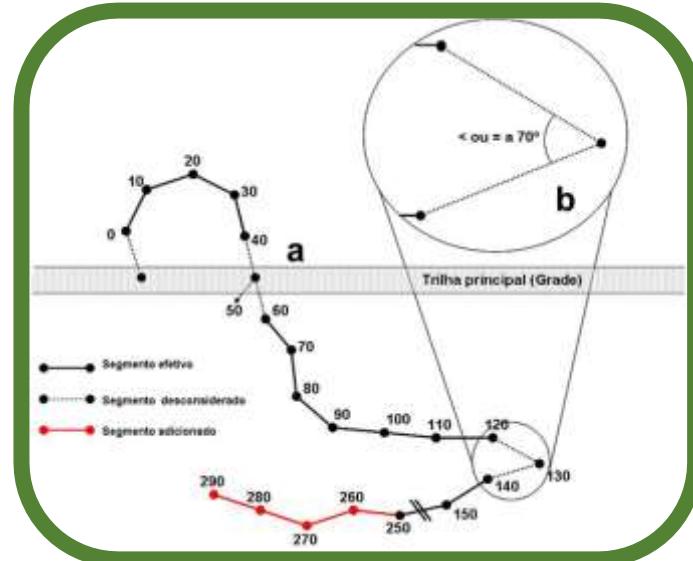


Points of View • Biota Neotrop. 8(2) • 2005 • <https://doi.org/10.1590/S1676-08032005000300002>

**RAPELD: a modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites**

AUTHORSHIP | BIOMASS INSTITUTIONS RANKINGS

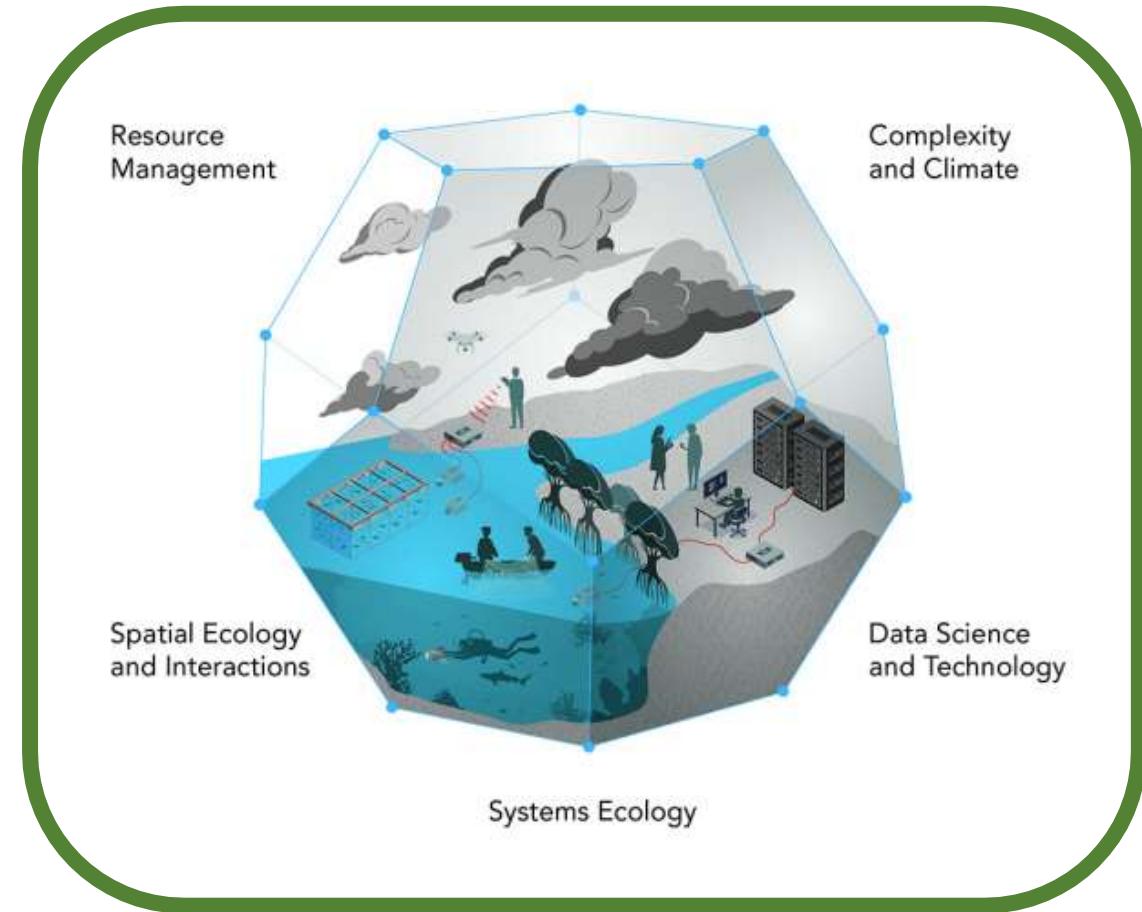
[Magnusson et al. 2005](#)



Fonte: [PPBio INPA: Instalação Parcelas Permanentes em uma Grade RAPELD](#)

# Ecologia Numérica

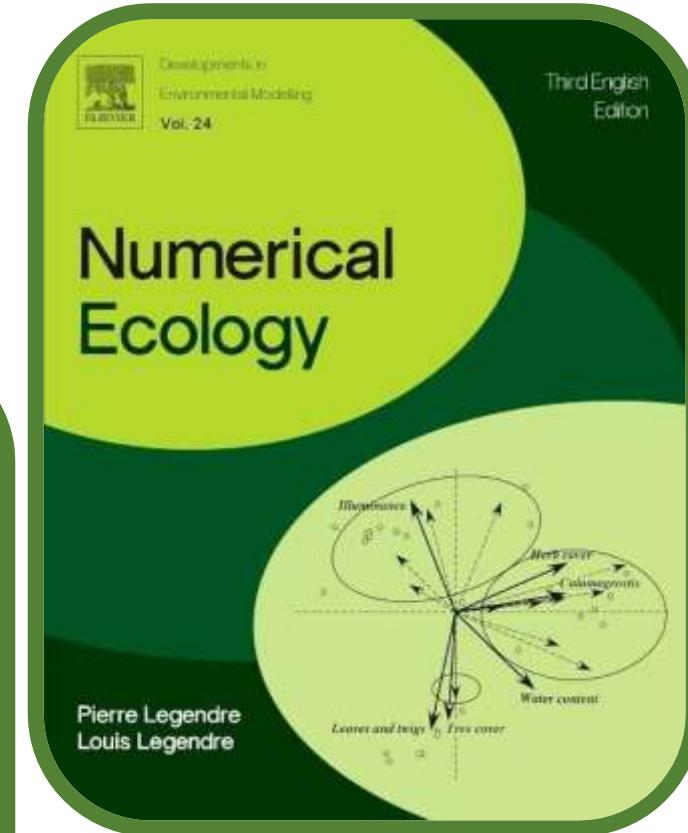
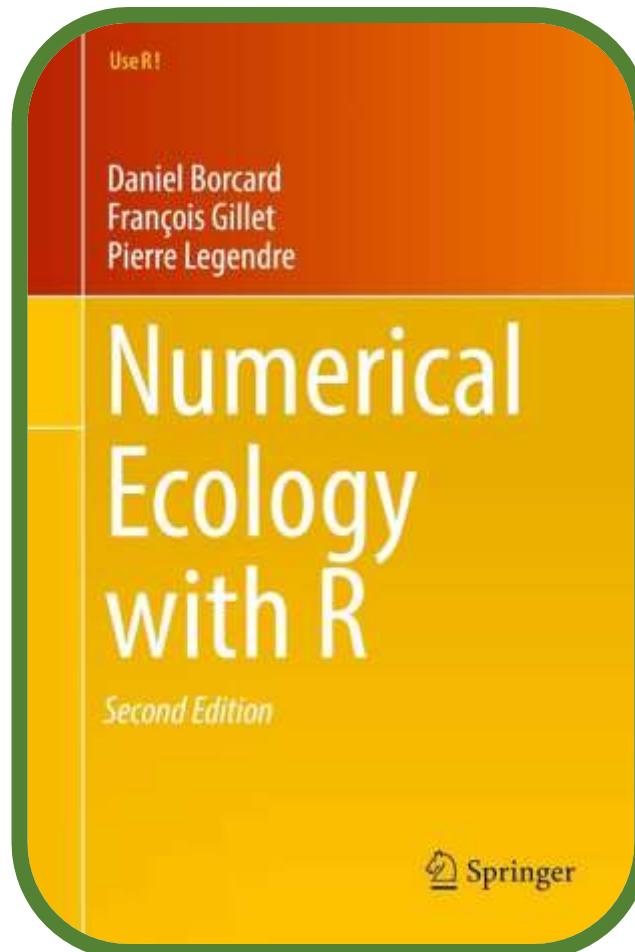
- Área da ecologia responsável por quantificar processos;
- História natural + distribuição + fluxo de energia e matéria em ambientes naturais + modelagem matemática e estatística + ciência de dados;
- “A ecologia que você mais vê número e computador que mato”;
- Presente em QUALQUER estudo ecológico.



Fonte: [Leibniz Centre for Tropical Marine Research](https://www.leibniz-tmc.de/en/research/numerical-ecology/)

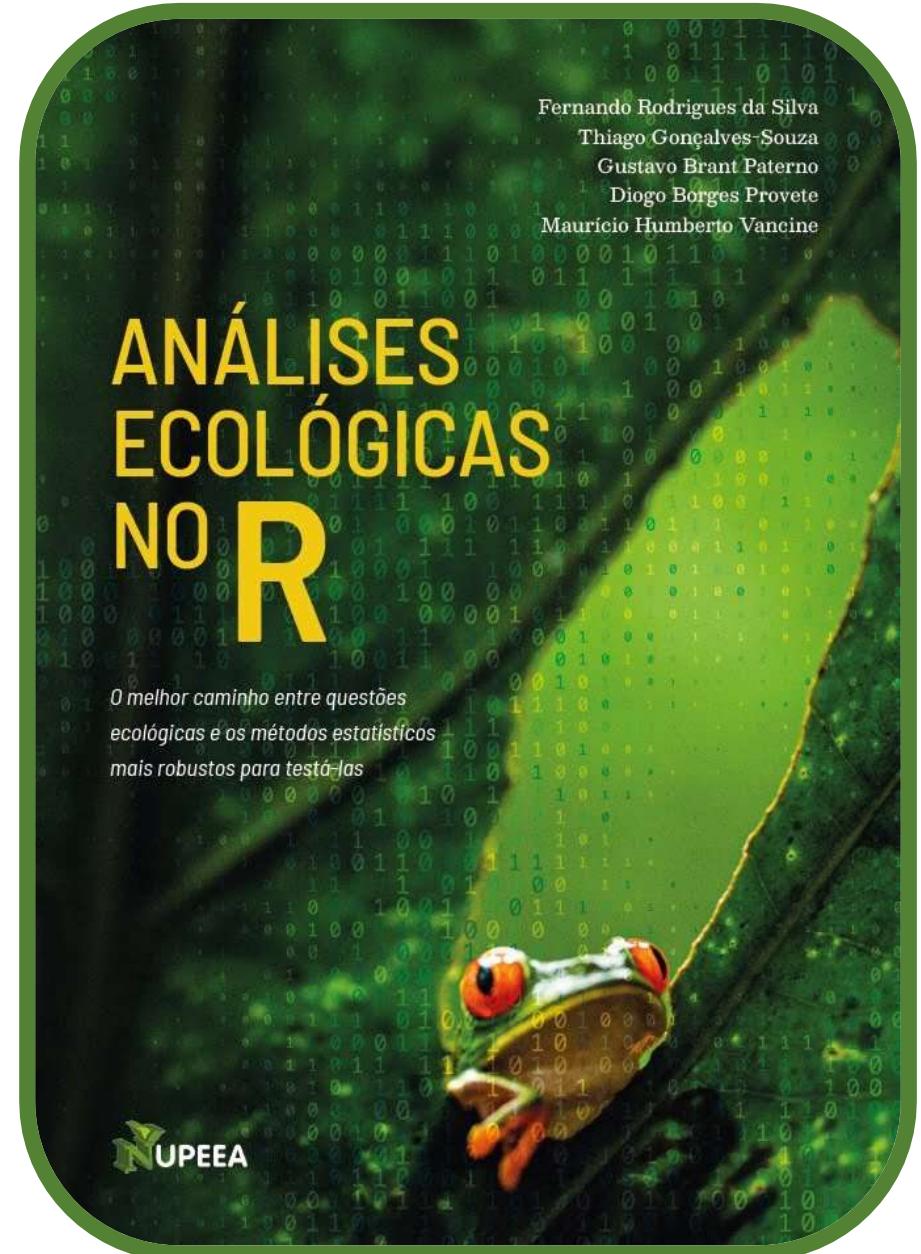
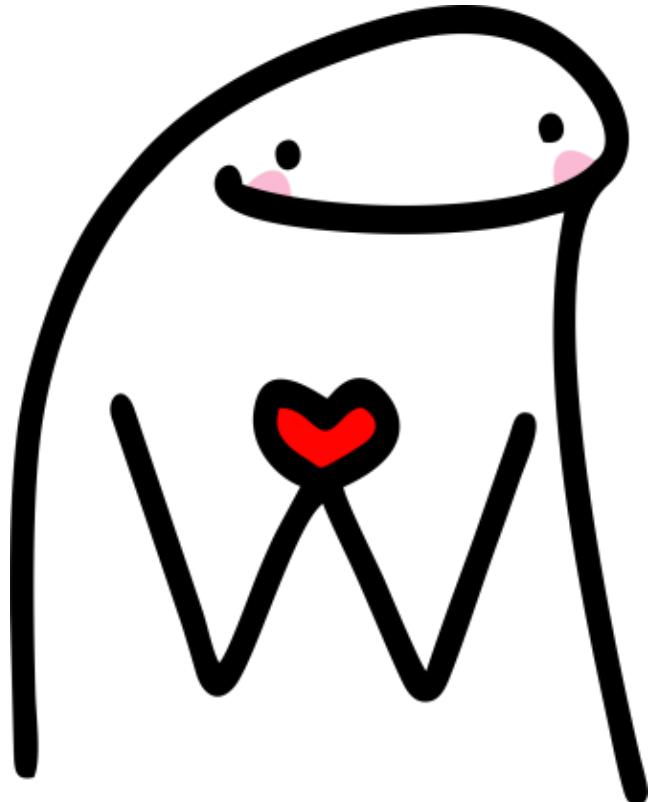
# Ecologia Numérica

- Contexto atual do termo: métricas de ecologia de comunidades, envolvendo aspectos como riquezas e diversidades;
- Alguns dos principais livros: **Numerical Ecology ([Legendre & Legendre 2012](#))**, **Numerical Ecology with R ([Bocard et al. 2018](#))**;
- E a cereja do bolo...



# Ecologia Numérica

- Uma das joias dos livros ***NACIONAIS*** de ecologia: Análises Ecológicas no R ([Silva et al. 2022](#)).



# Comunidades biológicas

O que são?



# Comunidades biológicas



**Ecologia global**  
A **biosfera** é o ecossistema global – a soma de todos os ecossistemas e paisagens do planeta. A **ecologia global** examina como a troca regional de energia e de materiais influencia o funcionamento e a distribuição de organismos na biosfera.

◀ Como a circulação oceânica afeta a distribuição global dos crustáceos?

**Ecologia da paisagem**  
Uma **paisagem** é um mosaico de ecossistemas conectados. A pesquisa em **ecologia da paisagem** enfoca os fatores que controlam as trocas de energia, de materiais e de organismos entre múltiplos ecossistemas.

◀ Em que grau as árvores que margeiam um rio servem como corredores para a dispersão de animais?

**Ecologia de ecossistemas**  
Um **ecossistema** é o conjunto de organismos de uma área e os fatores físicos com os quais eles interagem. A **ecologia de ecossistemas** enfatiza o fluxo de energia e a ciclagem química entre os organismos e o ambiente.

◀ Que fatores controlam a produtividade fotosintética em um ecossistema de pradaria temperada?

**Ecologia de comunidades**  
Uma **comunidade** é um grupo de populações de espécies diferentes de uma área. A **ecologia de comunidades** examina de que modo as interações das espécies, como a predação e a competição, afetam a estrutura e a organização das comunidades.

◀ Que fatores influenciam a diversidade de espécies que constituem uma floresta?

**Ecologia de populações**  
Uma **população** é um grupo de indivíduos da mesma espécie vivendo em uma área. A **ecologia de populações** analisa os fatores que afetam o tamanho populacional e como e por que ele muda ao longo do tempo.

◀ Que fatores ambientais afetam a taxa de reprodução de flamingos?

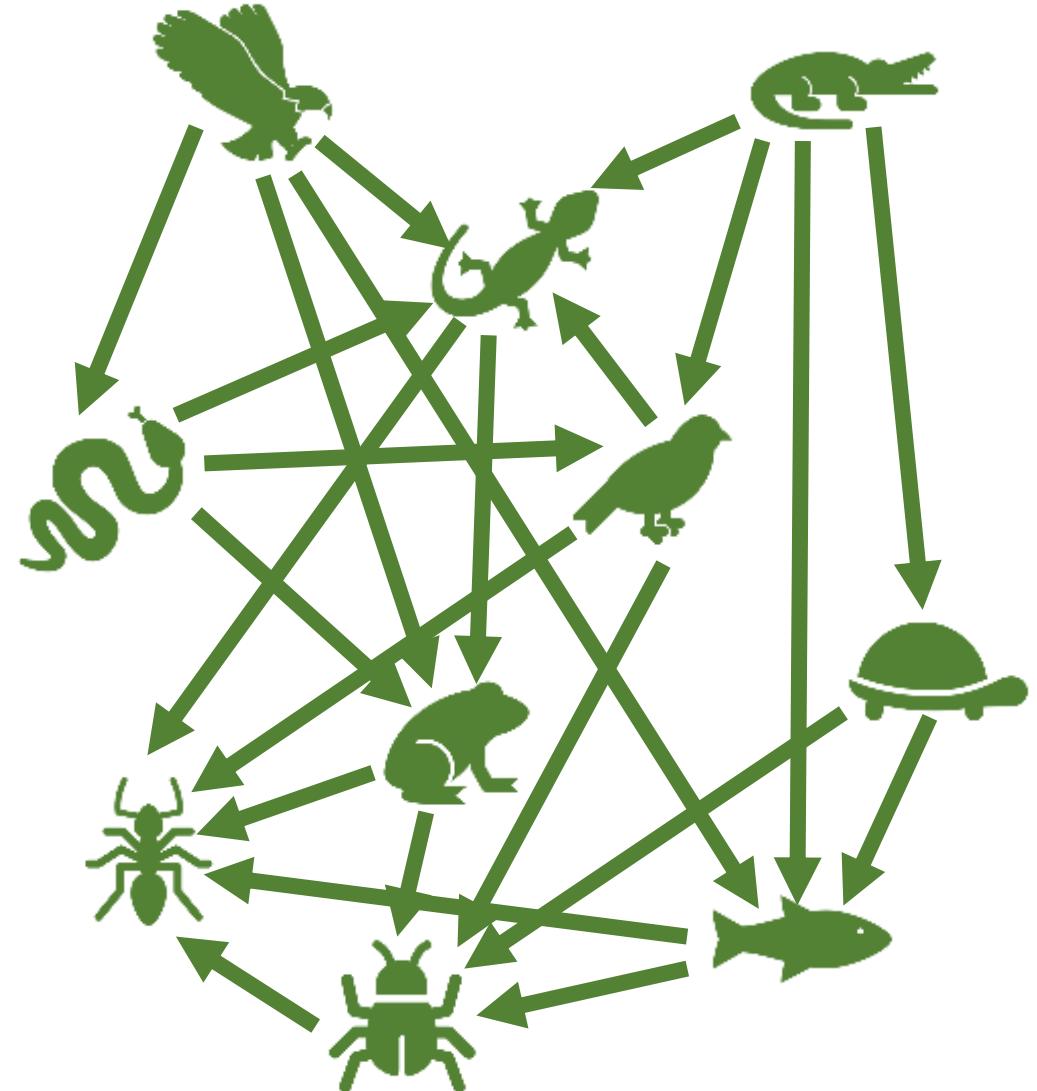
**Ecologia do organismo**  
A **ecologia do organismo**, que inclui as subdisciplinas de ecologia fisiológica, evolutiva e comportamental, está preocupada com a maneira como a estrutura, a fisiologia e o comportamento de um organismo enfrentam os desafios impostos pelo seu ambiente.

◀ Como os tubarões-martelo selecionam um parceiro reprodutivo?

Adaptado de [Reece et al. 2015](#)

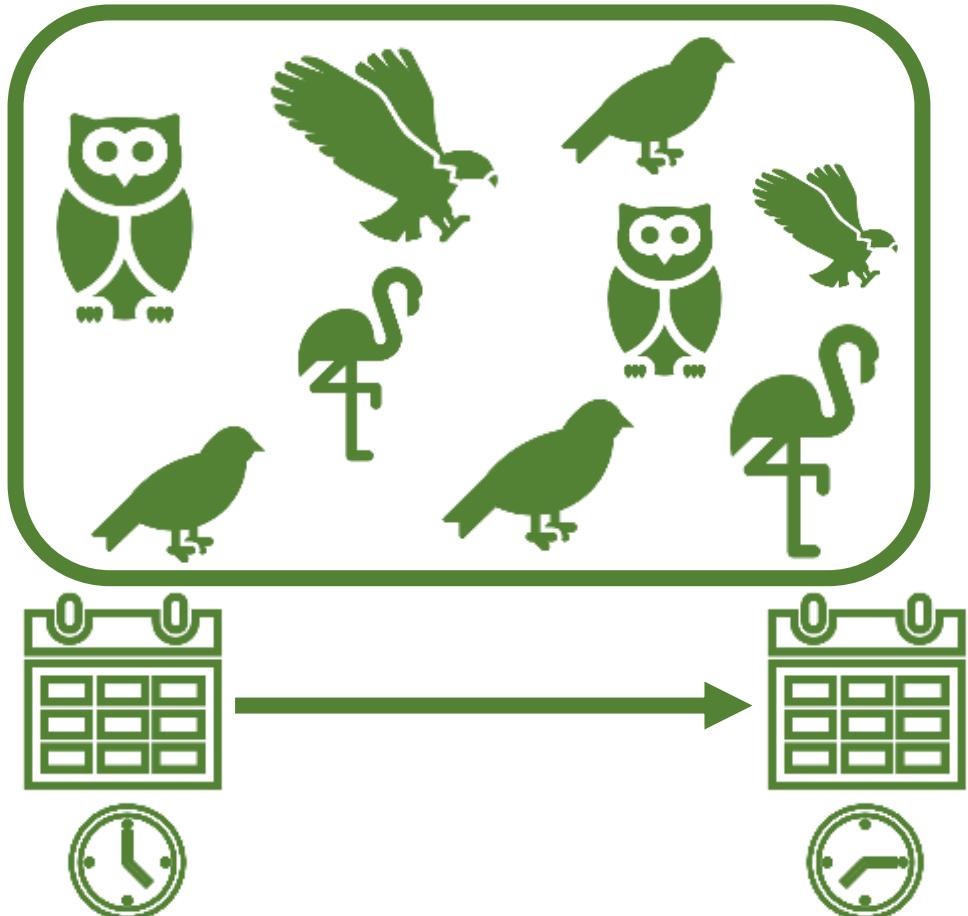
# Comunidades biológicas

- Comunidades envolvem:
  - Espécies dentro de um espaço geográfico, num espaço temporal, que coexistem e possuem relações entre si;
  - Relações diretas e indiretas entre as populações;
  - “Delimitação” de um processo ecológico;
  - Uso de recortes para as delimitações.



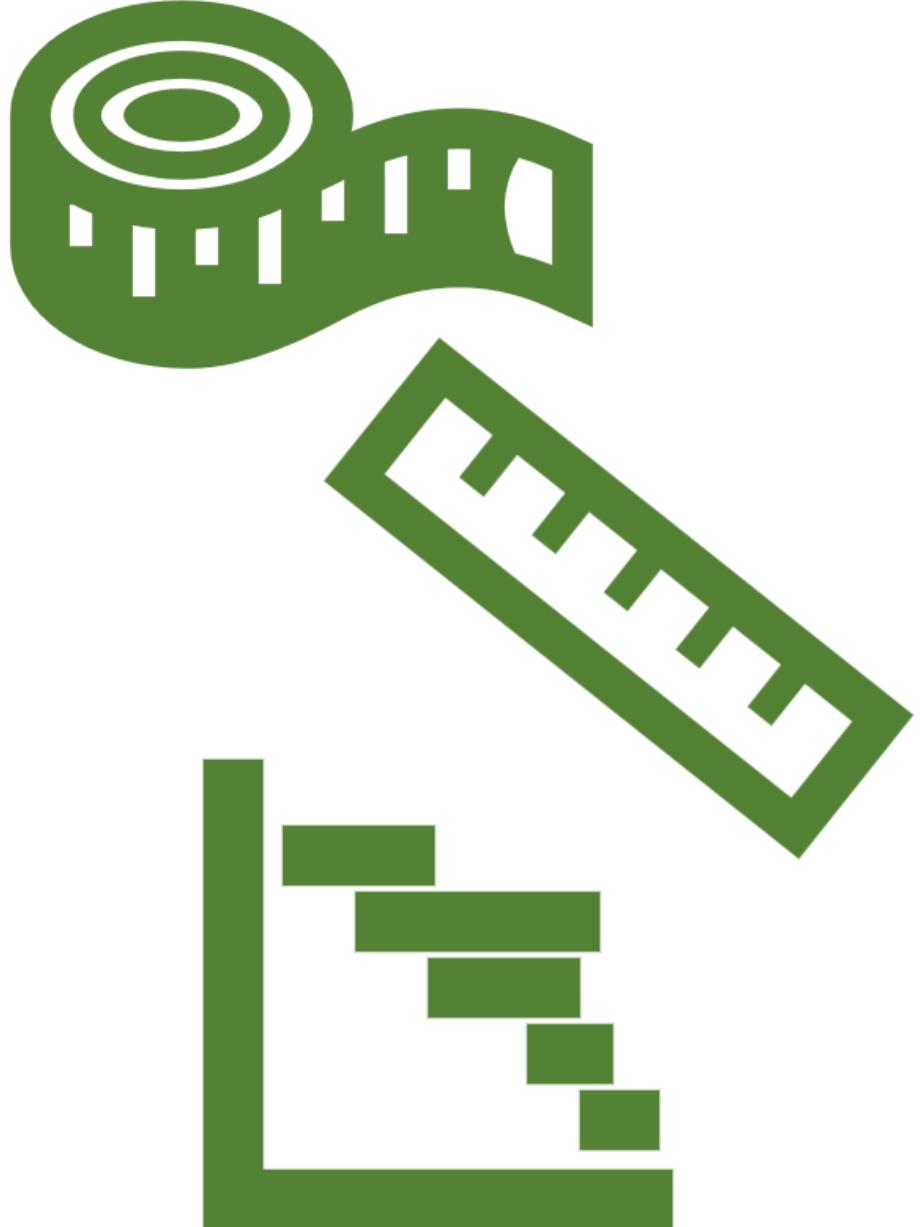
# Comunidades biológicas

- Recortes de comunidades são delimitações criadas para definir o que irá e o que NÃO irá ser considerado comunidade;
- Alguns dos principais tipos de recortes:
  - Espacial (SEMPRE usado);
  - Temporal (SEMPRE usado);
  - Taxonômico (depende da pesquisa);
  - Filogenético (depende da pesquisa);
  - Trófico (depende da pesquisa);
  - Etológico (depende da pesquisa);
  - Funcional (depende da pesquisa);
  - Qualquer coisa que seja RELEVANTE para sua pergunta de pesquisa.



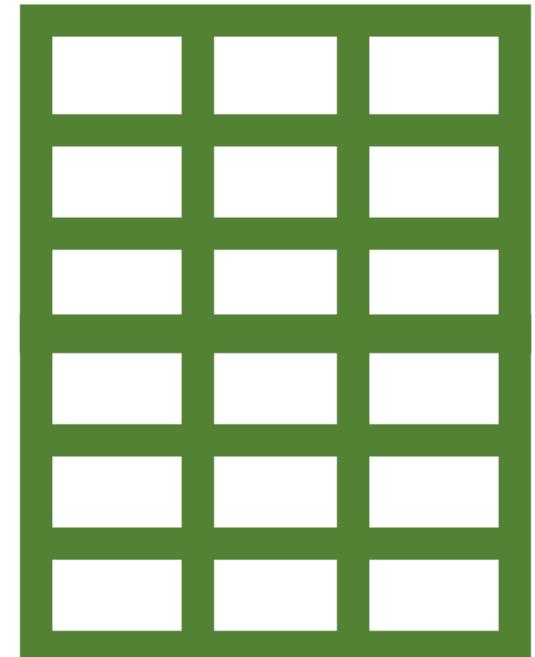
# Métricas

- Auxiliar a criar os recortes;
- Métricas: propriedades numéricas quantizáveis relacionadas ao arranjo e distribuição de fenômenos da comunidade (taxonômico, filogenético e funcional);
- Traduções de fenômenos biológicos para propriedades numéricas quantificáveis e comparáveis;
- Forte uso de conceitos e modelagens matemáticas e estatísticas para os estudos ecológicos.



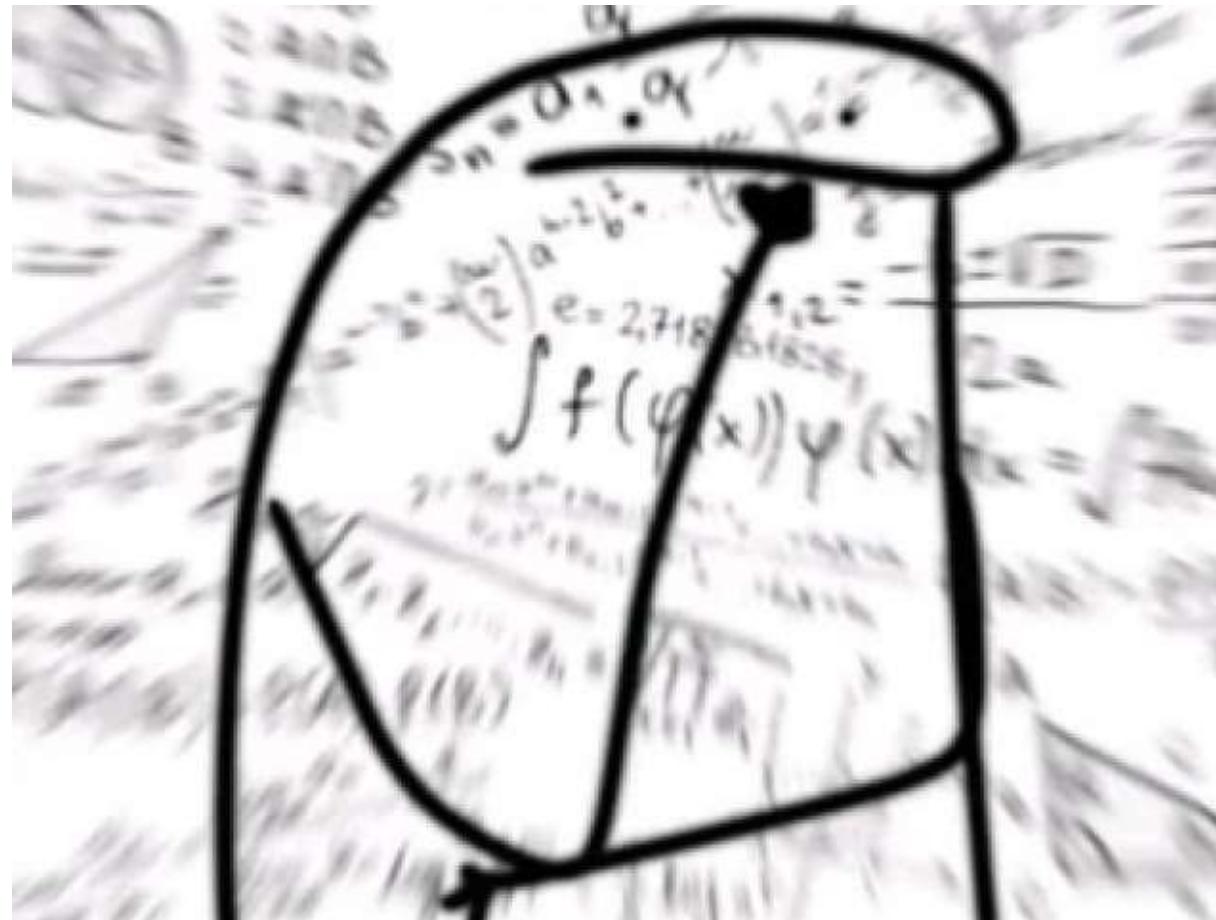
# Métricas

- Podem ser classificadas em três grupos quanto ao que descrevem:
  - Elementos dos conjuntos avaliados: riqueza e diversidade;
  - Número de comunidades avaliadas: alfa e beta;
  - Fenômeno avaliado: taxonômica, filogenética e funcional.
- Qualquer métrica descreve um aspecto de cada um desses três grupos.



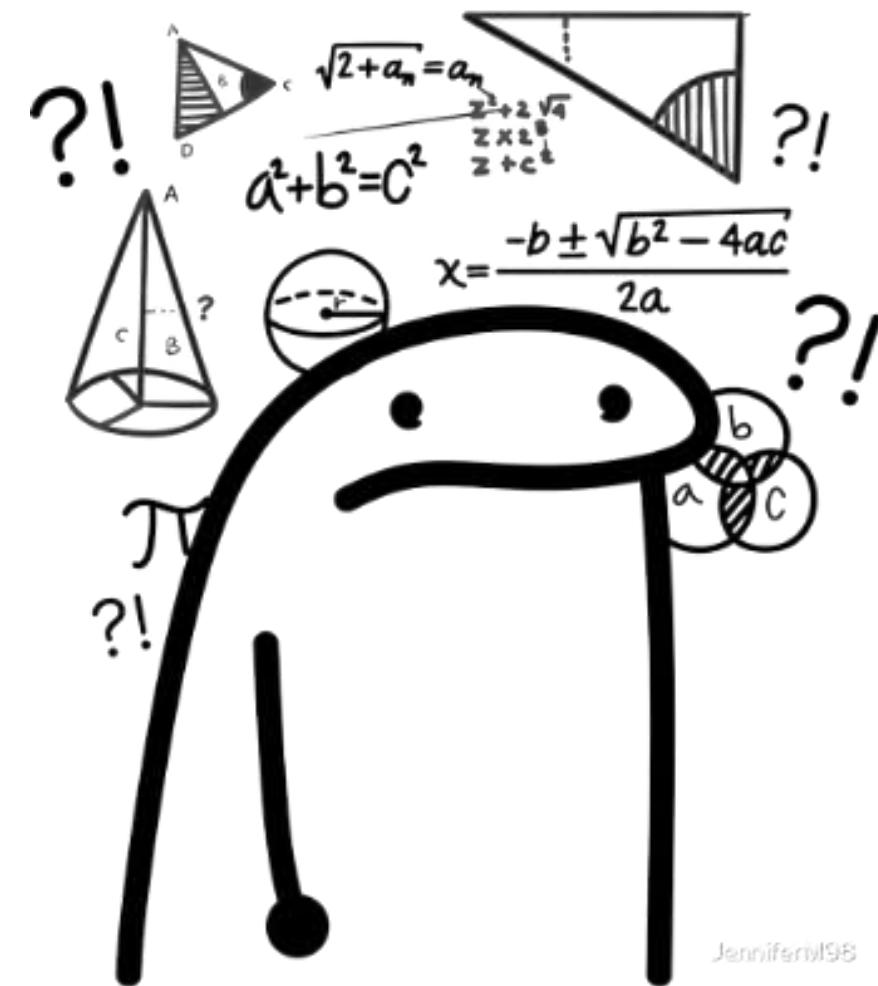
# Métrica taxonômica

- Conceitos iniciais
  - O que seria uma comunidade “diversa”?



# Métrica taxonômica

- Conceitos iniciais
  - O que seria uma comunidade “diversa”?
  - “uma comunidade muito variada!” mas variada em quê?

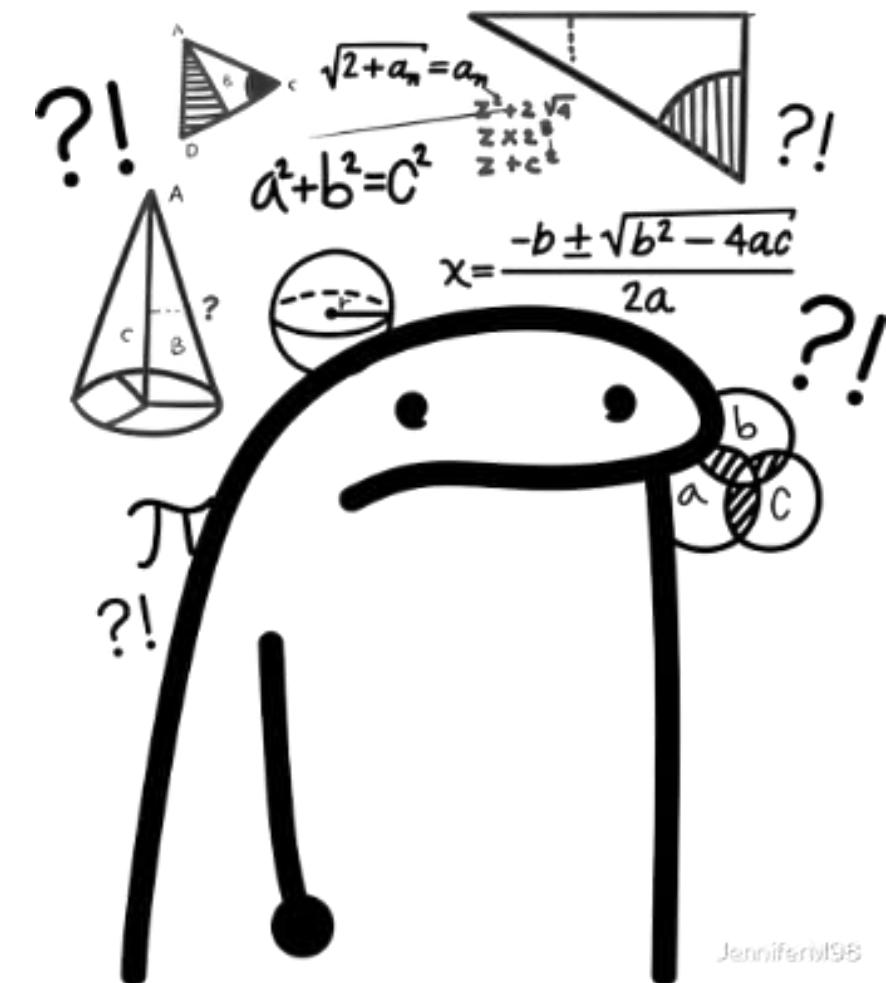


# Métrica taxonômica

- Conceitos iniciais
  - O que seria uma comunidade “diversa”?
  - “uma comunidade muito variada!” mas variada em quê?
  - Diversidade de espécies  $\neq$  biodiversidade



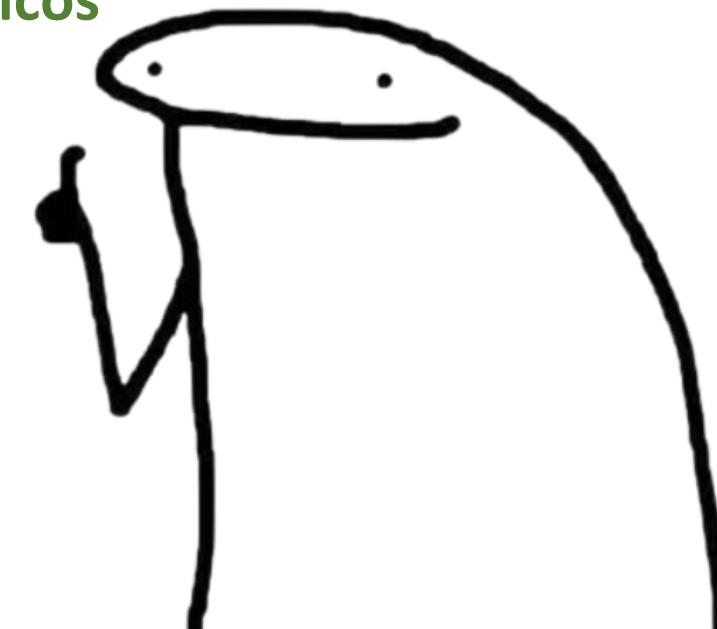
[Hamilton 2005](#)



Jennifer96

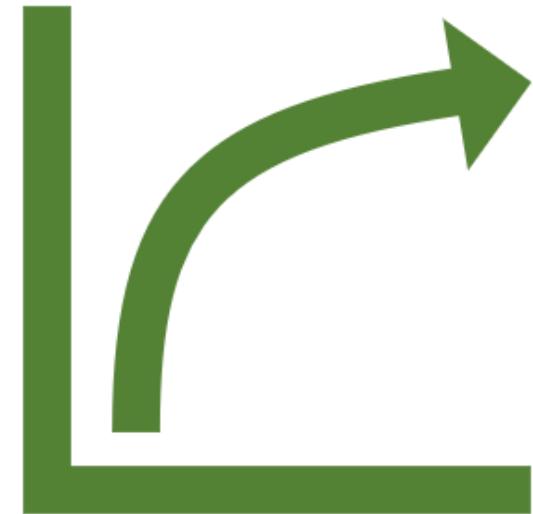
# Métrica taxonômica

- Conceitos iniciais
  - O que seria uma comunidade “diversa”?
  - “uma comunidade muito variada!” mas variada em quê?
  - Diversidade de espécies ≠ biodiversidade;
  - Métrica da variedade dos grupos taxonômicos de uma comunidade.



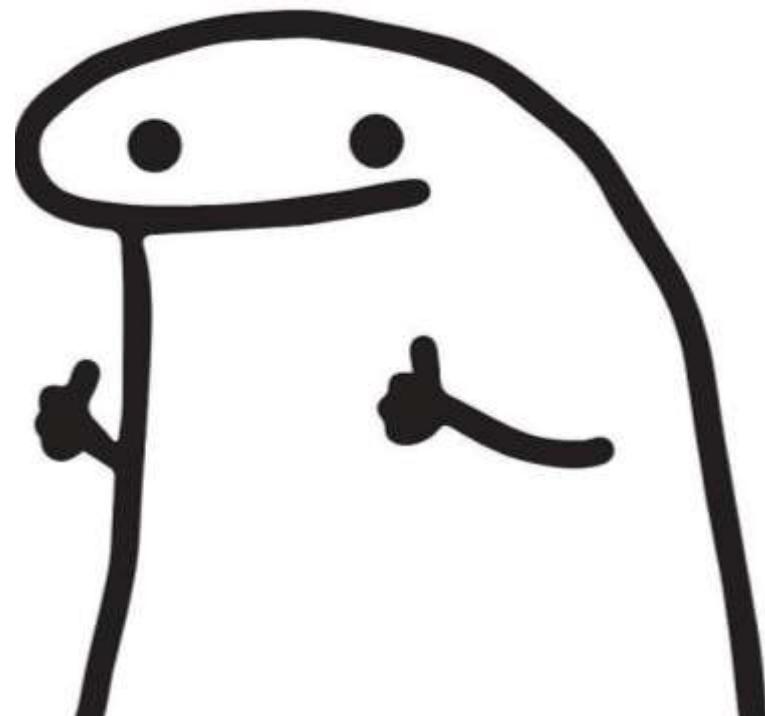
# Métrica taxonômica: riqueza

- Conceitos iniciais
  - Número de entidades taxonômicas amostradas em uma comunidade;
  - Principal nível taxonômica utilizado: espécie;
  - A escolha do nível taxonômico depende da pergunta de pesquisa e das limitações;
  - Tipos de dados: quantidade (numéricos discretos);
  - Parte do pressuposto que a amostragem naquela comunidade foi REPRESENTATIVA, do ponto de vista espacial, temporal e ambiental.



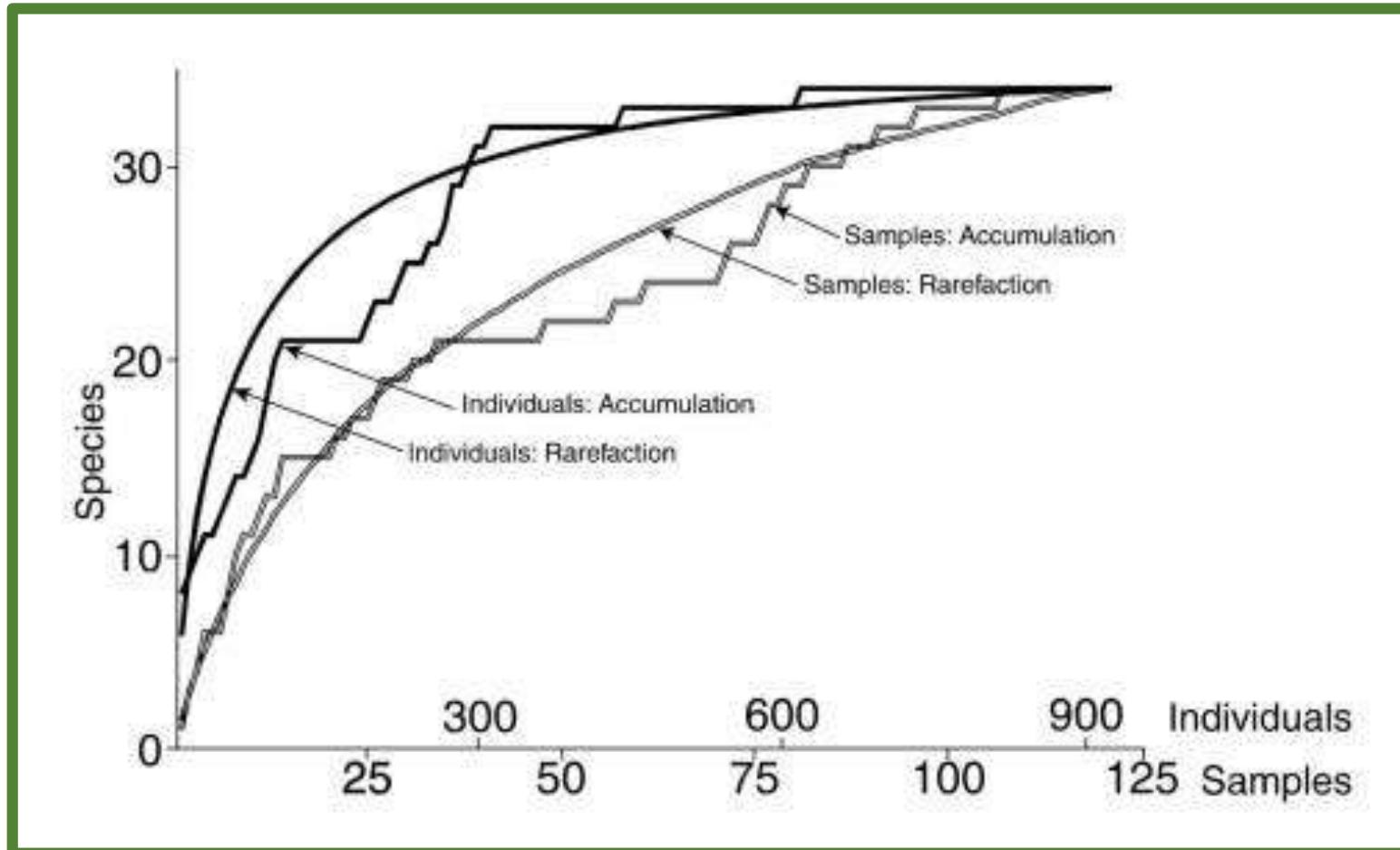
# Métrica taxonômica: riqueza

- Curva de rarefação:
  - Diagramas que descrevem a relação do quanto menos novas entidades taxonômicas são amostradas a medida que mais unidades amostrais são utilizadas;
  - Descreve uma curva, cuja tendência é que fique cada vez menos inclinada à medida que mais amostras são usadas, até chegar em uma assíntota;
  - É interpretado que um comportamento da curva de estabilização significa “não estão surgindo novas entidades taxonômicas para aqueles recortes”.



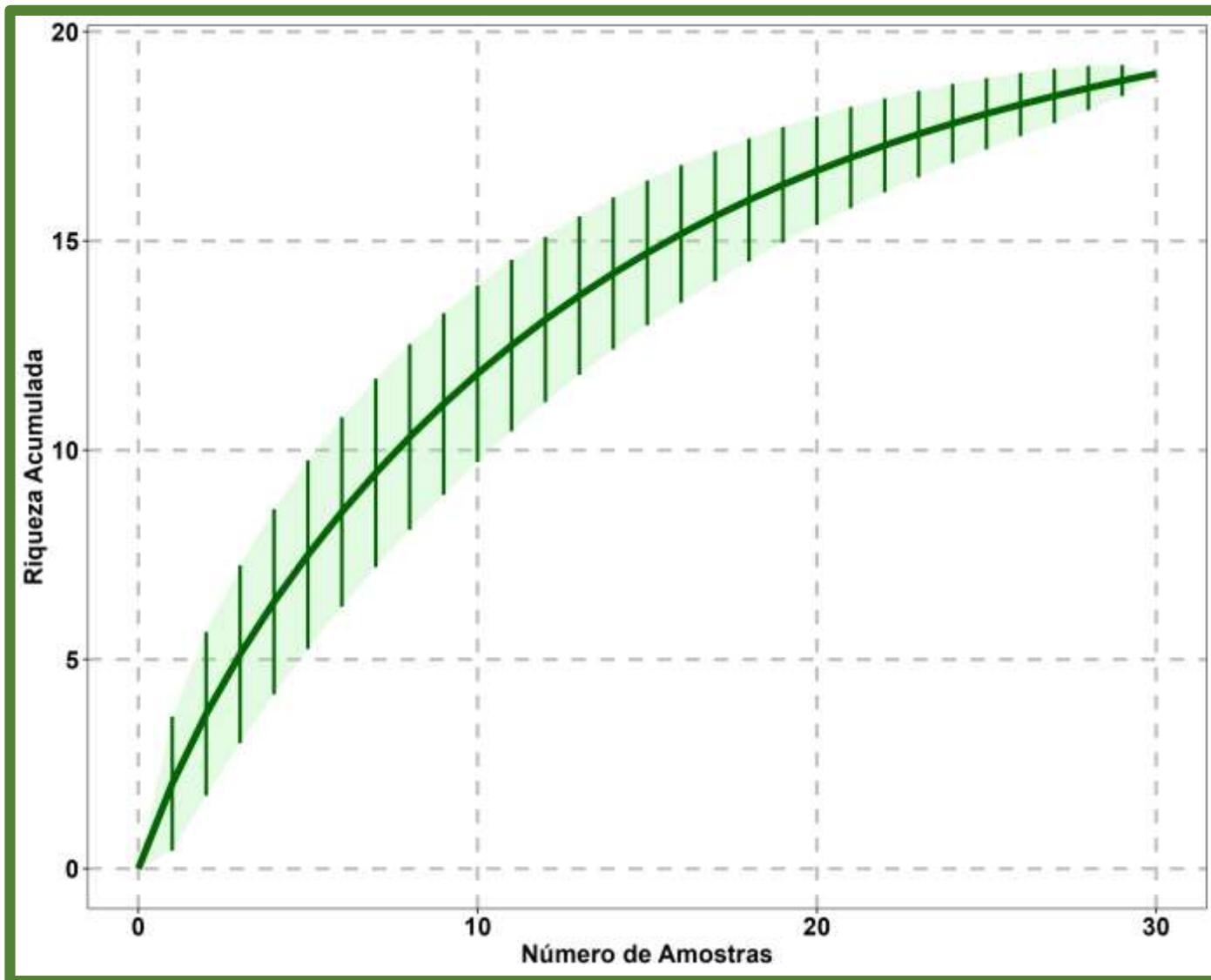
# Métrica taxonômica: riqueza

- Funcionamento da curva de rarefação:



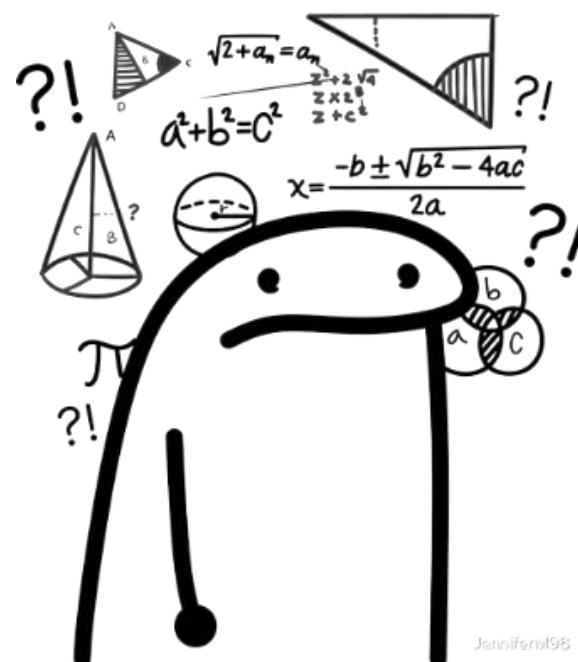
# Métrica taxonômica: riqueza

- Curva de rarefação:



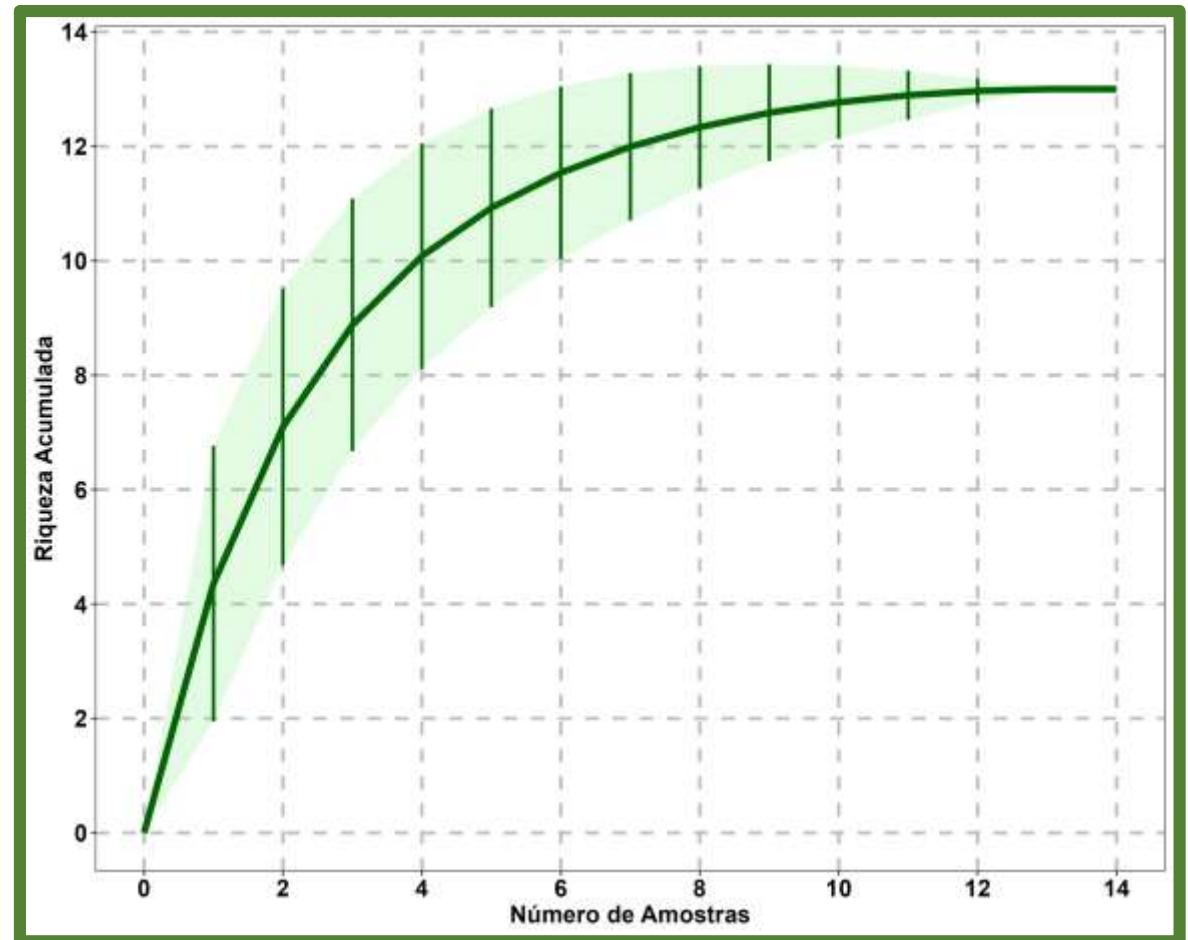
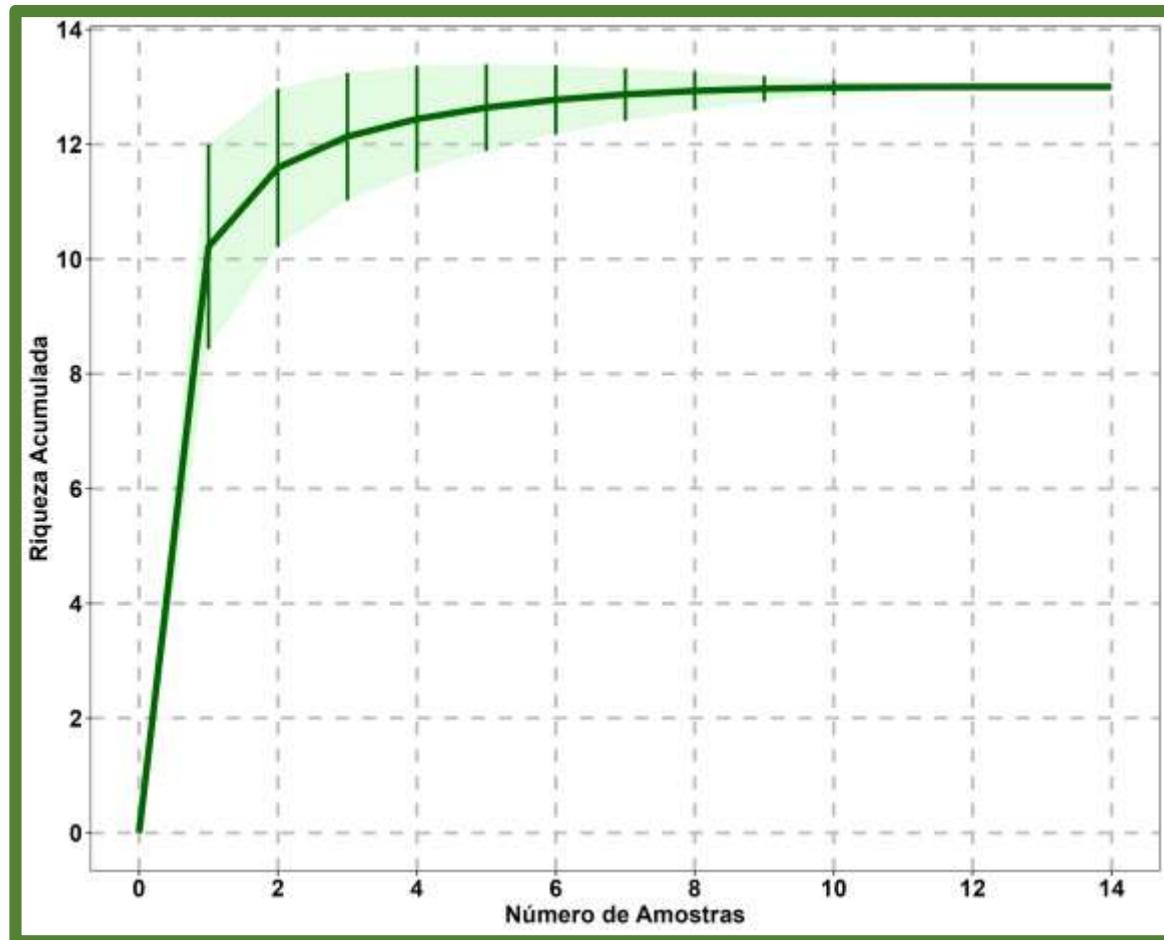
# Métrica taxonômica: riqueza

- Erros de interpretação relacionados à curva de rarefação:
  - Um dos principais erros relacionados à curva de rarefação é de que curvas que não atingiram a estabilidade (ou perto) não são boas amostragens: não é a “qualidade” da curva que define a qualidade da amostragem, mas sim o oposto.



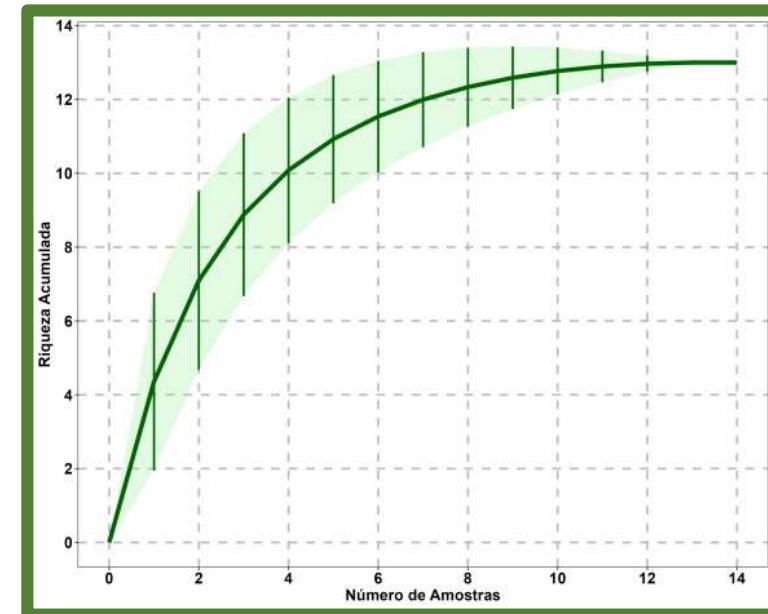
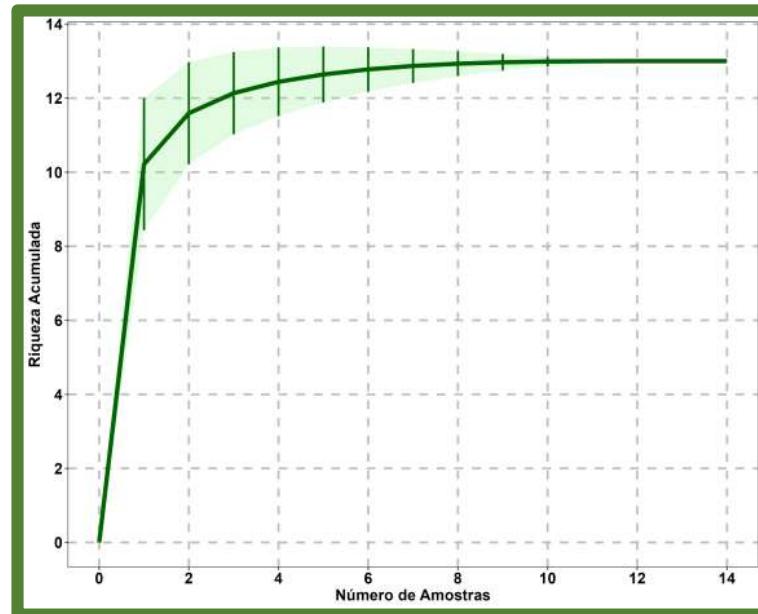
# Métrica taxonômica: riqueza

- Erros de interpretação relacionados à curva de rarefação:



# Métrica taxonômica: riqueza

- Erros de interpretação relacionados à curva de rarefação:



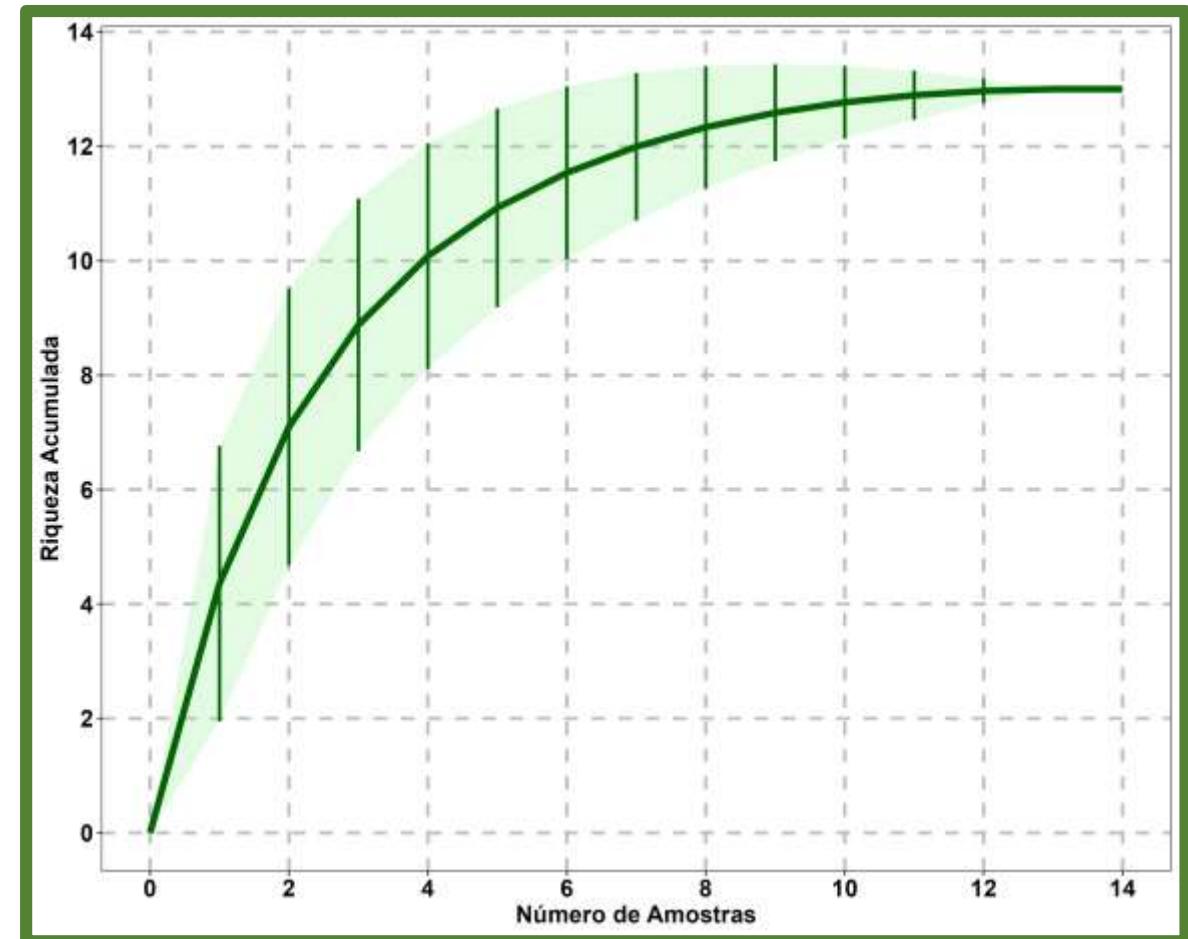
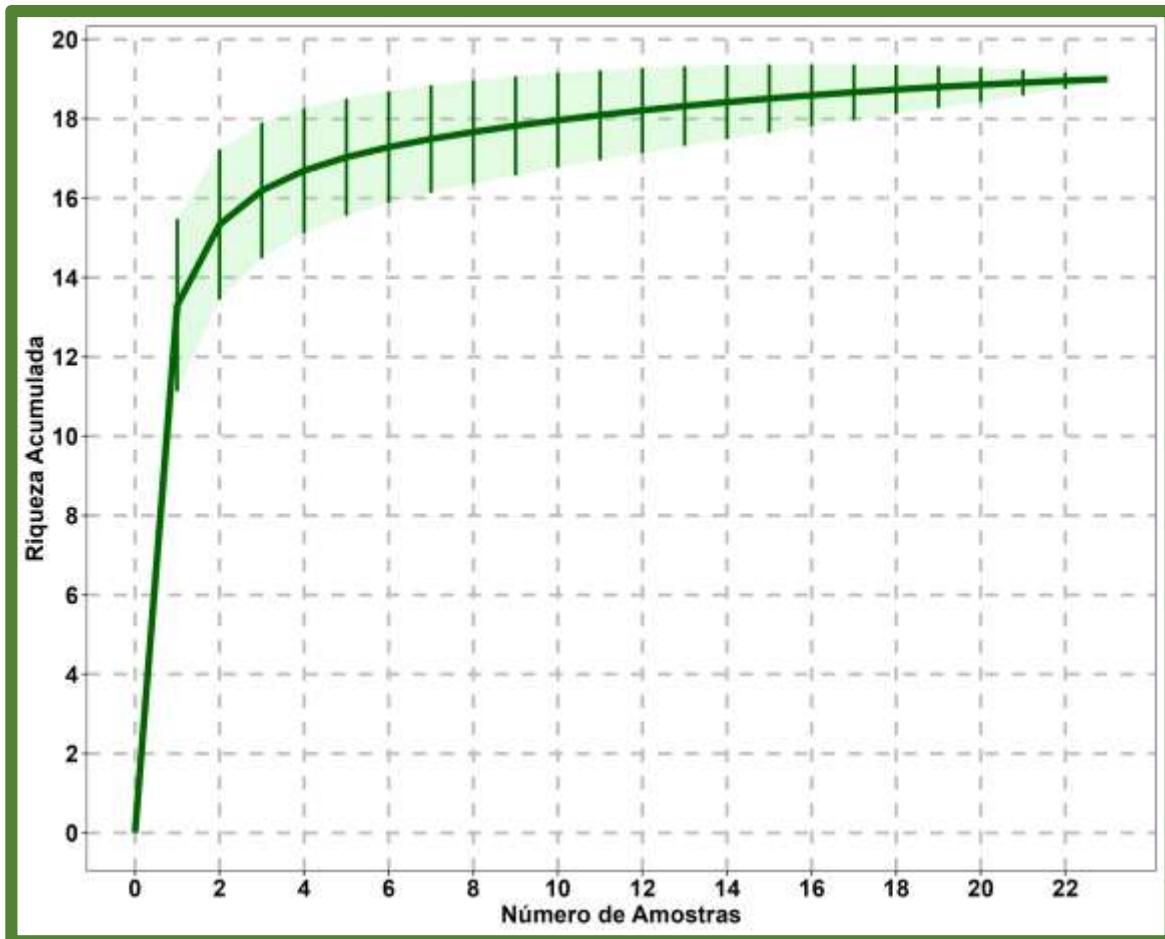
# Métrica taxonômica: riqueza

- Erros de interpretação relacionados à curva de rarefação:
  - **Comparações:** muitos estudos não seguem protocolos de amostragem, então cada estudo tem métodos de amostragem e números de unidades amostrais distintos de outros estudos;
  - **Como um dos principais intutitos da rarefação é fazer comparação entre estudos, comparar estudos feitos de formas diferentes induz a interpretações errôneas.**



# Métrica taxonômica: riqueza

- Erros de interpretação relacionados à curva de rarefação:



# Métrica taxonômica: riqueza

- Erros de interpretação relacionados à curva de rarefação:
  - Estabilização: curva estabiliza = TODAS as espécies foram amostradas: ~~X~~
  - Estatisticamente, é IMPOSSÍVEL amostrar todas as espécies de uma região;
  - O que a curva de rarefação faz: noção do quanto o esforço foi suficiente para que cada vez mais novas espécies aparecessem menos. Isso NÃO significa que TODAS as espécies foram amostradas.



The image shows a screenshot of a journal article from the Journal of Biogeography. The title is "The species-area relationship does not have an asymptote!". It features a green header with the journal name and a small logo of a leaf. Below the header, there's a "Free Access" link, the authors' names (Mark Williamson, Kevin J. Gaston, W. M. Lonsdale), and publication details (First published: 07 July 2008, DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00603.x>, Citations: 103). At the bottom, there's an email address for the corresponding author: [mw1@york.ac.uk](mailto:mw1@york.ac.uk).

[Williamson et al. 2008](#)



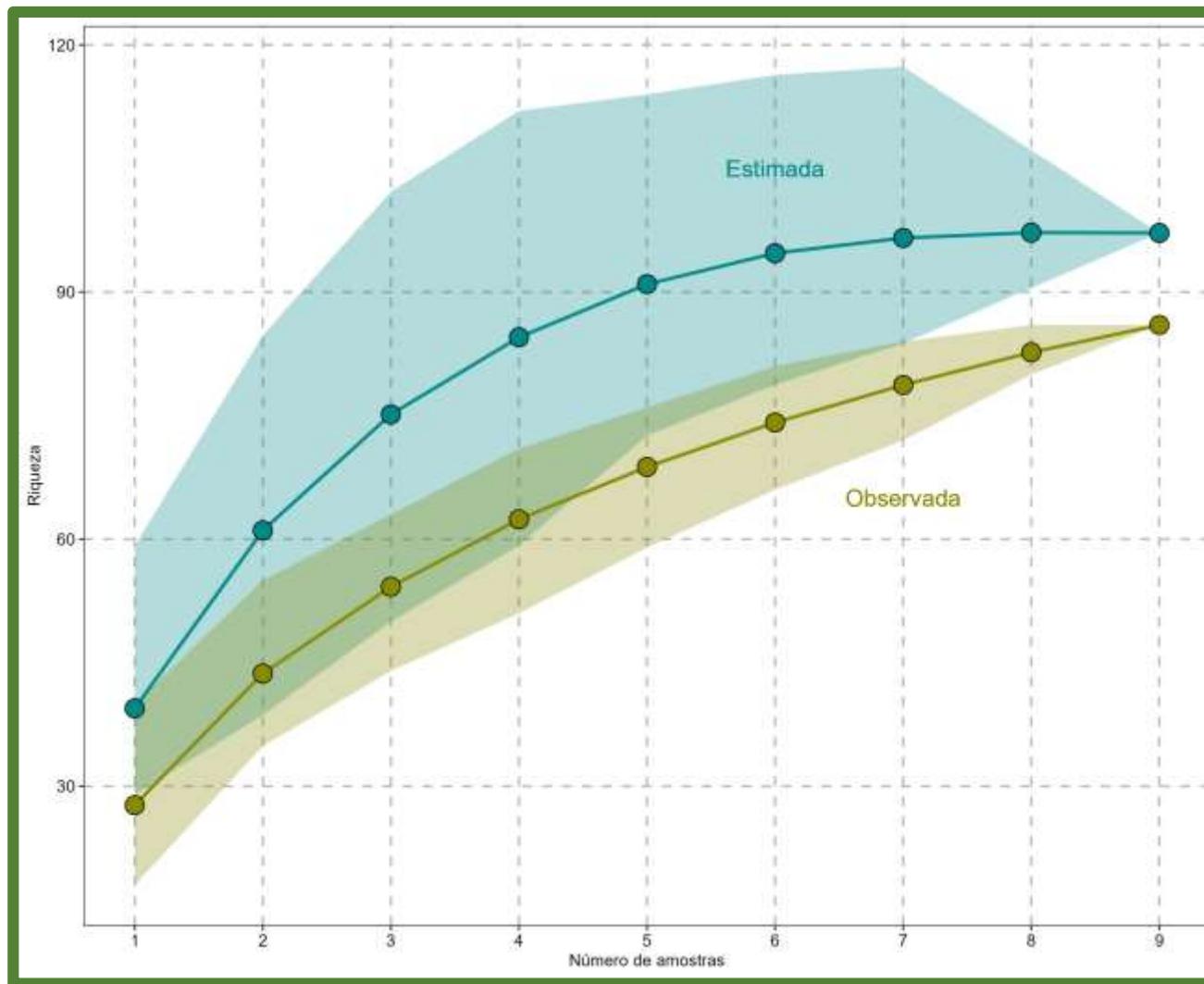
# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza
  - Enquanto que a curva do coletar descreve a representatividade taxonômica de uma comunidade, essa técnica não descreve o quanto de espécies A MAIS uma unidade amostral poderia detectar;
  - Estatisticamente, sempre pode-se esperar que uma unidade amostral possa detectar mais espécies;
  - Unidades amostrais com valores de riqueza coletada próximos do estimado seria consideradas mais representativas.



# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza



# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: Chao1
  - Criado por Anne Chao ([1984](#));
  - Principal estimador utilizado, principalmente por ser simples;
  - Se baseia no número de espécies raras de uma comunidade. Quanto mais espécies raras, maior a diferença entre a riqueza observada e a estimada.

$$Chao_1 = S_{obs} + \left( \frac{n - 1}{n} \right) \frac{F_1(F_1 - 1)}{2(F_2 + 1)}$$

# Métrica taxonômica: riqueza

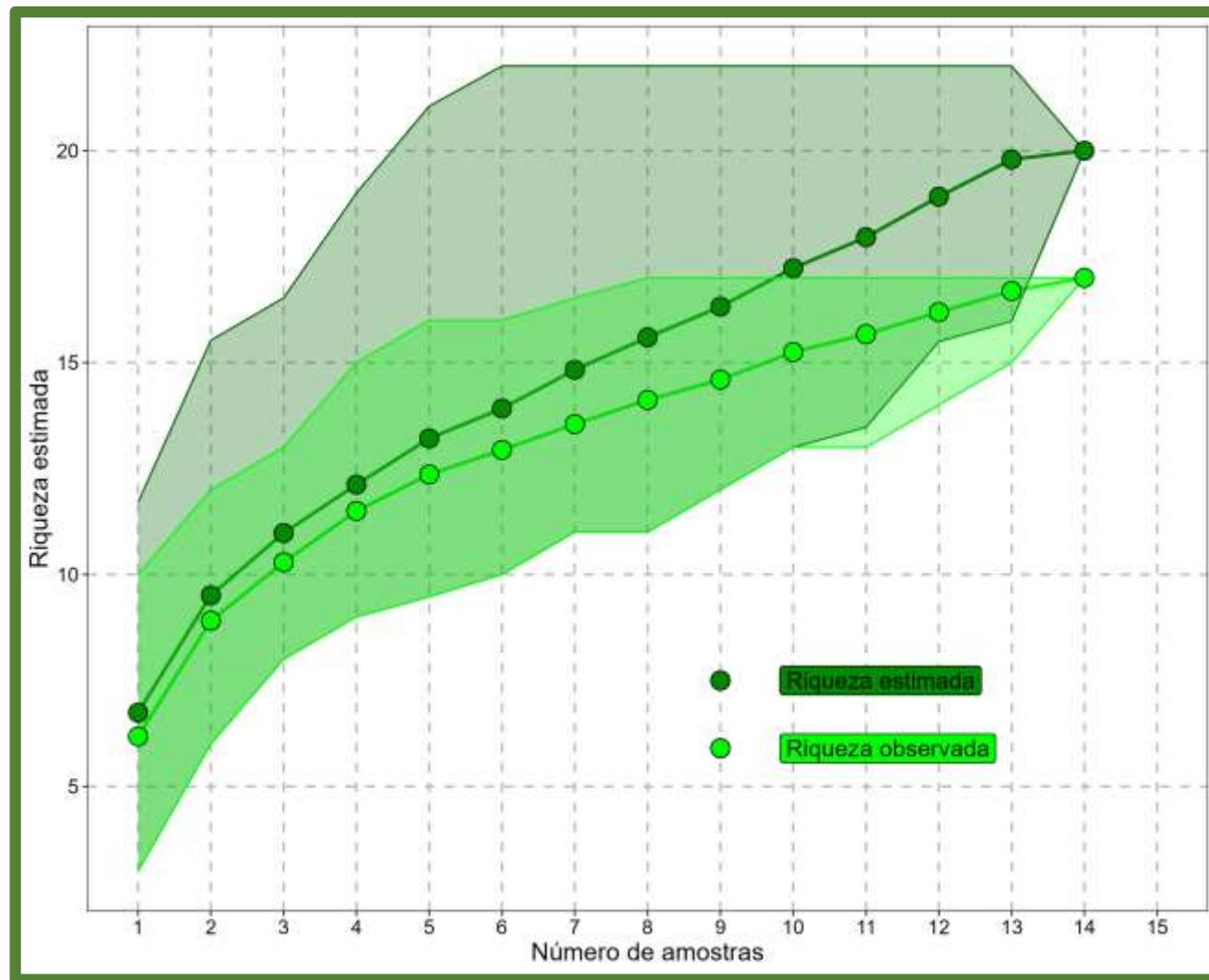
- Estimadores de riqueza: Chao1

$$Chao_1 = S_{obs} + \left( \frac{n - 1}{n} \right) \frac{F_1(F_1 - 1)}{2(F_2 + 1)}$$

- $S_{obs}$  = número de espécies observadas;
- $n$  = quantidade de unidades amostrais;
- $F_1$  = número de espécies observadas com apenas 1 indivíduo (*singleton*);
- $F_2$  = número de espécies observadas com apenas 2 indivíduos (*doubletons*).

# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: Chao1



# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: Jacknife1
  - Desenvolvido por Burnham & Overton ([1978](#));
  - Método de estimação utilizando reamostragem não paramétrico;
  - Se baseia no número de espécies que ocorrem em apenas uma unidade amostral;
  - Mais indicado para comunidades com espécies com baixa abundância.

$$S_{jack1} = S_{obs} + Q_1 \left( \frac{m - 1}{m} \right)$$

# Métrica taxonômica: riqueza

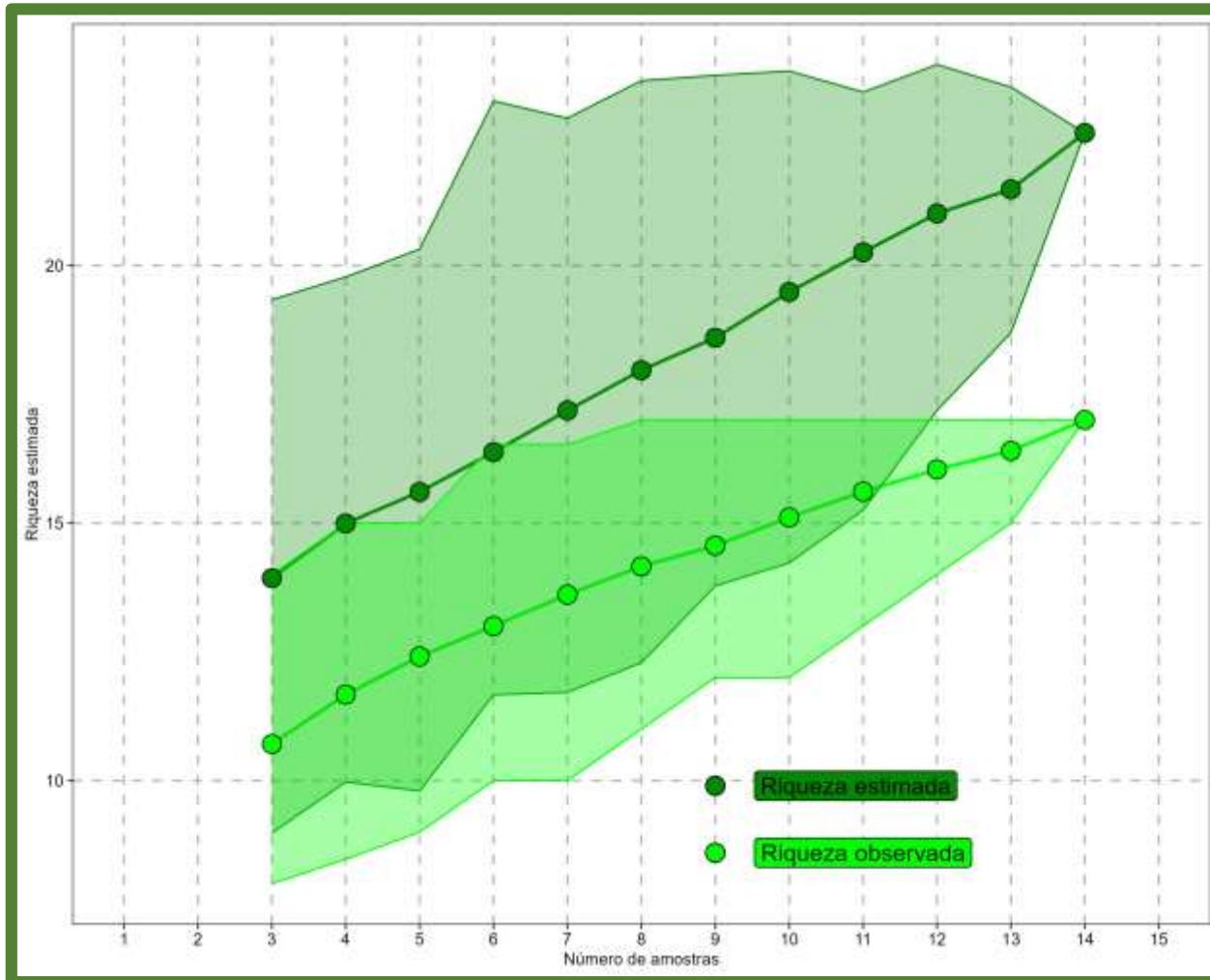
- Estimadores de riqueza: Jacknife1

$$S_{jack1} = S_{obs} + Q_1 \left( \frac{m - 1}{m} \right)$$

- $S_{obs}$  = número de espécies observadas;
- $Q_1$  = número de espécies observadas em uma unidade amostral;
- $m$  = número de unidades amostrais.

# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: Jackknife1



# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: Bootstrap
  - Desenvolvido por Smith & van Belle ([1984](#));
  - Método que utiliza todas as espécies, não apenas as raras;
  - Utiliza somente dados de incidência;
  - Se baseia em reamostragem para estimar a riqueza: 1) seleciona aleatoriamente um conjunto de unidades amostrais, 2) repete seu cálculo n-vezes e 3) estima a média e a variância destes dados;
  - Estudos de curta duração ou que sofreram de alguma incerteza quanto à abundância das espécies.

$$S_{boot} = S_{obs} + \sum_{k=1}^{S_{obs}} (1 - P_k)^m$$



# Métrica taxonômica: riqueza

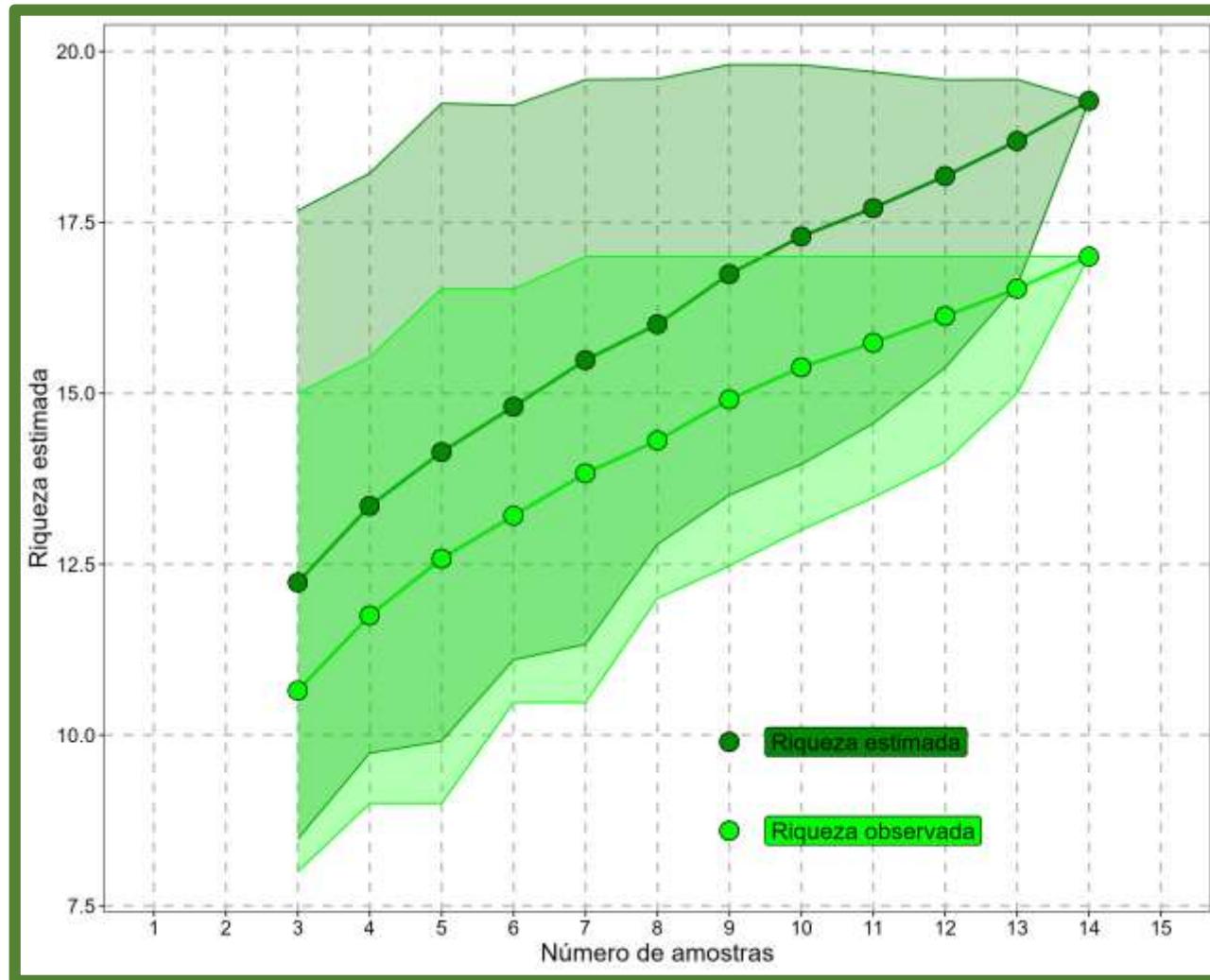
- Estimadores de riqueza: Bootstrap

$$S_{boot} = S_{obs} + \sum_{k=1}^{S_{obs}} (1 - P_k)^m$$

- $S_{obs}$  = número de espécies amostradas;
- $m$  = quantidade de unidades amostrais;
- $P_k$  = proporção de número de unidades amostrais em que cada espécie  $k$  foi registrada.

# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: Bootstrap



# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: interpolação e extração
  - Desenvolvido por Anne Chao & Lou Jost ([2012](#));
  - Algumas vezes, é preciso estimar quanto mais unidades amostrais seriam necessárias para a curva estabilizar;
  - Baseado no método de Bootstrap, a extração calcula o comportamento de uma “nova curva extra”, calculando um intervalo de confiança de 95%;
  - Baseado nesse intervalo de confiança, esse método calcula a interpolação (comportamento da curva com os dados amostrados) e a extração (simulação n-novas unidades amostrais).



# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: interpolação e extração
  - Interpolação:

$$\hat{S} = S_{obs} - \sum_{X_i \geq 1} \frac{\left(\frac{n - X_i}{m}\right)}{\left(\frac{n}{m}\right)} m < n$$

- $S_{obs}$  = número de espécies amostradas;
- $X_i$  = número de indivíduos observados na espécie  $i$ ;
- $n$  = número de unidades amostrais;
- $m$  = tamanho das subunidades amostrais.

# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: interpolação e extração
  - Extração:

$$1 - \hat{C}_{n+m^*} = \hat{S}_{n+m^*+1} - \hat{S}_{n+m^*} \quad m^* > 0$$

- $\hat{S}_{n+m^*}$  = número esperado de espécies preditas para uma amostra aumentada;
- $n$  = número de unidades amostrais;
- $m^*$  = tamanho da comunidade.

# Métrica taxonômica: riqueza

- Estimadores de riqueza: interpolação e extrapolação

ECOLOGY  
ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA

Article |  Free Access

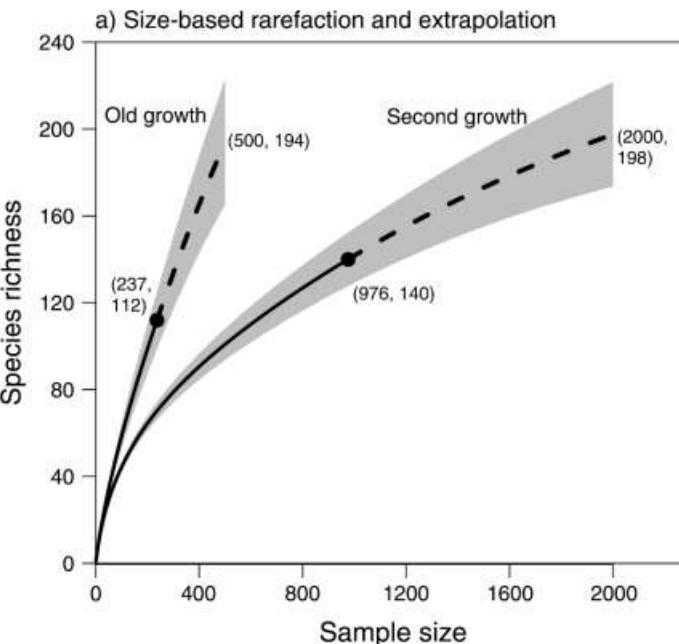
Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size

Anne Chao  Lou Jost

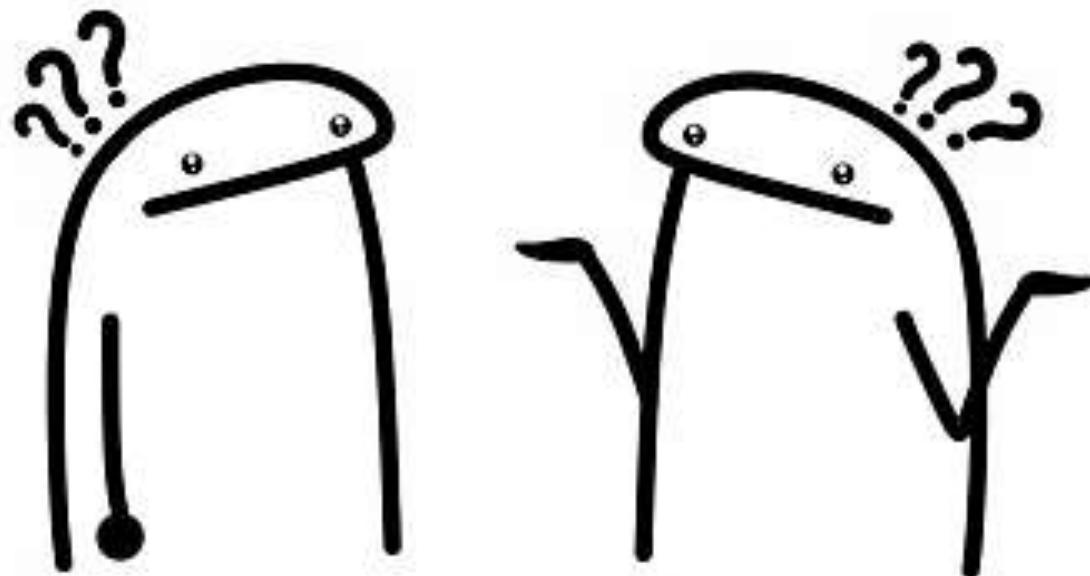
First published: 01 December 2012 | <https://doi.org/10.1890/11-1952.1> | Citations: 1,154

Corresponding Editor: F. He.

Chao & Jost 2012

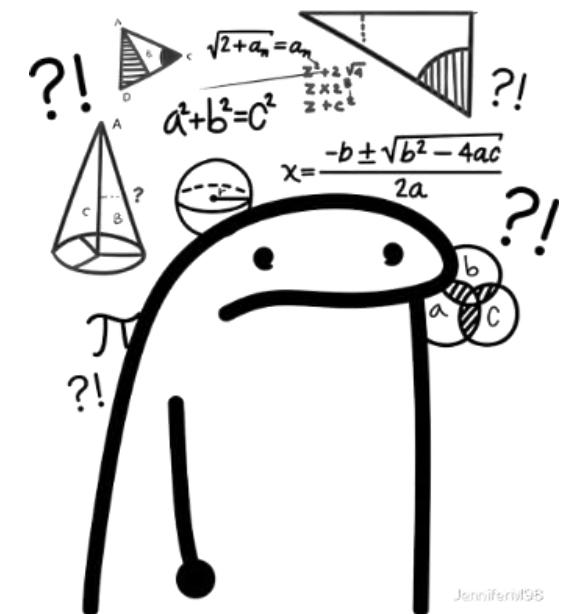


# Dúvidas? Questionamentos?



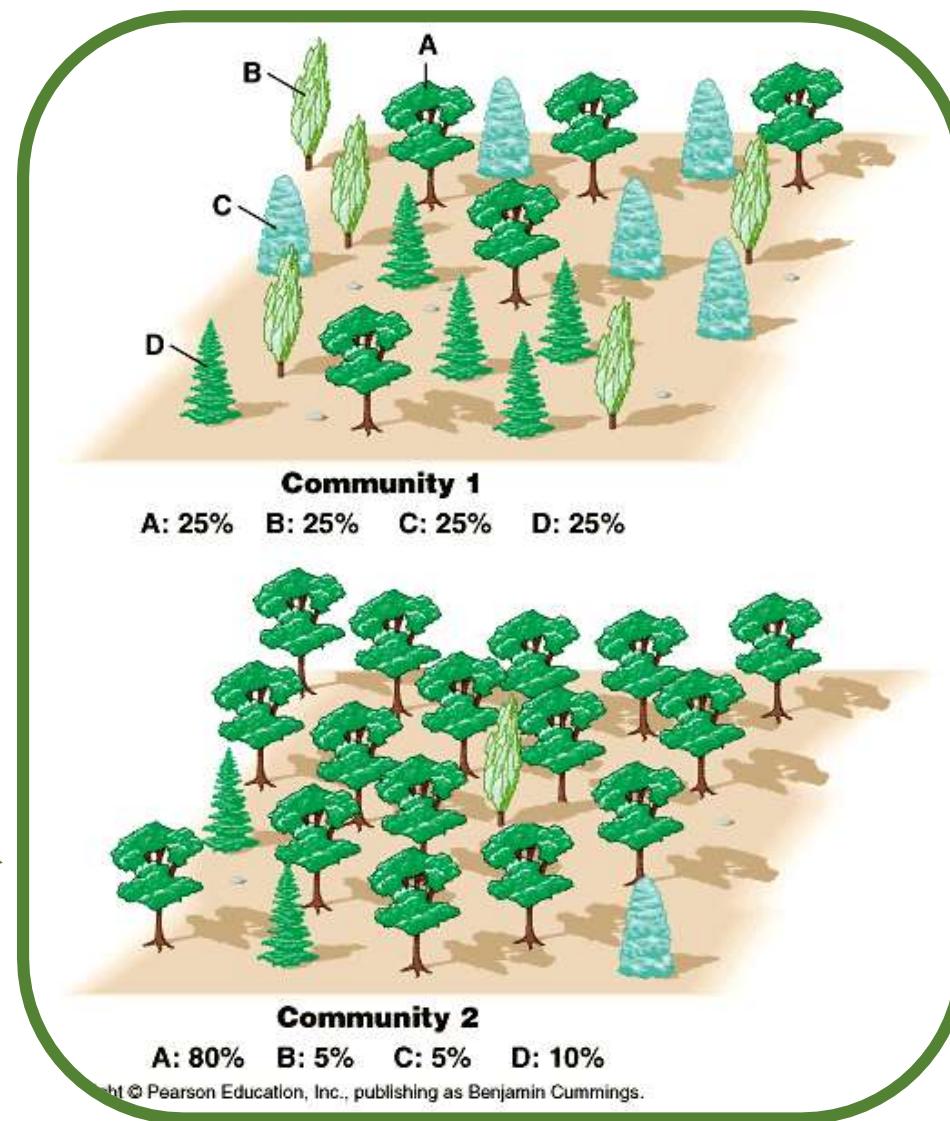
# Métrica taxonômica: diversidade alfa

- Conceitos iniciais
  - Riqueza: apenas a quantidade de espécies;
  - Diversidade alfa: variedade de espécies;
  - A diversidade mede mais informação, pois mede o quanto uma comunidade possui variedade de espécies, não apenas sua quantidade;
  - Tipo de dados: quantidade de espécies e as suas abundâncias (número de indivíduos das espécies).



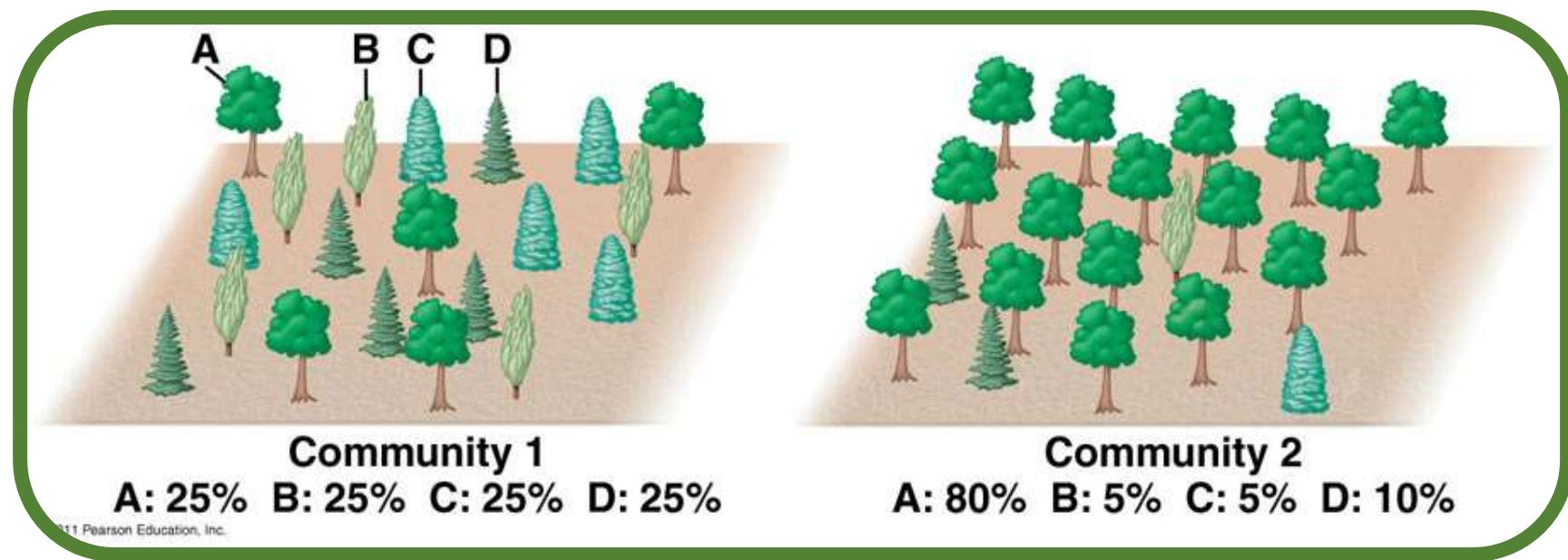
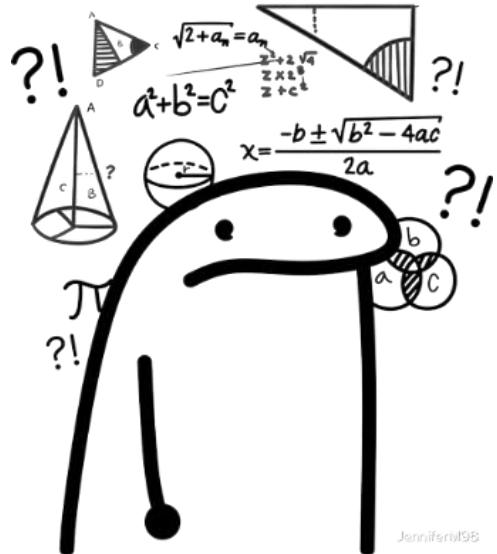
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Conceitos iniciais



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Conceitos iniciais
  - Estatisticamente mais fácil amostrar maior riqueza ao acaso em comunidades com espécies com abundâncias mais semelhantes;
  - Mais igualitário a distribuição de abundâncias = maior a diversidade taxonômica alfa de uma comunidade.



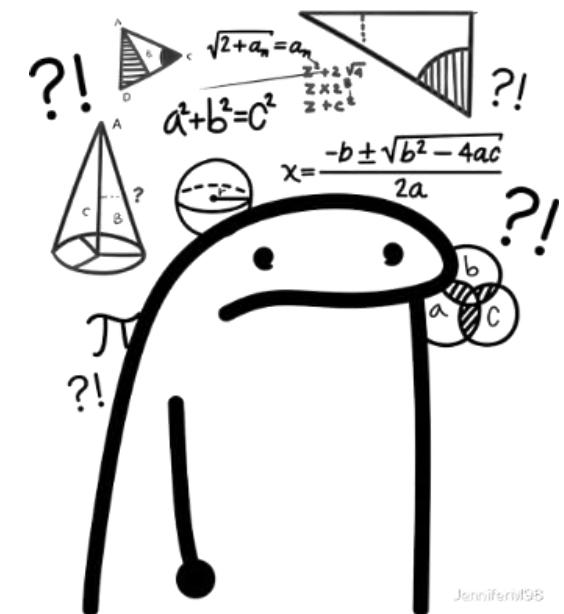
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Conceitos iniciais
  - Duas comunidades podem ter a mesma riqueza, com as mesmas espécies, mas terem diferenças nas distribuições dos números de indivíduos;
  - Mesma riqueza mas diferentes abundâncias entre comunidades representa fenômenos ecológicos distintos;
  - Importância de avaliar diversidade: entender tamanhos populacionais, processos de monopolização de recursos, processos de colonização e extinção local.



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa
  - Índices de diversidade: valores matemáticos que SUMARIZAM a diversidade de uma comunidade;
  - Cálculos que se baseiam disposição de frequência das espécies nas comunidades;
  - Quanto mais próximo forem o número de indivíduos das espécies entre si (distribuição de indivíduos mais igualitária), maior será o valor da diversidade.



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Shannon-Wiener
  - Desenvolvido por Shannon e Wiener a partir do Índice de Entropia de Shannon ([Shannon 1984](#));
  - Índice de diversidade taxonômica alfa mais utilizado;
  - Quantifica a incerteza em predizer a identidade de uma espécie em um número de espécies e a distribuição de abundância para cada espécie;
  - Mais sensível às mudanças nas espécies raras da comunidade;
  - Recomendado para comunidades com muitas espécies raras.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i * \ln P_i$$

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Shannon-Wiener

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i * \ln P_i$$

- $P_i$  = abundância relativa de cada espécie;
- $\ln$  = logaritmo natural.
- Este índice não possui valor máximo, tendo seus maiores valores dependendo da comunidade estudada.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Simpson
  - Desenvolvido por Edward H. Simpson ([1949](#));
  - Calcula a probabilidade de dois indivíduos sorteados ao acaso pertencerem à mesma espécie;
  - Varia de 0 – 1, assumindo valores decimais neste intervalo;
  - Devido a 0 = valor máximo e 1 = valor mínimo, já que 0% de chances de dois indivíduos sorteados serem da mesma espécie significa que todas as espécies possuem a mesma abundância relativa, D = 0 = diversidade máxima de uma comunidade.

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Simpson
  - Este se torna muito pouco intuitivo, já que 0 = máximo e 1 = mínimo;
  - Uma forma de corrigir isso é  $1 - D$ , transformando então a escala do índice para 0 = valor mínimo e 1 = valor máximo;
  - Essa transformação é conhecida como índice de Gini-Simpson.



$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2 \longrightarrow D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Simpson

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

- $P_i$  = abundância relativa da espécie  $i$ .

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Equitabilidade de Pielou
  - Derivado do Índice de Shannon-Wiener;
  - Descreve o padrão de distribuição da abundância relativa das espécies na comunidade;
  - Varia 0 – 1, sendo 0 = valor mínimo e 1 = valor máximo;
  - É mais afetado por quantidades grandes de espécies raras.

$$J = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln(S)}$$

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: índice de Equitabilidade de Pielou

$$J = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln(S)}$$

- $H'$  = valor do Índice de Shannon-Wiener para aquela comunidade;
- $\ln$  = logaritmo natural;
- $S$  = riqueza de espécies da comunidade.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Problemas matemáticos dos índices clássicos **X**
  - Por mais que sim muito úteis, esses índices clássicos apresentam algum problemas matemáticos;
  - Todos tem algo em comum: os valores dos índices não representam de forma fidedigna e proporcional os fenômenos ecológicos avaliados EM ALGUMAS SITUAÇÕES.



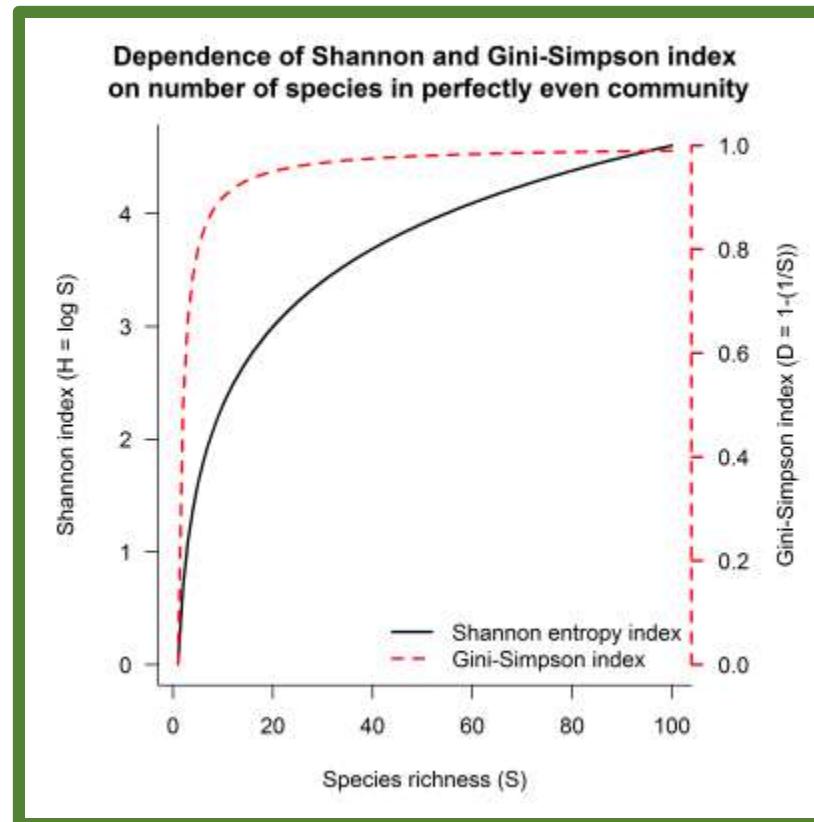
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Problemas matemáticos dos índices clássicos
  - O grande problema: não linearidade na relação riqueza da comunidade x valor do índice;
  - Seria esperado: ao comparar comunidades com diferentes riquezas, os valores desses índices fossem linearmente proporcionais;
  - Pressuposto matemático: à medida que eu doubro ou triplico a informação de um sistema, um valor que descreve este sistema também deveria mudar na mesma proporção, sendo uma função afim.

$$f(x) = A * x + B$$

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Problemas matemáticos dos índices clássicos
  - O primeiro problema observado nesses índices.



[David Zelený: Indices of diversity and evenness](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Problemas matemáticos dos índices clássicos
  - O principal problema disso: é comum conjunto de comunidades pode apresentar grande amplitude de valores de riquezas;
  - Principalmente para estudos de avaliação de impactos sobre a diversidade biológica: índices que não expressem relações proporcionais não **NÃO REPRESENTAM** o fenômeno natural fidedignamente.



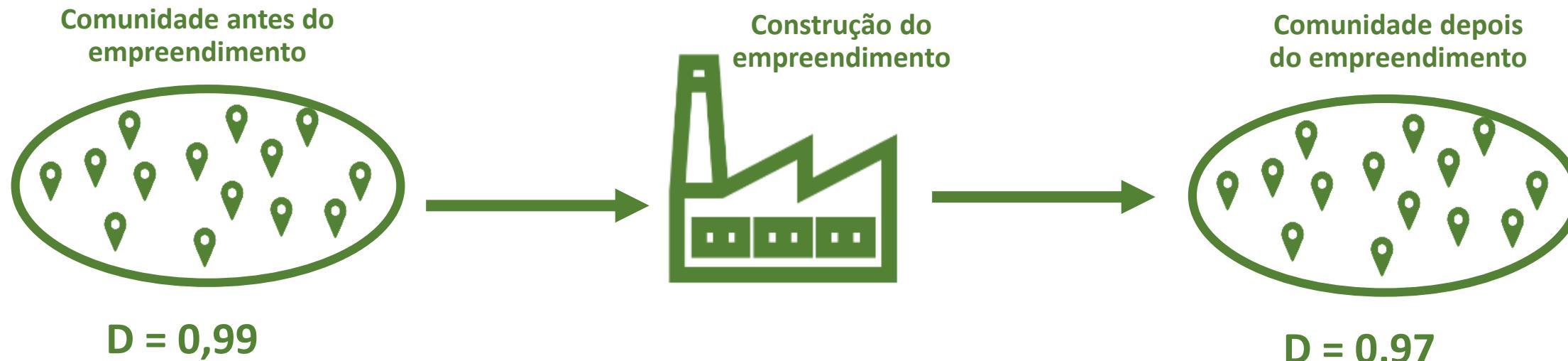
**DeJong 1975**



**Jost 2006**

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Problemas matemáticos dos índices clássicos
  - Exemplo adaptado de [Silva et al. 2022](#);



- Variação de Gini-Simpson = 2%;
- “Só mudou 2%, então sem grandes problemas!”
- Mas ao olhar a variação na riqueza...



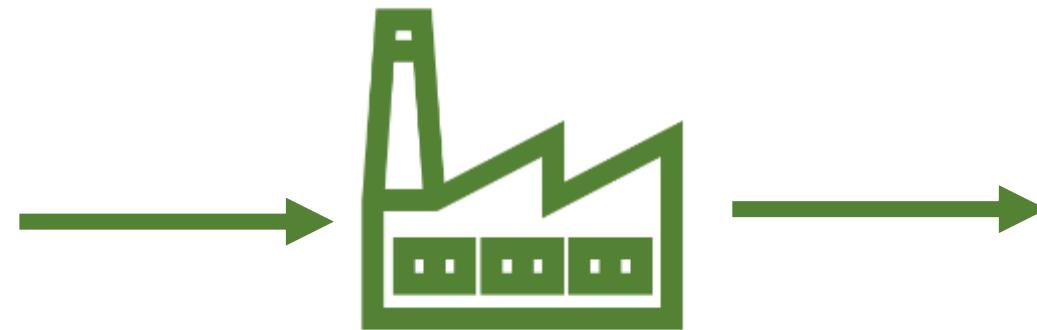
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Problemas matemáticos dos índices clássicos



$D = 0,99$

$S = 100$



$D = 0,97$

$S = 33$

- Ou seja: a perda de diversidade não foi só de 2%, mas sim de 66% (2/3!);
- Lou Jost argumenta que isso não deveria ocorrer, e que isso não traduz o fenômeno ecológico de forma correta;
- Então...O que fazer?



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: Números de Hill
  - Desenvolvido Mark Osvald Hill ([Hill 1973](#));
  - Transformação de valores em número efetivo de espécies;
  - Número efetivo de espécies: o número de espécies com a mesma abundância necessário para gerar o valor de um determinado índice;
  - Derivada da Série de Rényi ([Rényi 1961](#));

$$N_a = (P_1^a + P_2^a + P_3^a + \dots + P_n^a)^{\frac{1}{1-a}}$$

- A Série de Rényi: um somatório mais igualitário e fidedigno, atribuindo pesos (parâmetro  $a$  da equação) aos elementos, baseado na sua abundância.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: Números de Hill
  - Hill derivou a equação usando o parâmetro  $q$  como peso aos elementos, onde:
  - $q = 0$  todas espécies tem o mesmo peso (riqueza);
  - $q = 1$  dá mais peso às espécies mais raras (equivalente ao exponencial  $H'$  de Shannon:  ${}^1D = \exp('H)$  ou  ${}^1D = \frac{1}{2,71828182846^{-'H}}$ );
  - $q = 2$  dá mais peso às espécies mais abundantes (equivalente ao  $D$  de Gini-Simpson).

$${}^qD = \left( \sum_{i=1}^S P_i^q \right)^{\frac{1}{(1-q)}}$$

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: Números de Hill

$$^qD = \left( \sum_{i=1}^S P_i^q \right)^{\frac{1}{(1-q)}}$$

$$^0D = (0,15^0 + 0,55^0 + 0,2^0 + 0,1^0)^{\frac{1}{(1-0)}}$$

$$^0D = (1 + 1 + 1 + 1)^{\frac{1}{1}}$$

$$^0D = (4)^1$$

$$^0D = 4$$

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

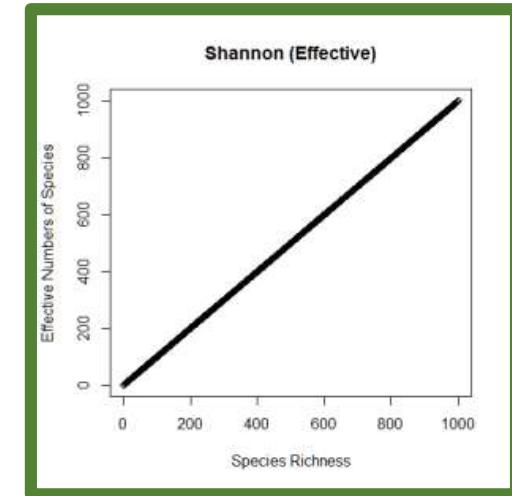
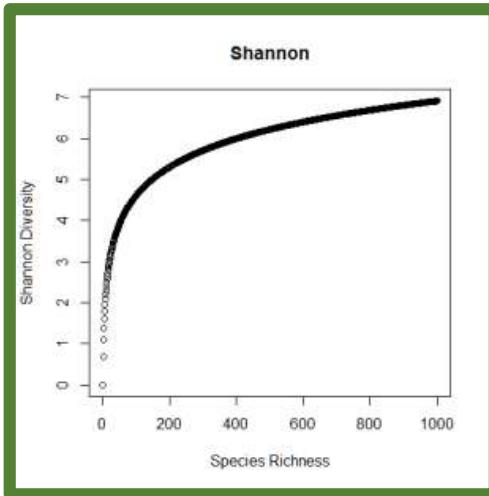
- Índices de diversidade alfa: Números de Hill

$$qD = \left( \sum_{i=1}^S P_i^q \right)^{\frac{1}{(1-q)}}$$

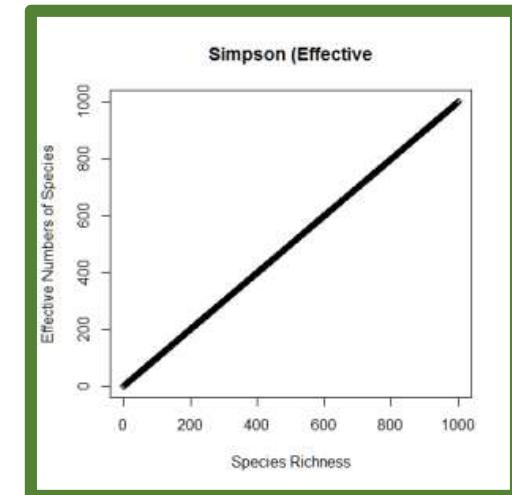
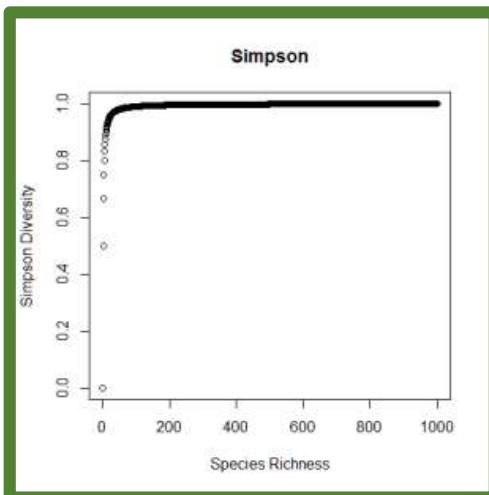
- $P_i^q$  = abundância relativa da espécie  $i$ , elevada ao parâmetro  $q$ ;
- $q$  = parâmetro para dar peso à abundância relativa da espécie  $i$ .

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: Números de Hill



[Jon Lefcheck: Diversity as Effective Numbers](#)

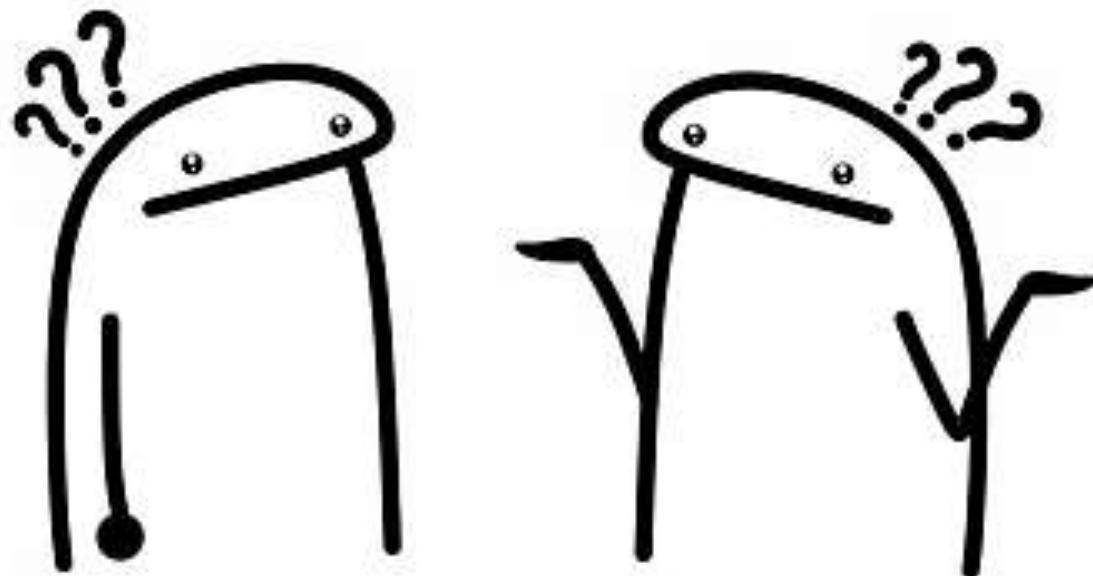


# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Índices de diversidade alfa: Números de Hill
  - Alguns cuidados: os Índices de Shannon-Wiener e Gini-Simpson NÃO se tornam “inúteis” pelos Números de Hill;
  - Estes índices ainda são úteis, principalmente para comparar o grau entropia entre comunidades;
  - Outra aplicação segura dos índices clássicos é quando a comparação entre as comunidades é mais focada na distribuição da abundância do que na conservação de informação.



# Dúvidas? Questionamentos?



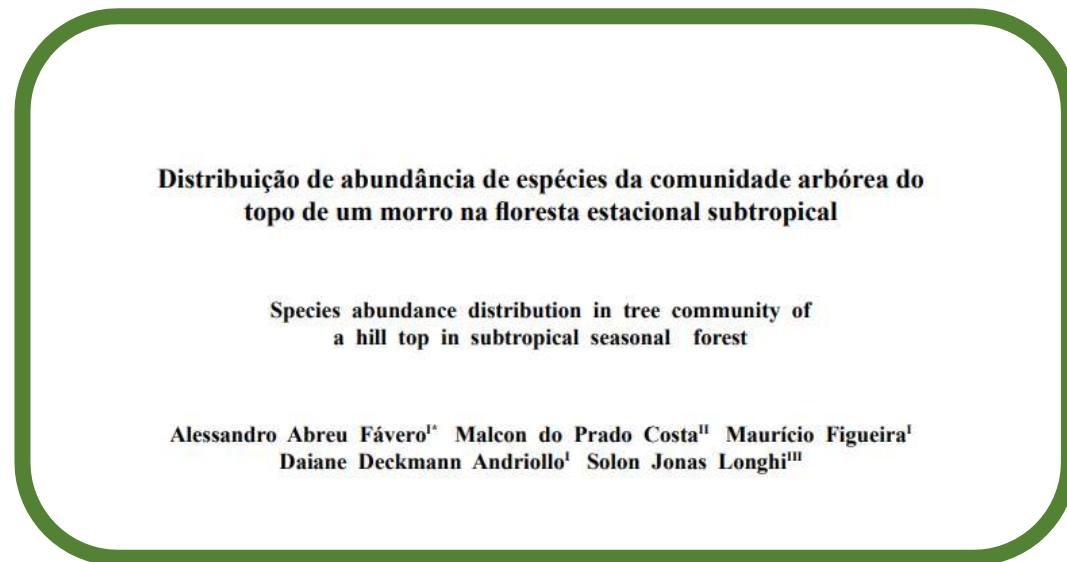
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância
  - Os índices de diversidade taxonômica descrevem valores que podem ser interpretados como distribuição de abundância;
  - Valor máximo do índice: todas as espécies possuem a mesma distribuição;
  - Curva de Distribuição de Abundância: técnicas que traçam análises exploratórias sobre a distribuição de abundância das espécies em uma comunidade.

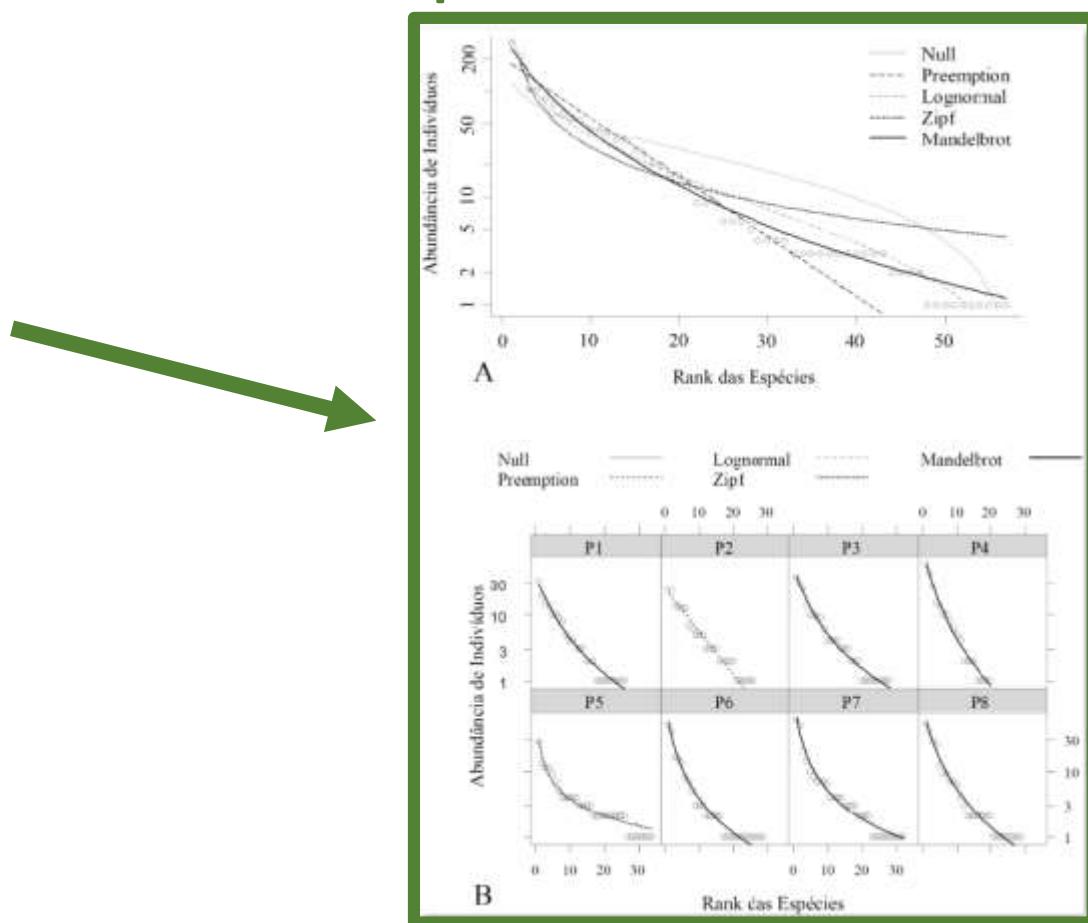


# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância
  - Por se tratar de um histograma ordenado, as curvas só podem assumir duas distribuições: uniforme ou unimodal positiva.



Fávero et al. 2015



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

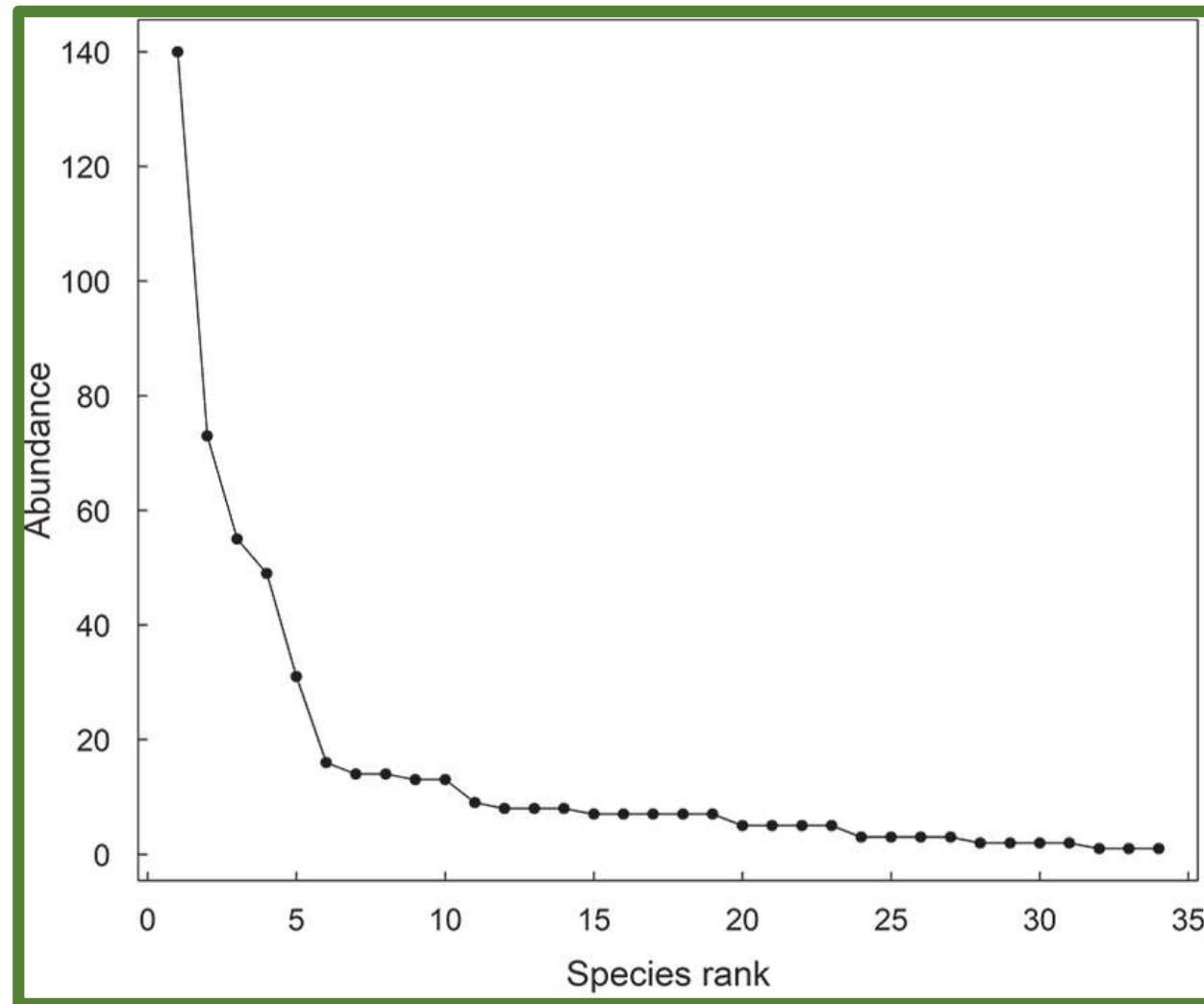
- Curva de Distribuição de Abundância: Diagrama de Whittaker
  - Desenvolvido por Robert H. Whittaker ([Whittaker 1965](#));
  - Forma mais simples de curva de abundância;
  - Ordenamento e distribuição das espécies em rank-abundância;
  - Distribuições mais próximas do unimodal positivo tendem a representar valores menores dos índices de diversidade ( $H'$ ,  $D$ ,  $J'$ ,  ${}^qD$ );
  - Forma gráfica mais simples de interpretar a diversidade de uma comunidade.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Diagrama de Whittaker
  - As espécies são organizadas em ranks: rank-1 = maior abundância absoluta, rank-2 = segunda maior abundância absoluta, e assim por diante;
  - Número de ranks variam de 1 -  $S$ , sendo  $S$  = riqueza da comunidade;
  - Plano cartesiano: eixo x = ranks das espécies; eixo y = valores de abundância absoluta das espécies;
  - É criado uma curva.

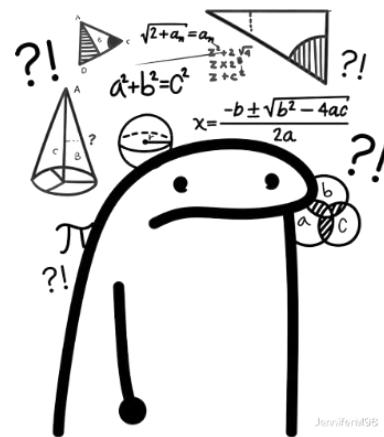
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Diagrama de Whittaker



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Ao contrário do Diagrama de Whittaker que apenas gerava um rank de abundâncias num histograma, os SAD's são modelos que testam qual dentro um conjunto de modelos melhor descreve a curva de distribuição de abundância;
  - Funcionamento: o algoritmo irá fazer o mesmo processo do Diagrama de Whittaker, mas irá utilizar um conjunto de modelos diferentes sobre o comportamento de uma curva, e em seguida irá testar qual comportamento melhor descreve a curva de abundância.



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Modelo Null/broken-stick: uma distribuição aleatória, as espécies terão abundâncias igualitárias ([MacArthur 1957](#));
  - Graus intermediários de perturbação ou estágios iniciais de sucessão ecológica.

$$A_i = \bar{A} \sum_{x=1}^S \frac{1}{x}$$

- $\bar{A}$  = abundância média de todas as espécies;
- $S$  = Número de espécies;
- $x$  = abundância da espécie  $i$ .

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Modelo preemption/série geométrica: descreve que a abundância das espécies é decrescente em relação ao rank, sendo um modelo de distribuições desiguais ([Whitaker 1965](#));
  - Descreve comunidades onde as espécies apresentam um gradiente de adequabilidade ao habitat entre si.

$$A_i = A_1 K^{i-1}$$

- $A_1$  = abundância ajustada (não observada) da espécie mais abundante;
- $K$  = constante da abundância dos recursos;
- $i$  = posição da  $i$ -ésima espécie.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Modelo log-normal: a distância entre a abundância de duas espécies diminui à medida que o rank também diminui, estabilizando em algum momento ([Preston 1948](#));
  - Mais frequente em “comunidades naturais” ([Preston 1948](#)).

$$\ln A_i = \bar{\ln A} + \sigma \Phi^{-1} \frac{(S - i + 0,5)}{S}$$

- $\bar{\ln A}$  = abundância  $\ln$  média ajustada;
- $\sigma$  = desvio padrão ajustado da abundância;
- $\Phi^{-1}$  = a função de distribuição cumulativa inversa de distribuições normais;
- $S$  = riqueza da comunidade;
- $i$  = posição da  $i$ -ésima espécie.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Modelo Zipf: baseado na lei de Zipf, onde a distribuição de abundância é uma relação exponencial negativa com o rank ([Frontier 1985](#));
  - A abundância da espécie rank 1 é mais abundante que a espécie rank 2;
  - Comunidades onde a equitabilidade tende a ser menor que no modelo log-normal.

$$A_i = A_1 i^{-\gamma}$$

- $A_1$  = abundância ajustada (não observada) da espécie mais abundante;
- $i$  = posição da  $i$ -ésima espécie;
- $\gamma$  = probabilidade de aparição de uma espécie.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Modelo Zipf-Mandelbrot: esse modelo calcula a abundância como  $Abundância = \frac{c}{(rank + a)^b}$ , sendo uma extensão do anterior ([Frontier 1987](#));
  - A Relação entre a abundância e o rank de uma espécie segue uma relação exponencial modificada, através de uma constante  $\beta$ .

$$A_i = A_1 (i + \beta)^{-\gamma}$$

- $A_1$  = abundância ajustada (não observada) da espécie mais abundante;
- $i$  = posição da  $i$ -ésima espécie;
- $\gamma$  = probabilidade de aparição de uma espécie;
- $\beta$  = diversidade ambiental potencial.

# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Para se aprofundar mais na natureza dos modelos:

The screenshot shows the journal title "ECOLOGY LETTERS" in large white letters on a green header bar. Below it, a green button says "Full Access". The main text reads: "Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework". A list of authors follows, ending with "See fewer authors".

[McGill et al. 2007](#)

The screenshot shows the journal title "nature" in small blue letters, followed by "letters" and "article". It indicates the article is a "Letter" published on "17 April 2003". The main title is "Explaining the excess of rare species in natural species abundance distributions". Below it, the authors are listed as "Anne E. Magurran & Peter A. Henderson". The journal name "Nature" is mentioned along with the volume "422, 714–716 (2003)". Metrics at the bottom include "7233 Accesses", "643 Citations", "2 Altmetric", and "Metrics".

[Magurran & Henderson 2003](#)

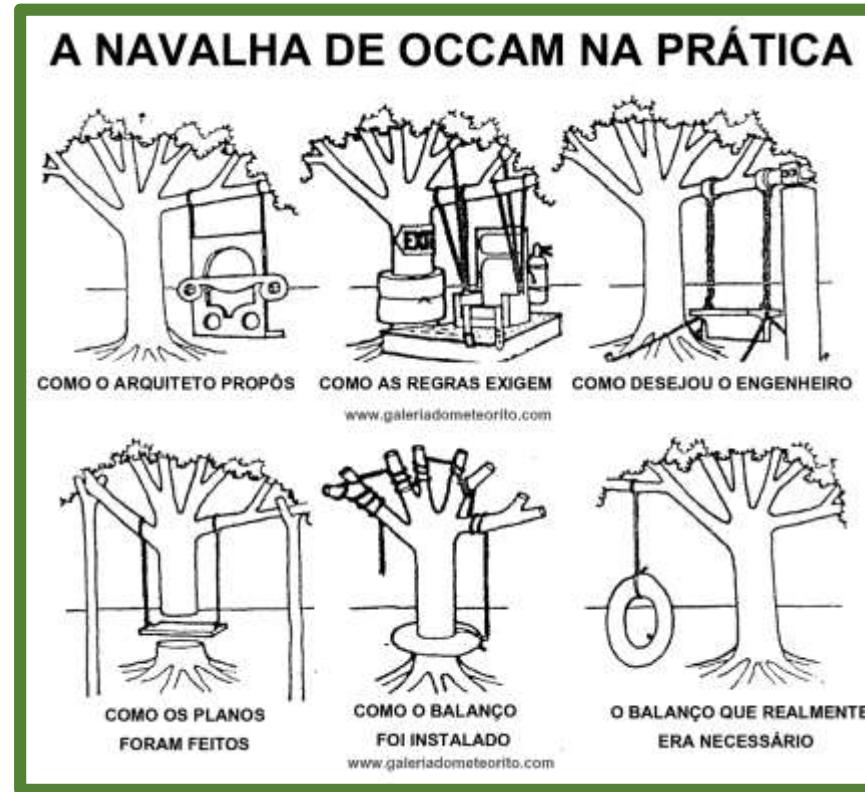
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Estes modelos são calculados como os que melhores descrevem o comportamento das curvas através de duas métricas estatísticas: Akaike Information Criterium (AIC) e o Bayesian Information Criterium (BIC);
  - Enquanto o AIC mede a parcimônia de um modelo, o BIC mede a verossimilhança;
  - Se um modelo A e B tem o mesmo poder de explicação, mas o modelo A tiver menos parâmetros que o modelo B, o modelo A terá maiores valores de AIC e BIC;
  - É recomendado como relevante  $\Delta\text{AIC}$  e  $\Delta\text{BIC} > 2$  ([Burnham & Anderson 2002](#)).



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

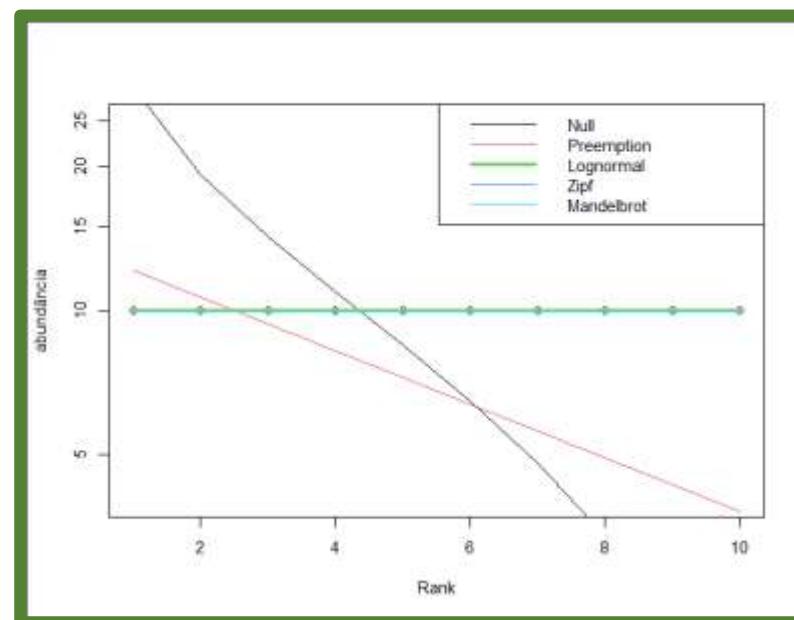
- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)
  - Esse processo se baseia no Princípio Da Navalha De Ockham, que afirma que, QUANDO NÃO HÁ EVIDÊNCIAS para escolher entre duas explicações, a explicação mais simples tende a ser verdadeira.



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

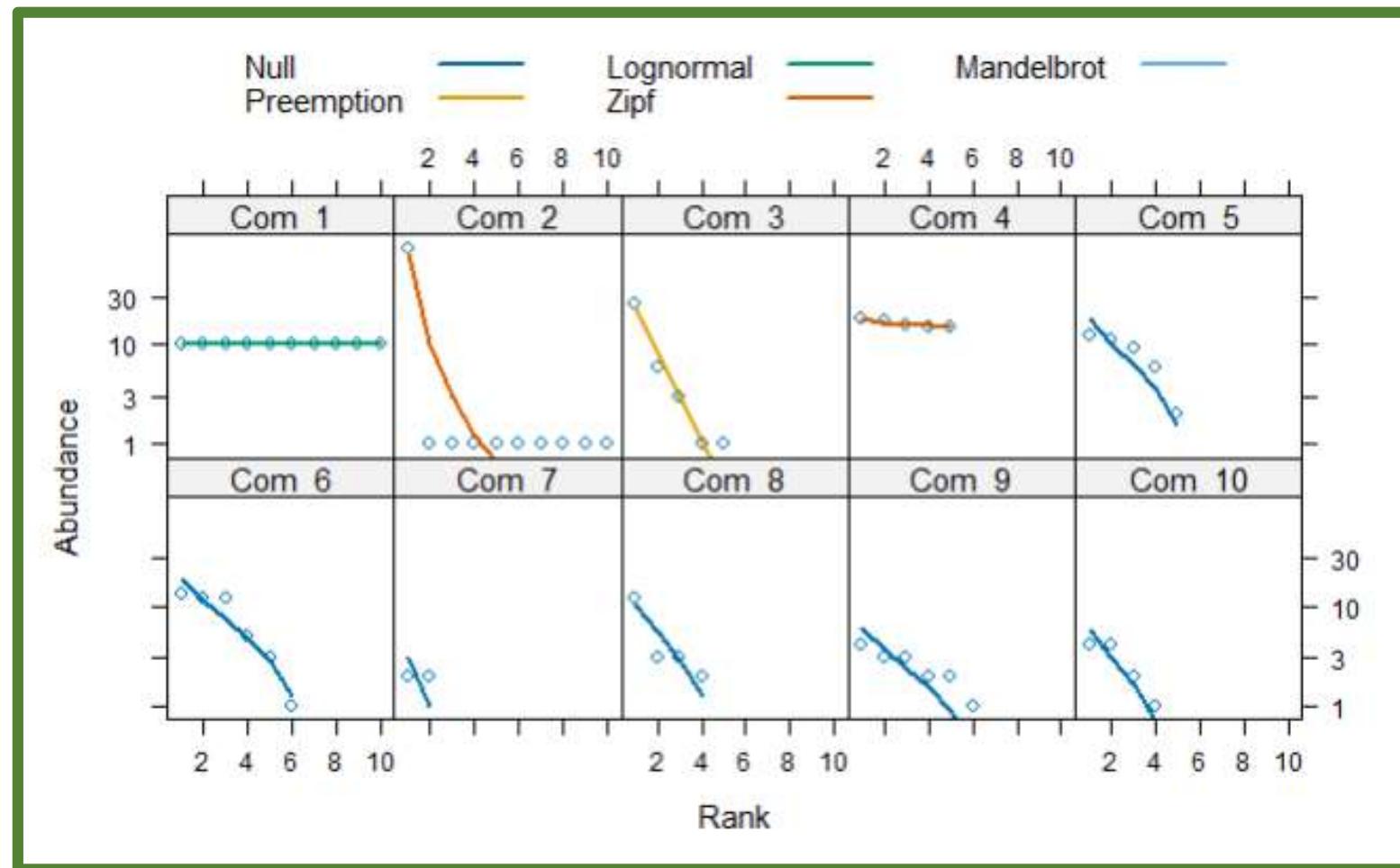
- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)

RAD models, family poisson No. of species 10, total abundance 100						
	par1	par2	par3	Deviance	AIC	BIC
Null				8.2193e+01	1.2376e+02	1.2376e+02
Preemption	0.1213			2.2878e+01	6.6450e+01	6.6752e+01
Lognormal	2.3026	2.7756e-16		-1.7764e-15	4.5571e+01	4.6176e+01
Zipf	0.1	-7.5264e-17		8.8818e-15	4.5571e+01	4.6176e+01
Mandelbrot	0.1	-3.393e-16	1	-1.7764e-15	4.7571e+01	4.8479e+01



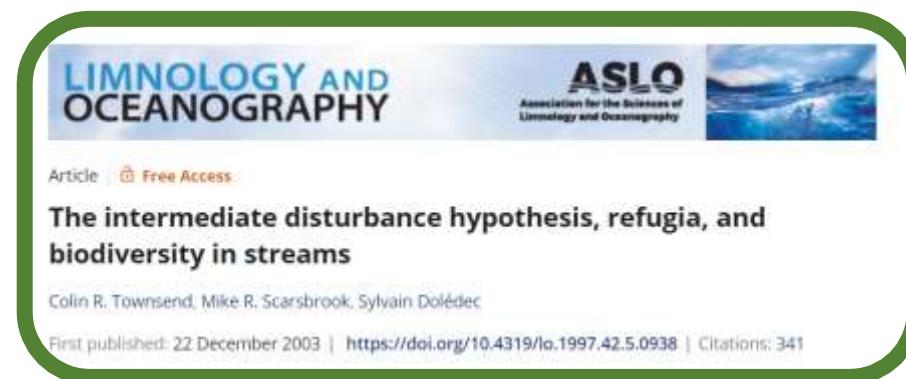
# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: Species Abundance Distribution (SAD)



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

- Curva de Distribuição de Abundância: erros de interpretação
  - Um erro comum ao interpretar as curvas, assim como os índices, é que comunidades com distribuição mais igualitária significam locais menos perturbados;
  - Por mais que pouco intuitivo, comunidades em ambientes pouco perturbados terão menores taxas de diversidade taxonômica, pelo simples fato as poucas espécies hiper adaptadas a eles monopolizarão mais recursos, ficando mais abundantes, enquanto que a maioria das espécies terá uma abundância menor ([Townsend et al. 2003](#)).



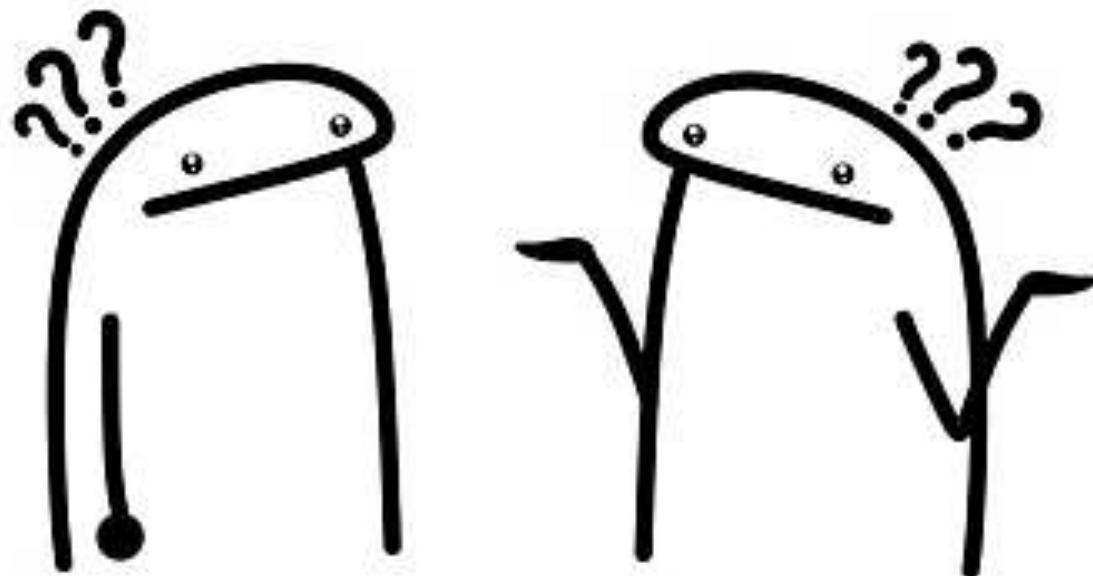
[Townsend et al. 2003](#)



# Métrica taxonômica: Diversidade alfa

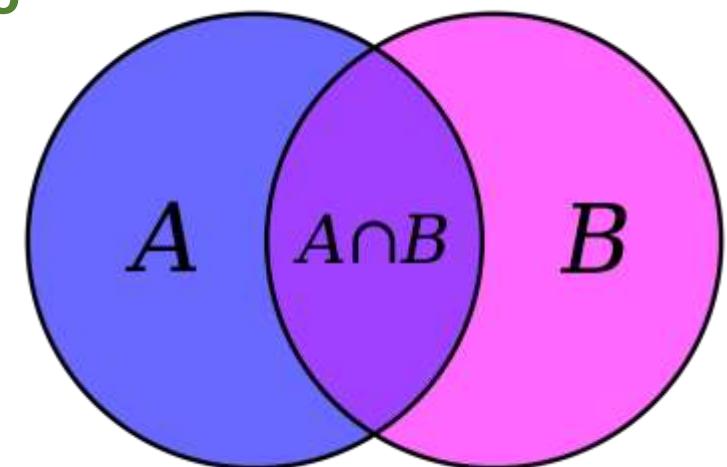
- Curva de Distribuição de Abundância: erros de interpretação
  - Esse efeito foi descrito por George Evelyn Hutchinson como Hipótese do Distúrbio Intermediário ([Hutchinson 1953](#)): a diversidade de uma comunidade será baixa-intermediária em locais pouco perturbados, intermediária-alta em lugares relativamente perturbados e baixa em ambientes muito perturbados;
  - Dessa forma, apenas informações sobre diversidade taxonômica não são o suficiente para fazer qualquer inferência segura sobre “qualidade ambiental”.

# Dúvidas? Questionamentos?



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

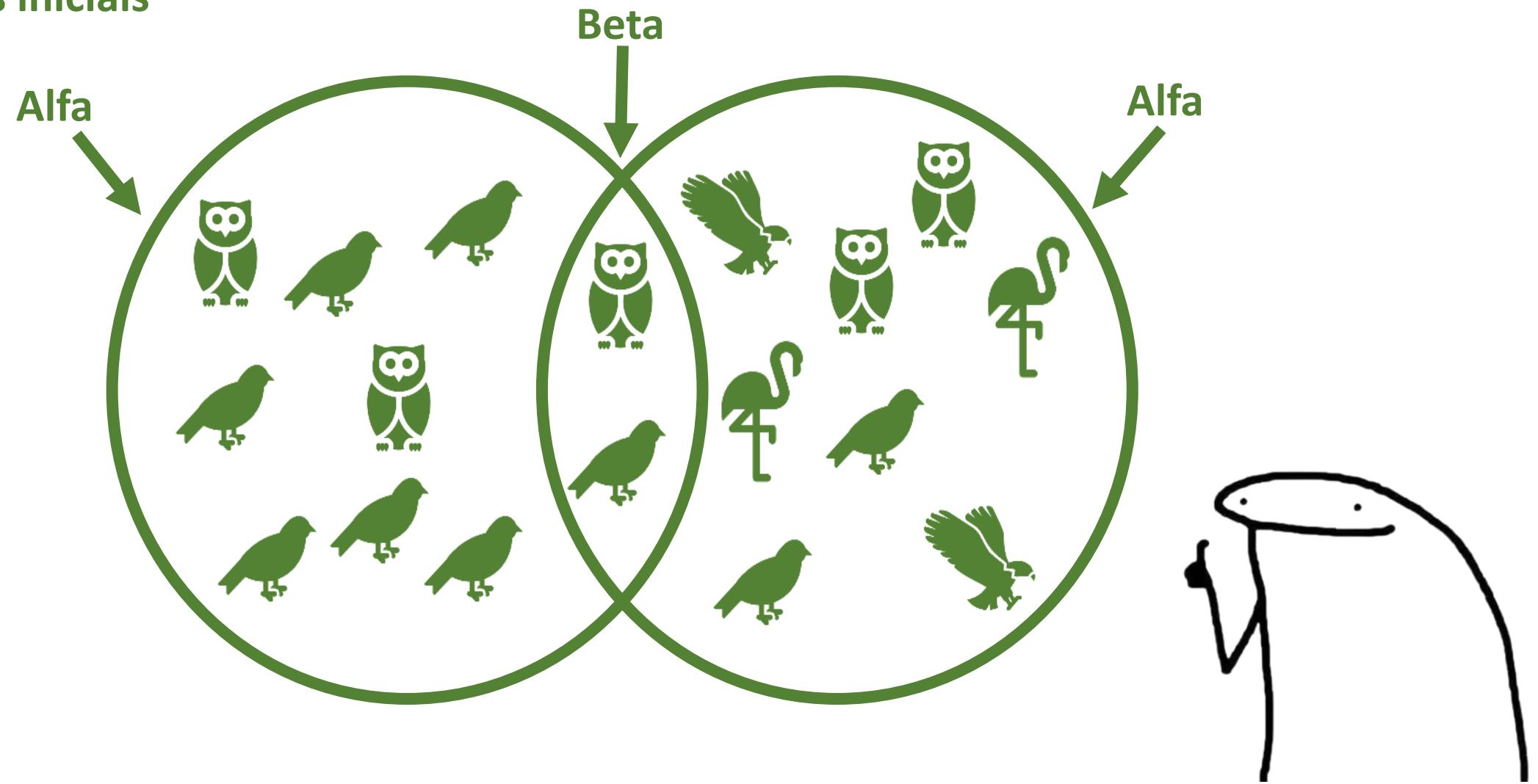
- Conceitos iniciais
  - Proposta por Robert H. Whittaker (1960);
  - Composição das comunidades biológicas;
  - Tão importante quanto o número de espécies em uma área e o sua distribuição de abundância de indivíduos são os padrões de presença e ausência de espécies nas comunidades;
  - Diversidade beta calcula o quanto duas comunidades são diferentes baseado no compartilhamento de espécies;
  - Teoria dos conjuntos aplicada à ecologia.



[Wikipedia: Teoria dos Conjuntos](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Conceitos iniciais



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Conceitos iniciais
  - A diversidade beta entre duas (ou mais) comunidades  $A$  e  $B$  será máxima quando nenhuma espécie de uma comunidade ocorrer na outra:  $A \cup B$ ;
  - Tradicionalmente, os índices de diversidade beta se comportam entre um intervalo 0 – 1;
  - Utiliza os conceitos de presença e ausência das espécies nas comunidades medidas;
  - Como lidam com composição, TRADICIONALMENTE, os seus algoritmos utilizam 0 = ausência e 1 = presença.



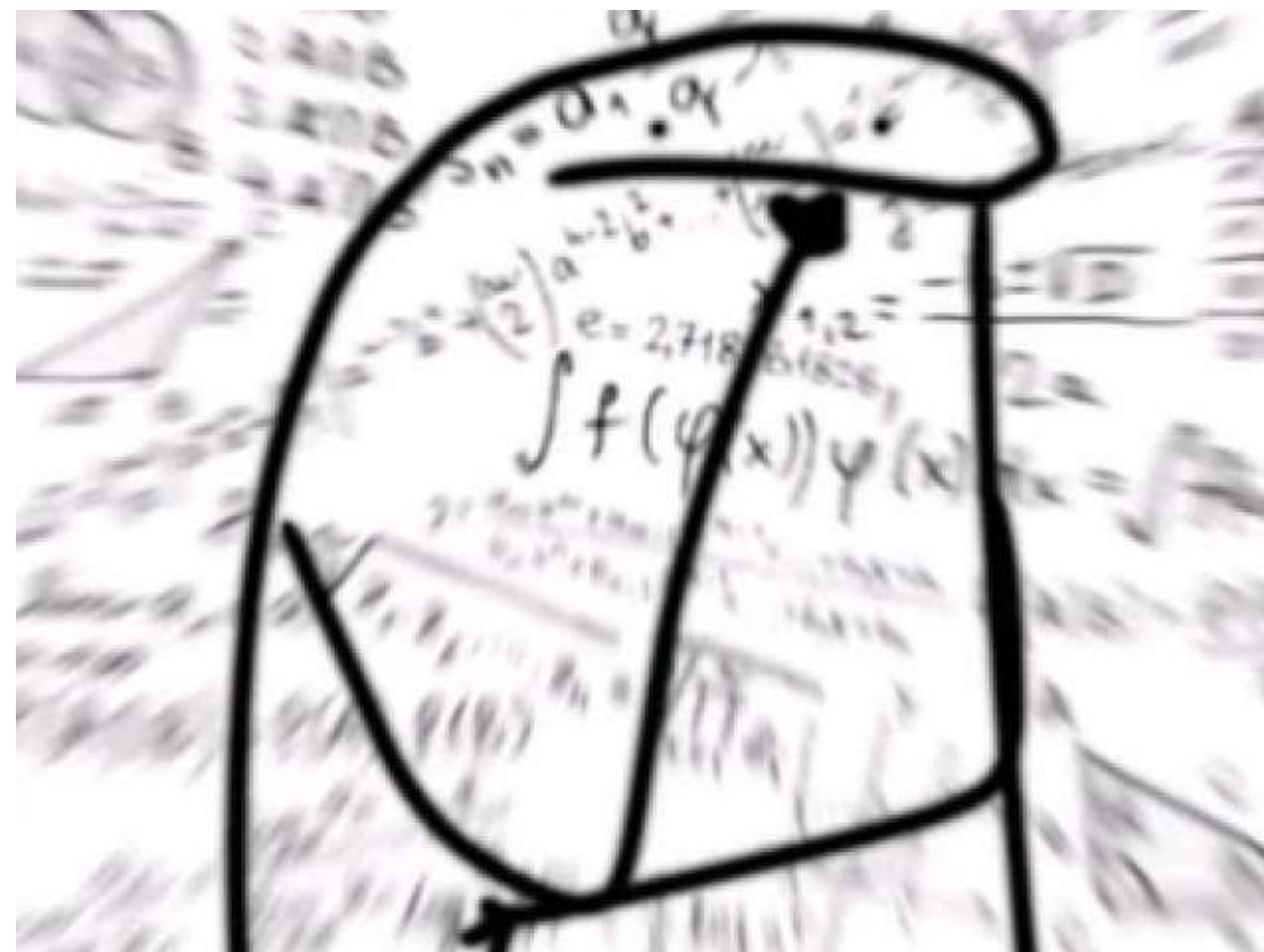
# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Tipos de coleta
  - Expedições de campo: coleta, amostragem de campo, monitoramento ativo;
  - Consulta de dados existentes: coleções biológicas, dados publicados;
  - Vantagem da diversidade beta: coletar dados sobre presença e ausência de espécies em locais por pesquisa de dados publicados ou de coleções, quando saídas de campo não são possíveis/viáveis.



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?



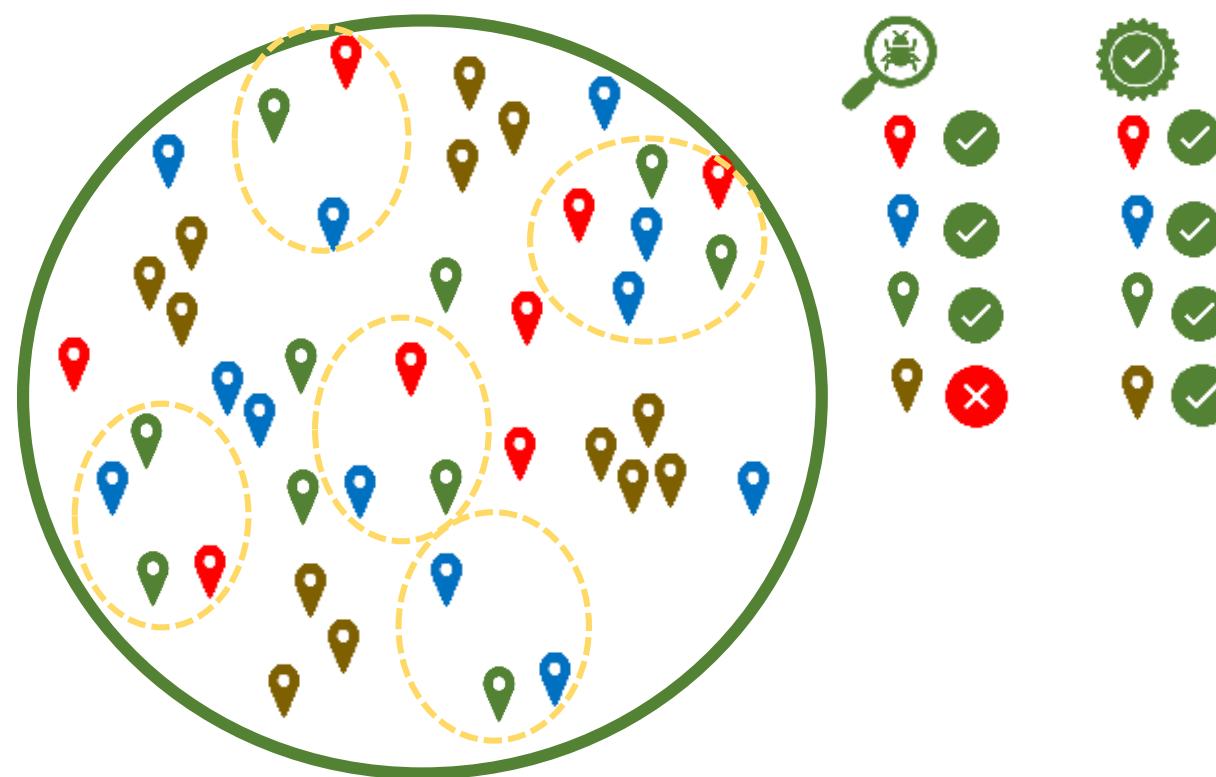
# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - “Com uma boa amostragem, claro!”



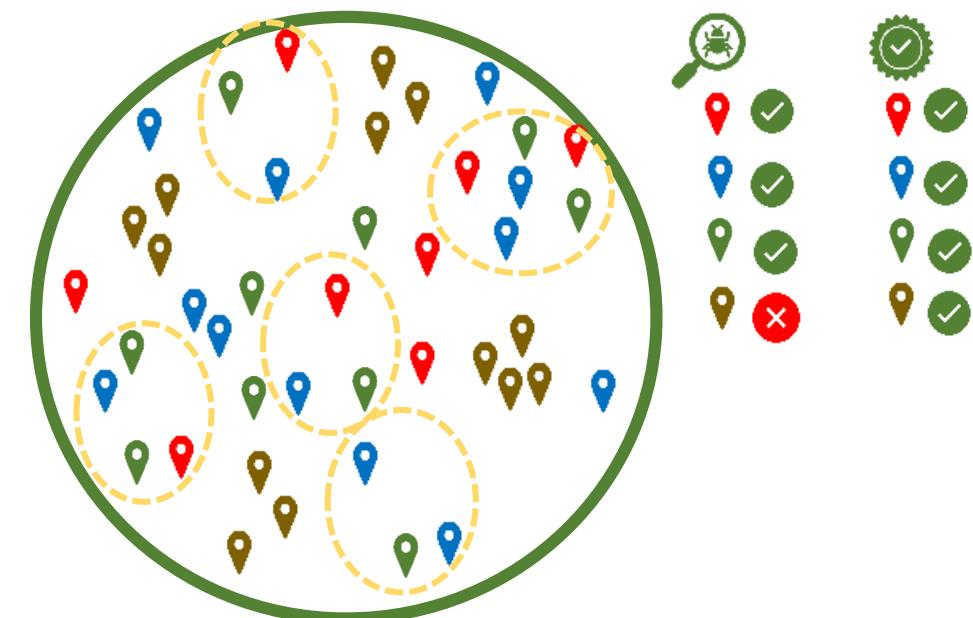
# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - “Com uma boa amostragem, claro!”
  - Ausência de prova é prova de ausência?



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como provar que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - “Com uma boa amostragem, claro!”
  - Ausência de prova é prova de ausência?
  - Estatisticamente, é QUASE impossível afirmar a ausência de uma espécie em um lugar;
  - Pseudoausência.



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Biogeografia histórica.



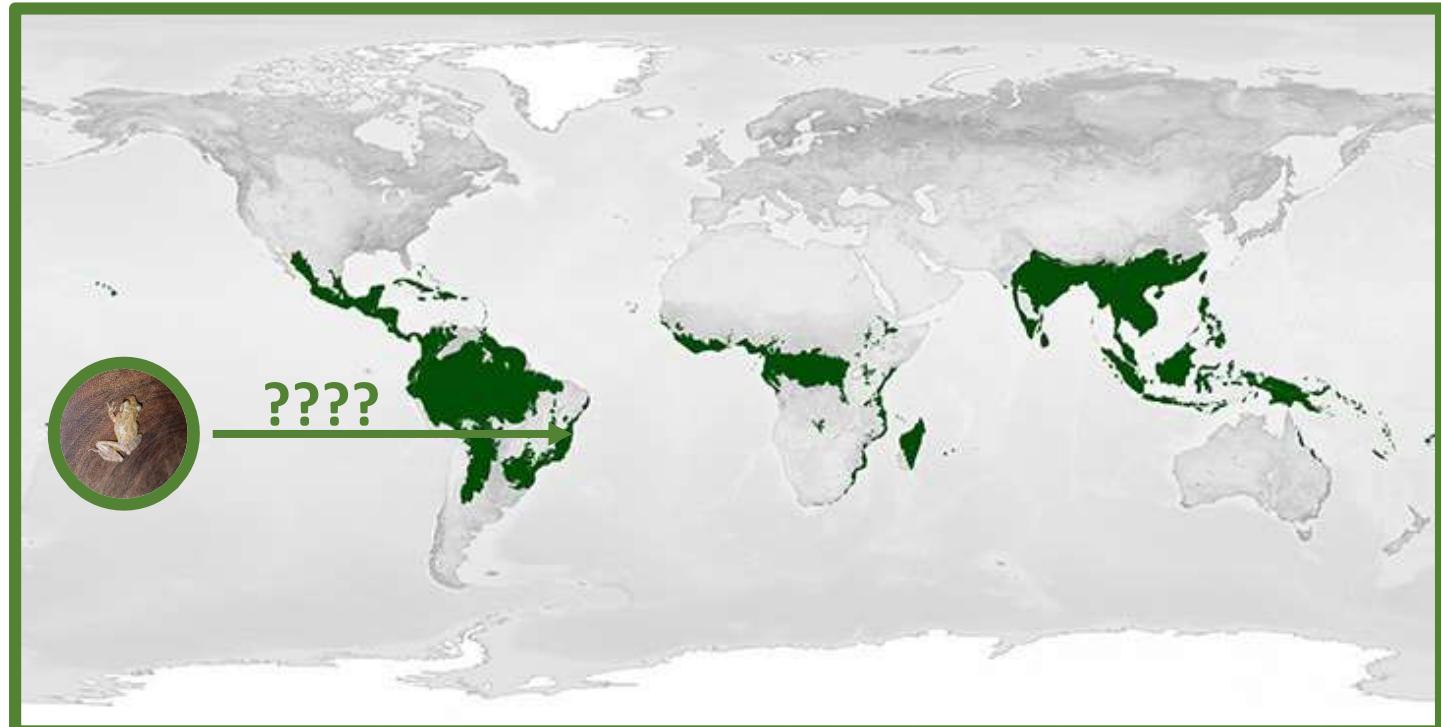
*Scinax x-signatus* (Spix 1824)



IUCN Red List: *Scinax x-signatus*

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

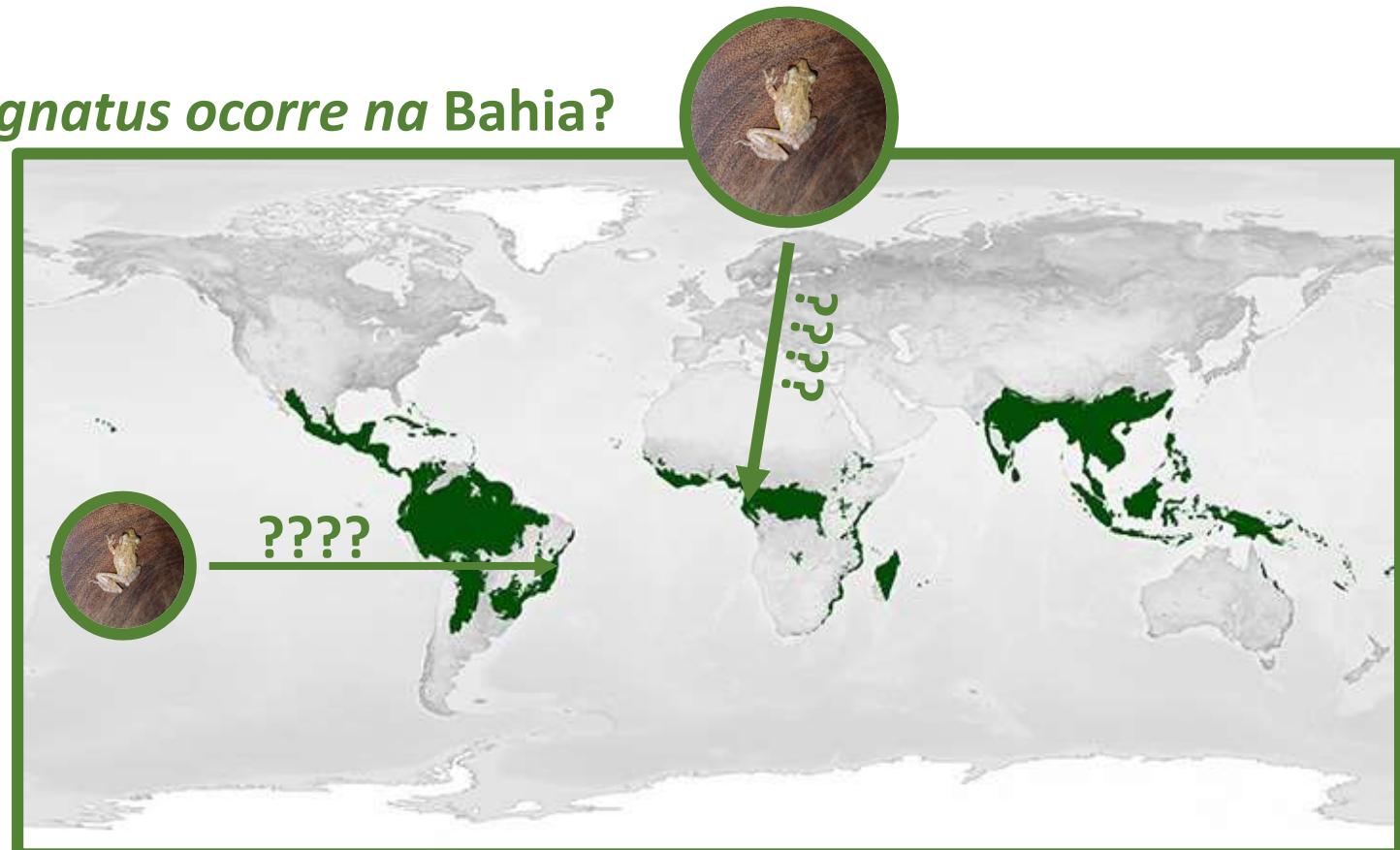
- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Biogeografia histórica;
  - Faz sentido dizer que a *S. x-signatus* ocorre na Bahia?



[NASA Earth Observatory: Rainforest](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

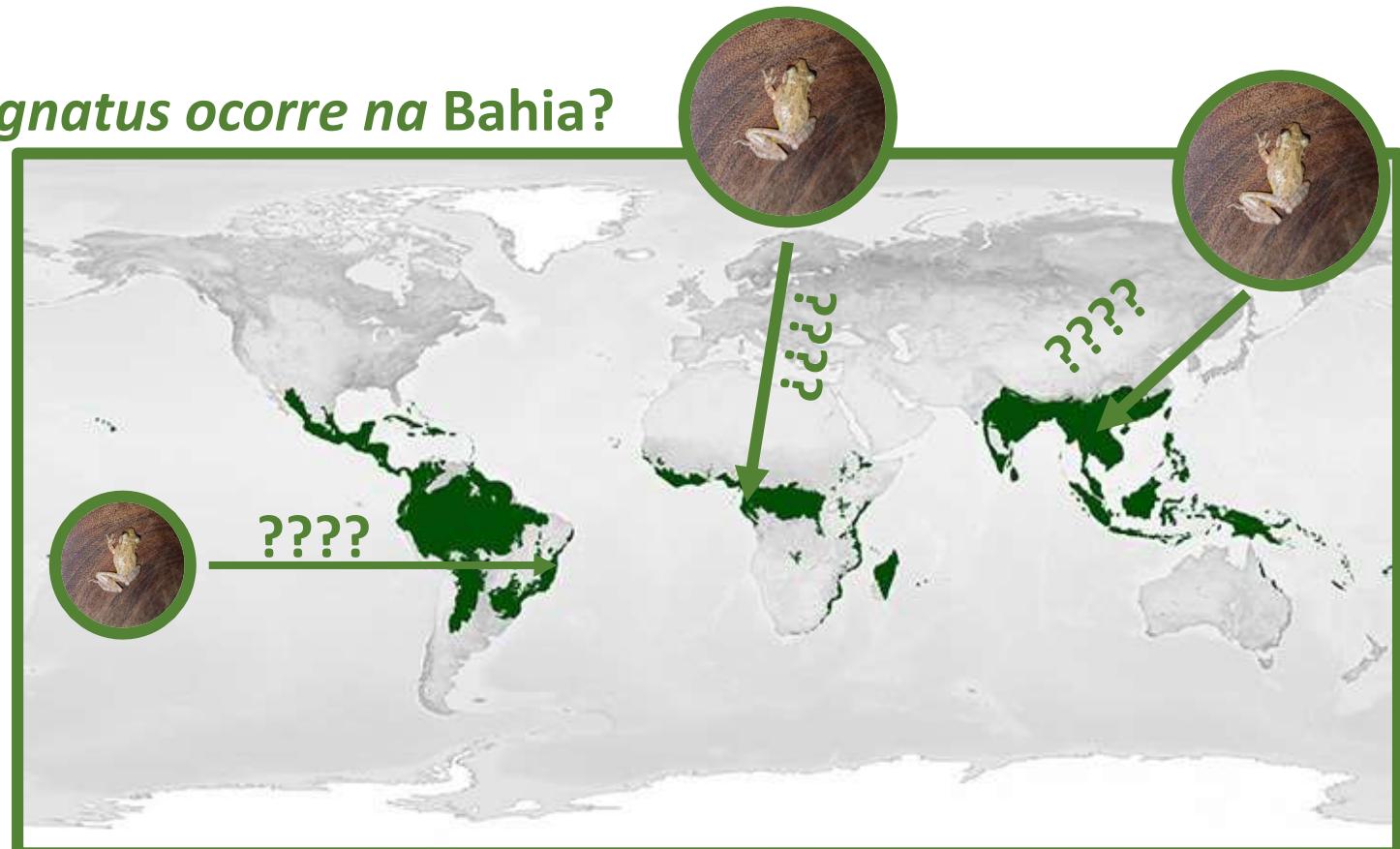
- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Biogeografia histórica;
  - Faz sentido dizer que a *S. x-signatus* ocorre na Bahia?
  - E no Gabão?



[NASA Earth Observatory: Rainforest](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

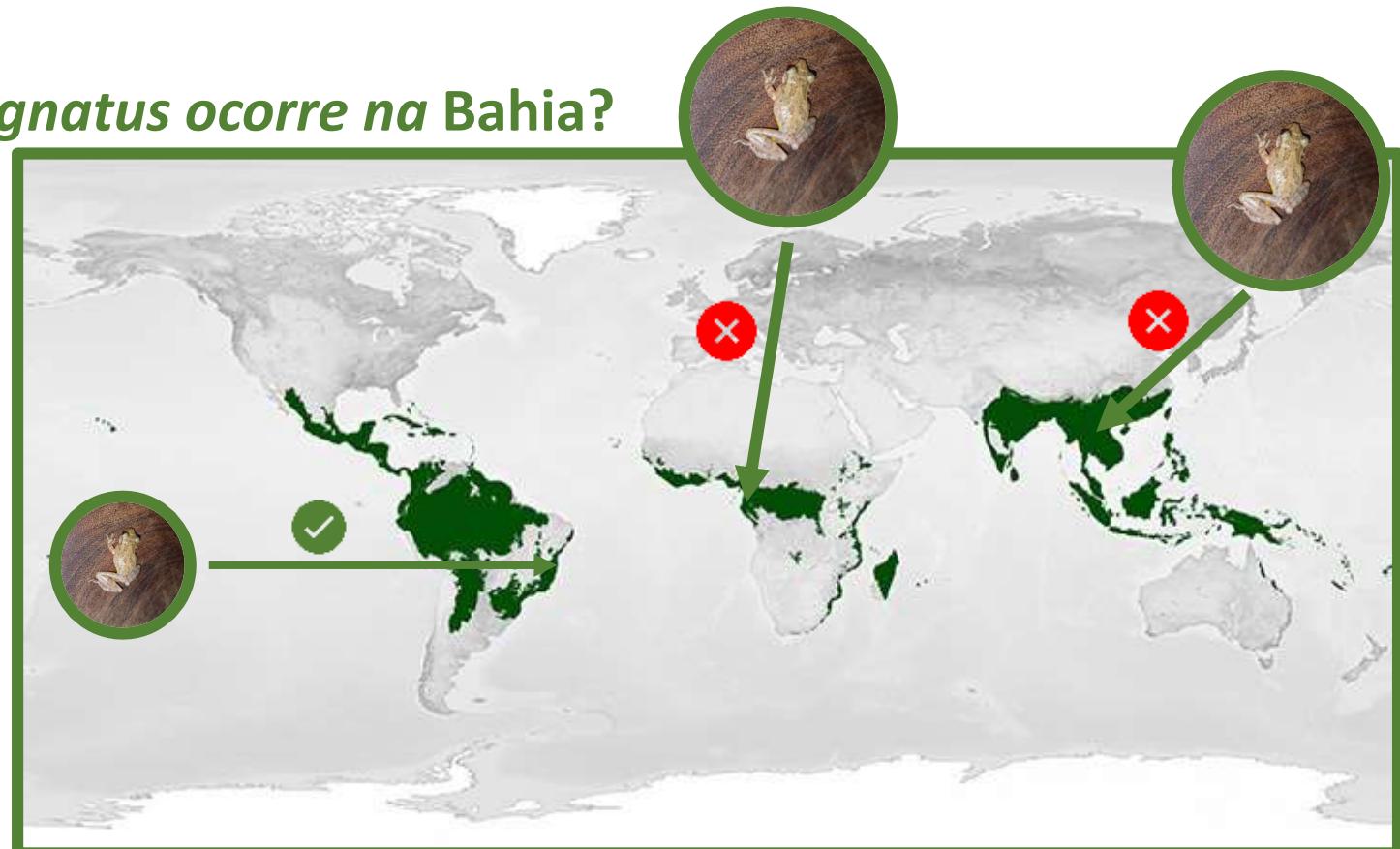
- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Biogeografia histórica;
  - Faz sentido dizer que a *S. x-signatus* ocorre na Bahia?
  - E no Gabão?
  - E na Índia?



[NASA Earth Observatory: Rainforest](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Biogeografia histórica;
  - Faz sentido dizer que a *S. x-signatus* ocorre na Bahia?
  - E no Gabão?
  - E na Índia?



[NASA Earth Observatory: Rainforest](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Nicho ecológico;
  - *Boana faber* e *Boana semilineata*: espécies nativas de Pernambuco e exclusivas de florestas úmidas.



*Boana faber* (Wied-Neuwied 1821)



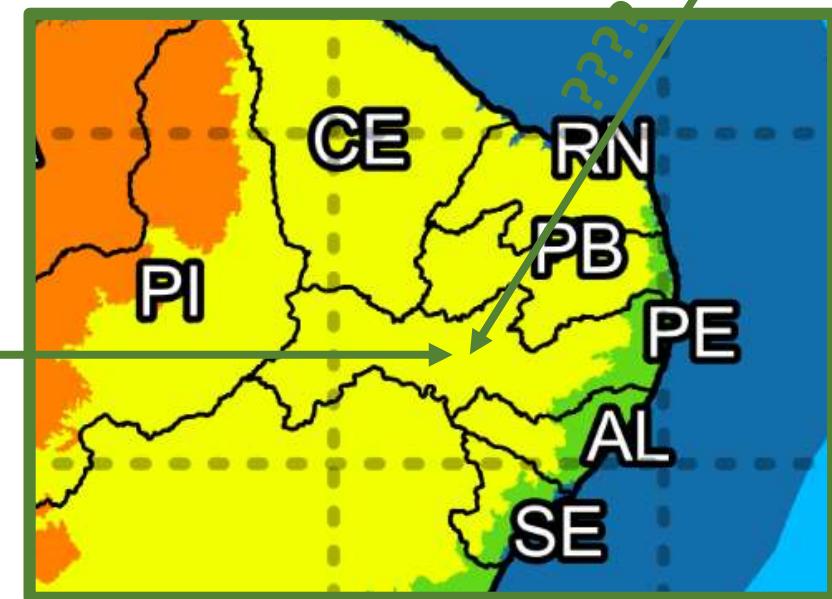
*Boana semilineata* (Spix 1824)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Nicho ecológico;
  - *B. faber* e *B. semilineata*: espécies nativas de Pernambuco e exclusivas de florestas úmidas;
  - Faz sentido as dizer que as espécies ocorrem no meio do estado?

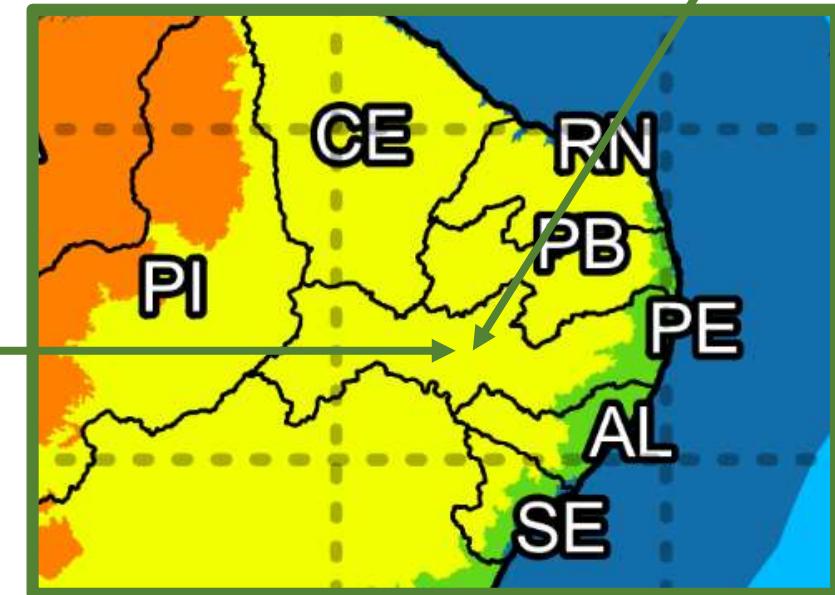


????



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Nicho ecológico;
  - *B. faber* e *B. semilineata*: espécies nativas de Pernambuco e exclusivas de florestas úmidas;
  - Faz sentido as dizer que as espécies ocorrem no meio do estado? 



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Fontes dados de ocorrências: [IUCN Red List](#), [speciesLink](#), [GBIF](#), [SiBBr](#), [artigos revisados publicados](#).

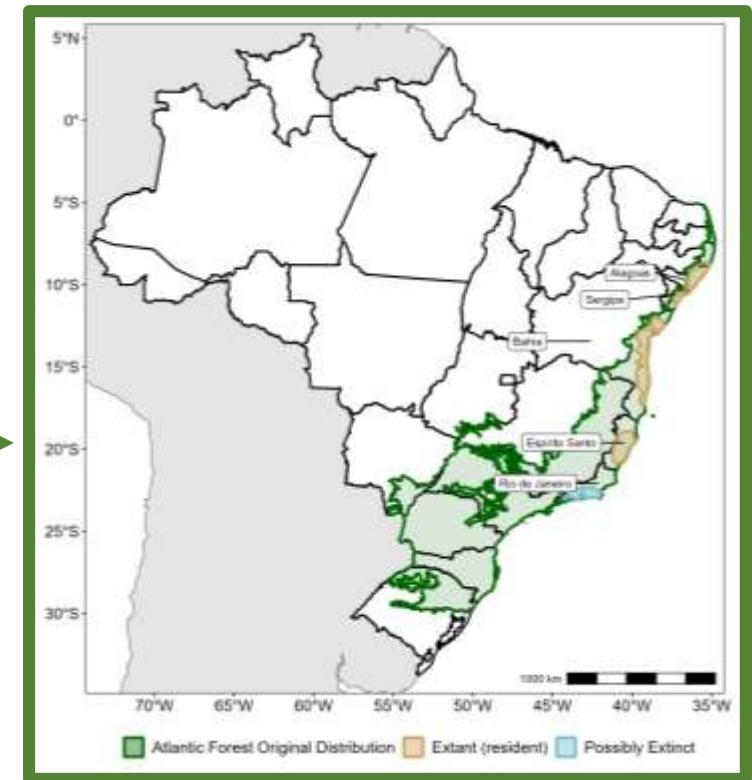


# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Fontes oficiais: [IUCN Red List](#), [speciesLink](#), [GBIF](#), [SiBBr](#), [artigos revisados publicados](#);
  - Mas nem sempre pode ser o suficiente...



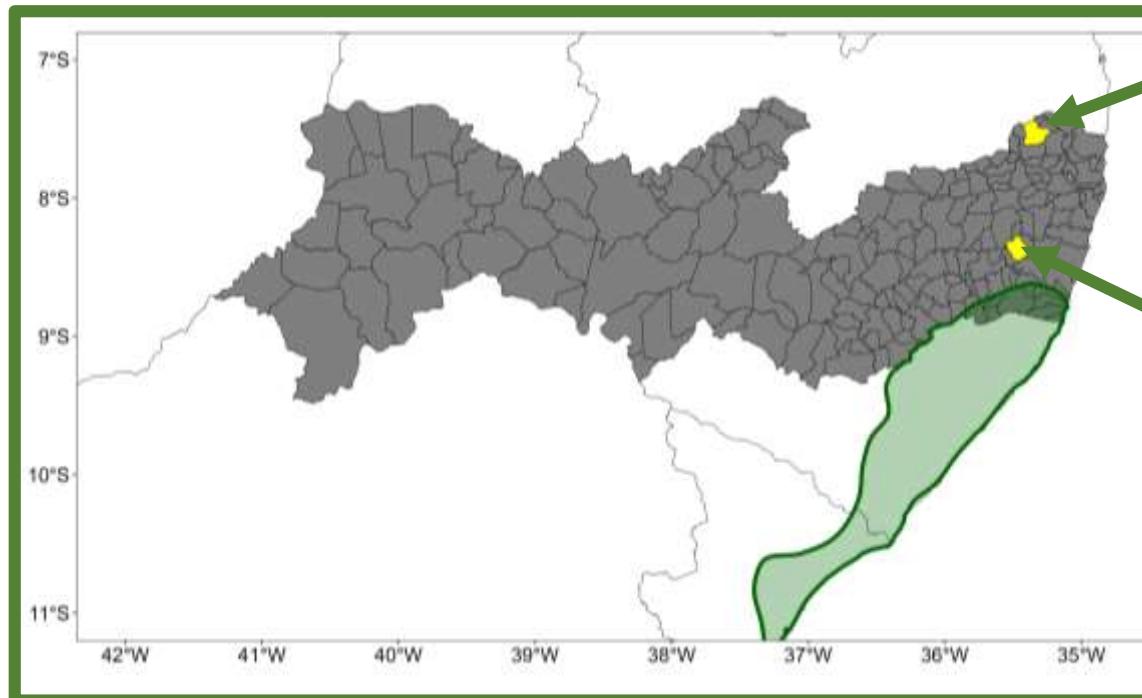
[Allobates olfersioides](#) (Lutz 1925)



[IUCN Red List: Allobates olfersioides](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Fontes oficiais: [IUCN Red List](#), [speciesLink](#), [GBIF](#), [SiBBr](#), [artigos revisados publicados](#);
  - Mas nem sempre pode ser o suficiente...



[Oliveira et al. 2021](#)

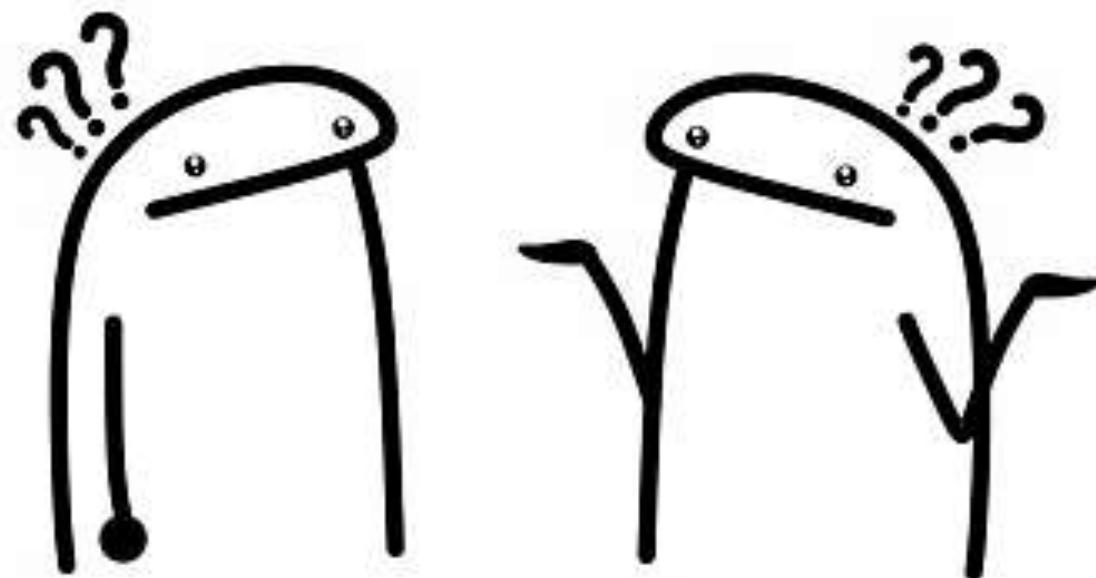


# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- “Ausência” e pseudoausência
  - Como “provar” que uma espécie não ocorre em um lugar?
  - Fontes oficiais: [IUCN Red List](#), [speciesLink](#), [GBIF](#), [SiBBr](#), [artigos revisados publicados](#);
  - Mas nem sempre pode ser o suficiente...
  - Por isso: sempre cuidado com qualquer tipo de levantamento ao afirmar a “ausência” de uma espécie;
  - Indicado: use sempre o máximo de tipos de fontes possíveis!



# Dúvidas? Questionamentos?



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Índices: Índice de Jaccard
  - Desenvolvido inicialmente por Grove K. Gilbert e posteriormente aperfeiçoadado por Paul Jaccard ([Jaccard 1912](#));
  - Descreve o grau de compartilhamento entre dois conjuntos:  $1 =$  todos os elementos de  $A$  estão em  $B$  ( $A \cap B$ );  $0 =$  nenhum dos elementos de  $A$  estão em  $B$  ( $A \cup B$ );
  - Para funcionar como “diversidade”, é necessário  $1 - J(A, B)$ ;
  - Índice simples, dependendo apenas da quantidade de elementos compartilhados e não compartilhados para o seu cálculo.

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Índices: Índice de Sørensen
  - Desenvolvido independentemente por Thorvald Sørensen ([Sørensen 1948](#)) e Lee R. Dice ([Dice 1945](#))
  - Semelhante ao Índice de Jaccard, este desconta o tamanho das comunidades (riqueza), dando duplo peso às espécies compartilhadas;
  - Também é necessário  $1 - S(A, B)$ ;
  - Mais indicado para estudos com comunidades com tamanhos muito desiguais.

$$S(A, B) = \frac{2 * |A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Índices: Índice de Sørensen
  - Se duas comunidades tem riquezas muito desiguais, a diversidade beta sempre tenderá a ser mais alta do que realmente é;
  - Por isso, para evitar distorções muito grandes em comunidades com tamanhos muito desiguais, o índice de Sørensen desconta o peso das espécies compartilhadas.

$$J(A, B) = 1 - \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

$$J(A, B) = 1 - \frac{7}{(9 + 25) - 7}$$

$$J(A, B) = 1 - \frac{7}{27}$$

$$J(A, B) = \sim 0,74$$

$$S(A, B) = 1 - \frac{2 * |A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

$$S(A, B) = 1 - \frac{2 * 7}{(9 + 25) - 7}$$

$$S(A, B) = 1 - \frac{14}{27}$$

$$S(A, B) = \sim 0,48$$

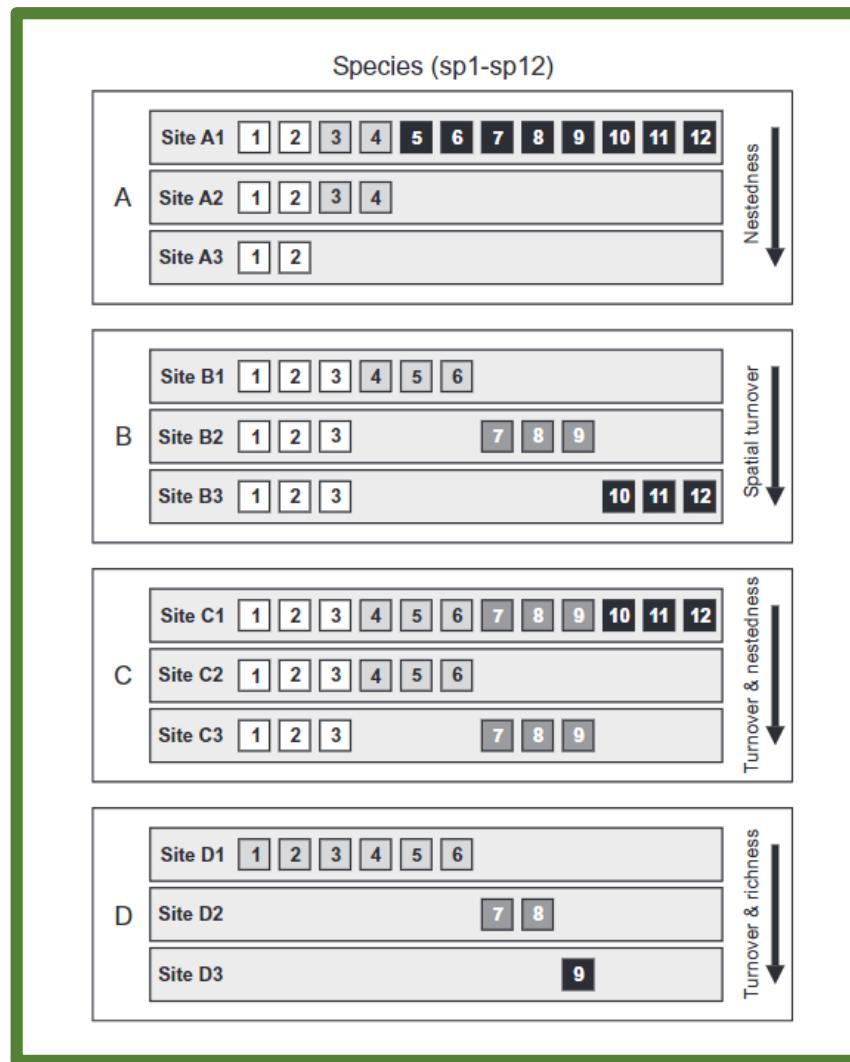
# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: Índice de Sørensen
  - Tradicionalmente, a diversidade beta era interpretado a diversidade beta apenas como troca de espécies, *turnover*;
  - Contudo, Andrés Baselga ([Balsega 2010](#)) observou que a diversidade beta era, na verdade, composta por dois componentes;
  - Baselga notou que a diferença na composição das comunidades poderia ocorrer tanto por substituição (*turnover*) quanto por aninhamento (*nestedness*);
  - Substituição: troca de espécies entre comunidades;
  - Aninhamento: quando as espécies de uma comunidade são um subgrupo de outra.



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

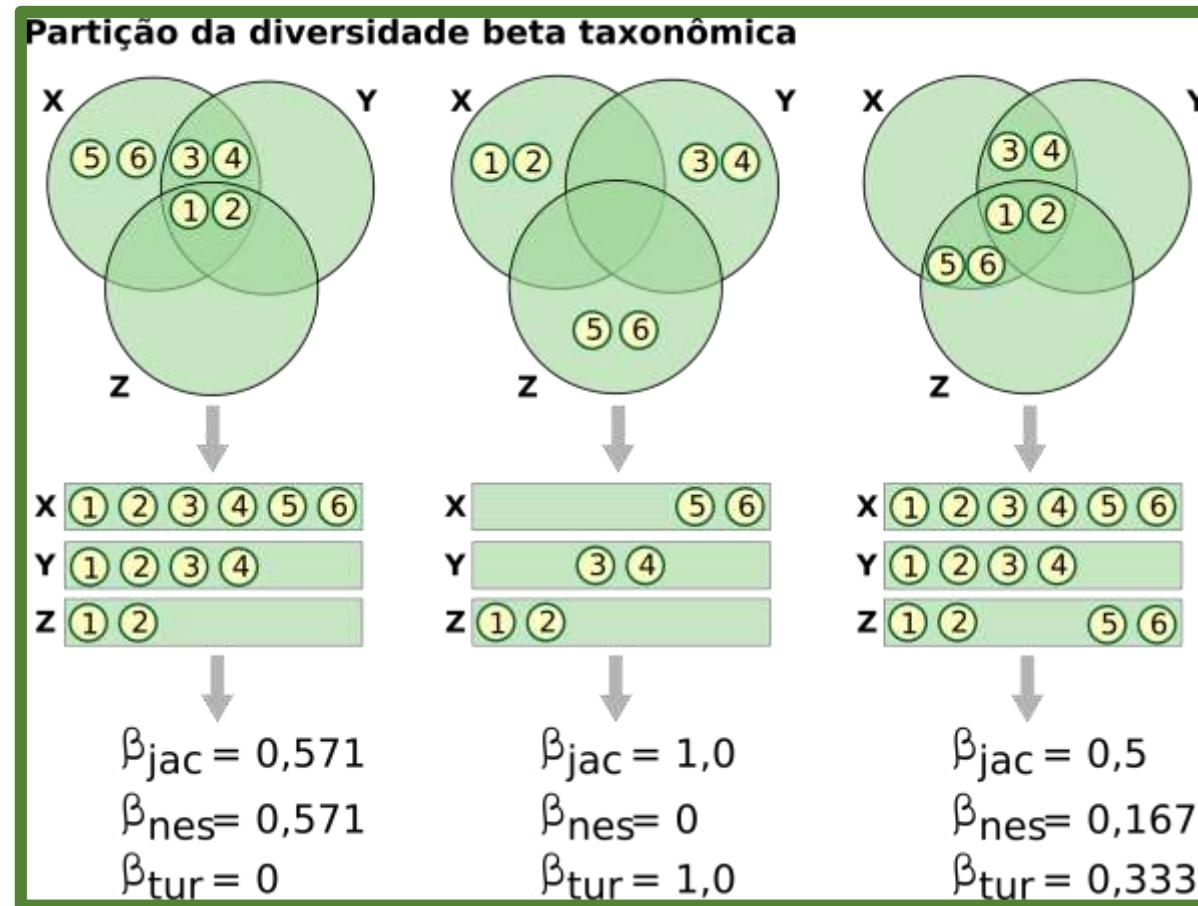
- Composição: Índice de Sørensen



[Balsega 2010](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: Índice de Sørensen



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: Índice de Sørensen
  - Logo:  $\text{Índice de Sørensen} = \text{Substituição} + \text{Aninhamento!}$



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

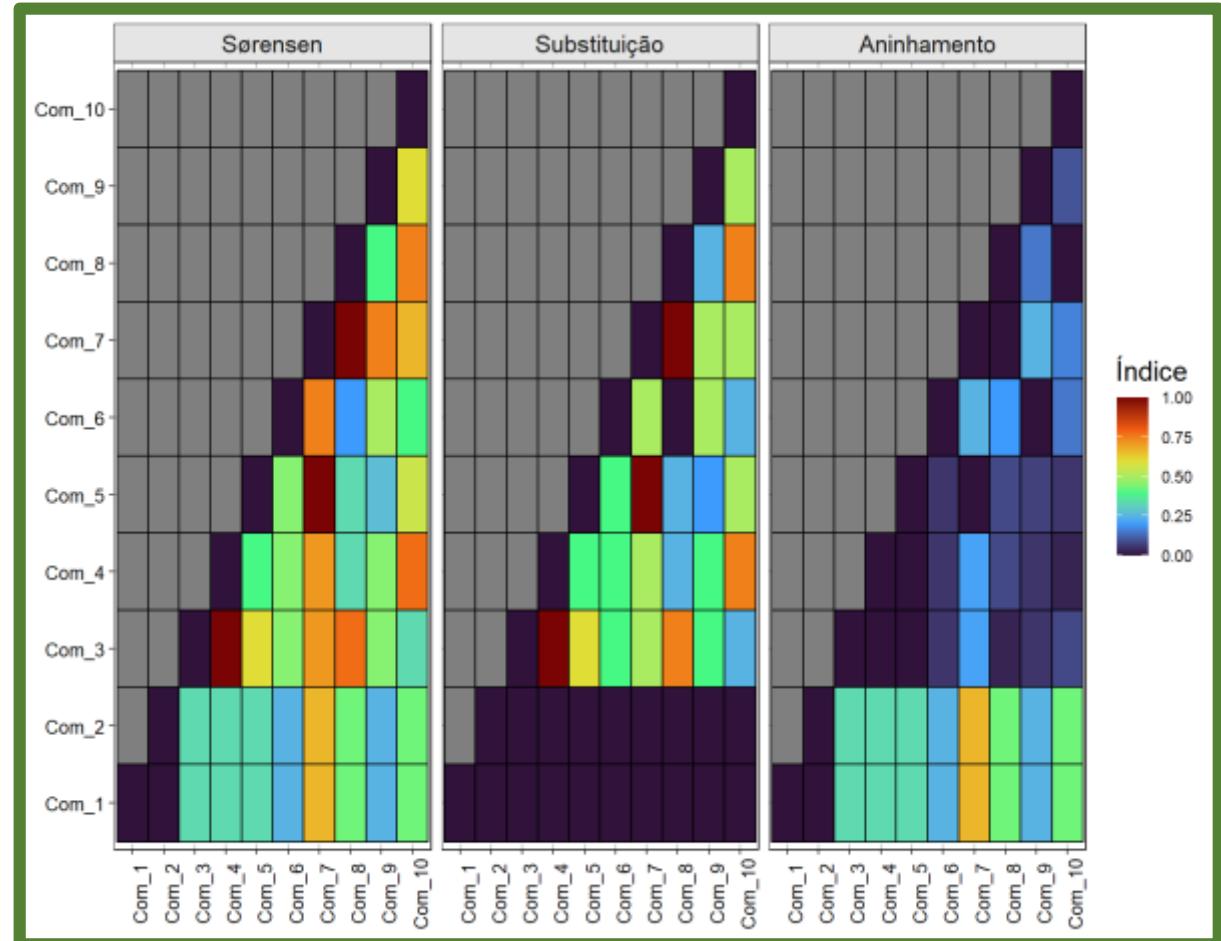
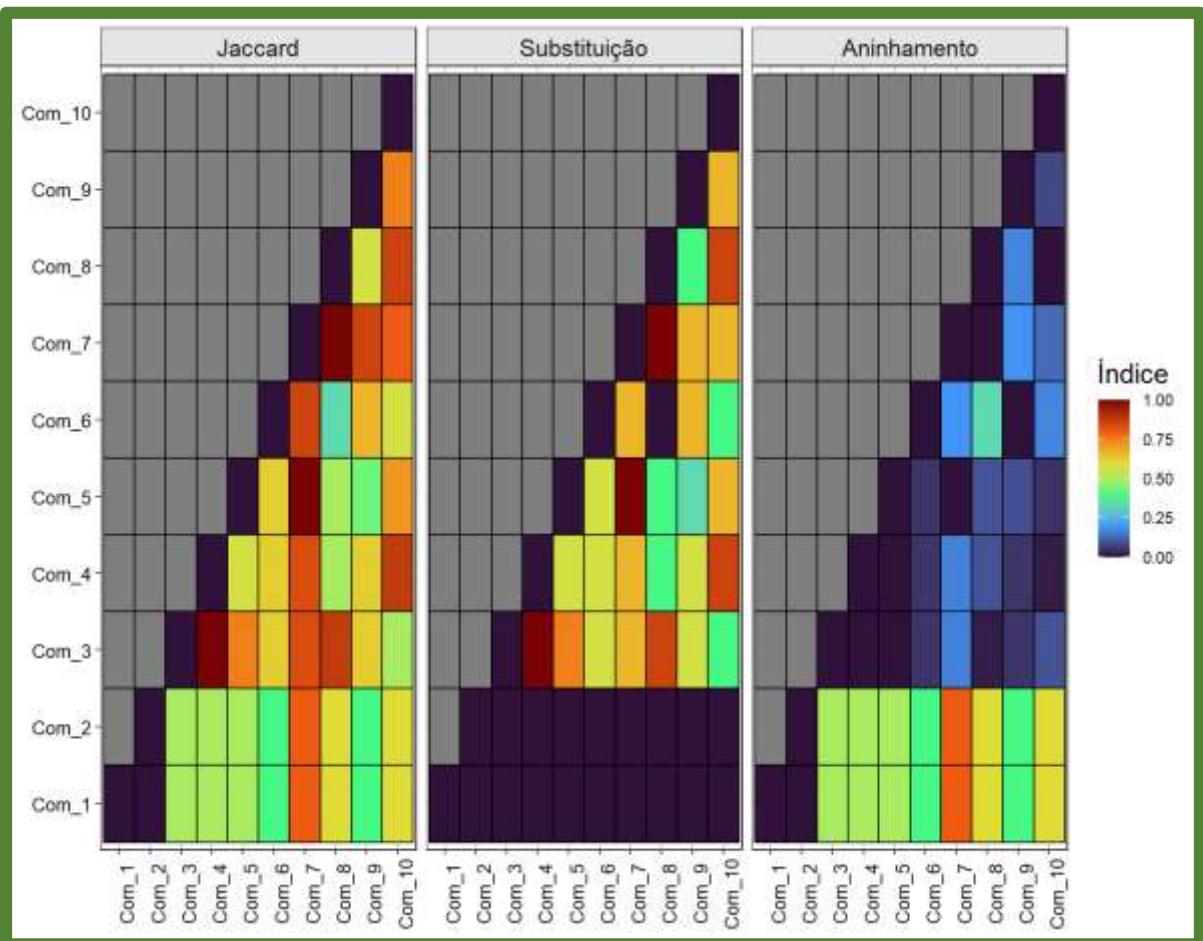
- Composição: decomposição do índice de Jaccard
  - Posteriormente, Baselga aplicou a partição da diversidade beta em substituição e aninhamento para o Índice de Jaccard ([Baselga 2012](#)).



[Baselga 2012](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: Índice de Jaccard x Índice de Sørensen



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: diversidade beta com dados de abundância
  - Além de dados de presença-ausência, é possível usar dados de abundância na composição ([Chao et al. 2005](#))
  - Baselga também particionou a diversidade beta baseada em abundância em dois componentes ([Baselga 2013](#)): variação balanceada = número de indivíduos de uma espécie que são substituídos por de outra espécie; gradiente de abundância: número de indivíduos que são perdidos de uma comunidade para outra.

**ECOLOGY LETTERS**

 Full Access

A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data

Anne Chao, Robin L. Chazdon, Robert K. Colwell, Tsung-Jen Shen

[Chao et al. 2005](#)

**Methods in Ecology and Evolution** 

Research Article  Free Access

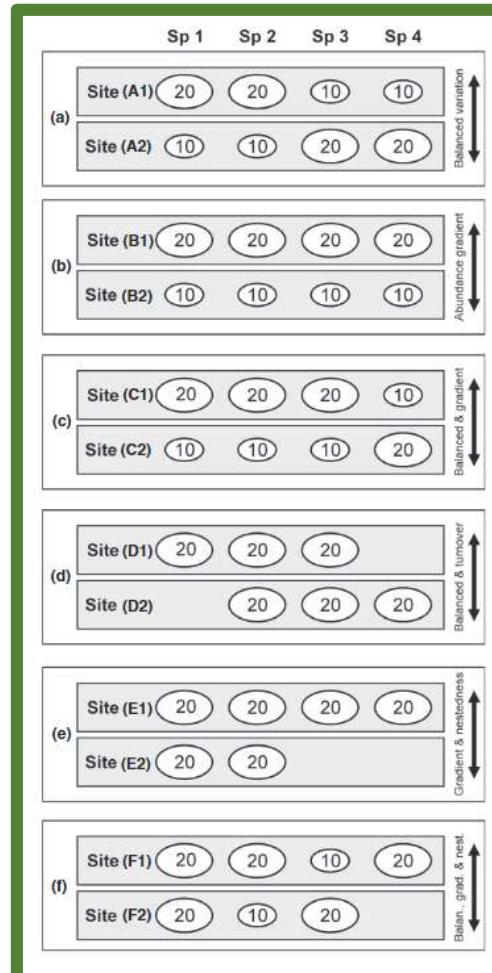
Separating the two components of abundance-based dissimilarity: balanced changes in abundance vs. abundance gradients

Andrés Baselga

[Baselga 2013](#)

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: diversidade beta com dados de abundância



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: diversidade beta com dados de abundância
  - Variação balanceada = turnover (troca);
  - Gradiente de abundância = nestedness (aninhamento);
  - Logo: Índice de Bray-Curtis aplicado à diversidade beta = Variação balanceada + Gradiente de abundância!



# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: Índice de Bray-Curtis

$$d_{BC} = \frac{\sum_{i=1}^P [x_{ij} - y_{ik}]}{\sum_{i=1}^P [x_{ij} + y_{ik}]}$$

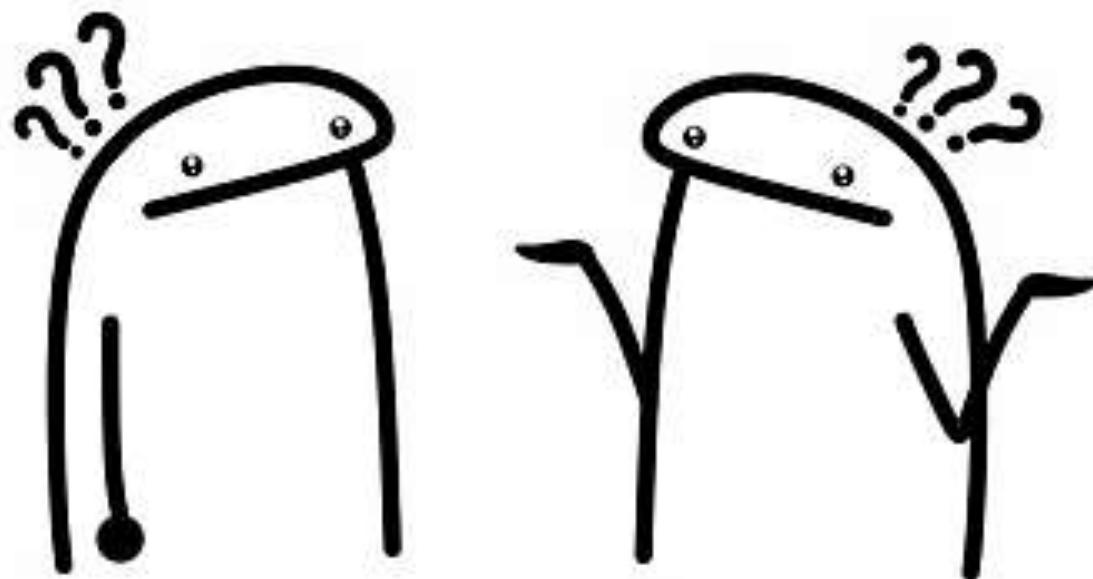
- $x_{ij}$  = abundância da espécie  $i$  na comunidade  $j$ ;
- $x_{ik}$  = abundância da espécie  $i$  na comunidade  $k$ .

# Métrica taxonômica: Diversidade beta

- Composição: dados de presença-ausência ou abundância?
  - Sempre QUE POSSÍVEL, é indicado utilizar dados de abundância, por ter mais informação sobre a composição do que apenas presença e ausência ([Chao et al. 2005](#));
  - CONTUDO, em cenários onde há alguma incerteza sobre a amostragem e a abundância das espécies, é indicado o uso de dados de presença-ausência, para evitar vieses nas análises.

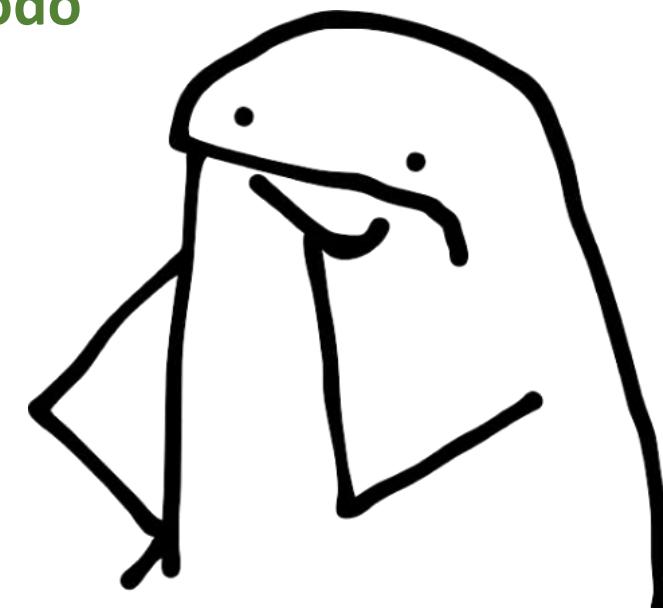


# Dúvidas? Questionamentos?



# Métrica Funcional

- Conceitos iniciais
  - Enquanto a métrica taxonômica descreve entidades taxonômicas, a métrica funcional descreve atributos funcionais;
  - Atributos funcionais: características mensuráveis de um organismo;
  - Pode ser qualquer atributo relacionado à espécie: tamanho de asa, cor de pele, formato de escama, largura das patas, modo reprodutivo...
  - Dados: quantitativos ou qualitativos;
  - Grande impacto nas estratégias de conservação.



# Métrica Funcional

- Conceitos iniciais: quando ocorre mais espécies de anfíbios?



# Métrica Funcional

- Conceitos iniciais: por que ocorre mais espécies de anfíbios nessa época?



# Métrica Funcional

- Conceitos iniciais
  - Mede a variedade de nicho em uma comunidade;
  - Nicho: intervalo de condições adequadas para a permanência de uma espécie em um local ([Hutchinson 1953](#); [MacArthur & Pianka 1966](#));
  - Traços funcionais: atributos biológicos que afetam a ecologia da espécie;
  - Quanto mais variados os traços funcionais das espécies numa comunidade, maior será a variedade funcional.



[MacArthur & Pianka 1966](#)

# Métrica Funcional

- Importância de entender os atributos funcionais
  - Impacto na conservação: entender quem e quantos são prejudicados em impactos ecológicos baseado na sua biologia;
  - Estudos sobre modificações ambientais, interações ecológicas e modelos simples de nicho ecológico;
  - Escolha dos atributos funcionais: depende da sua pergunta de pesquisa.



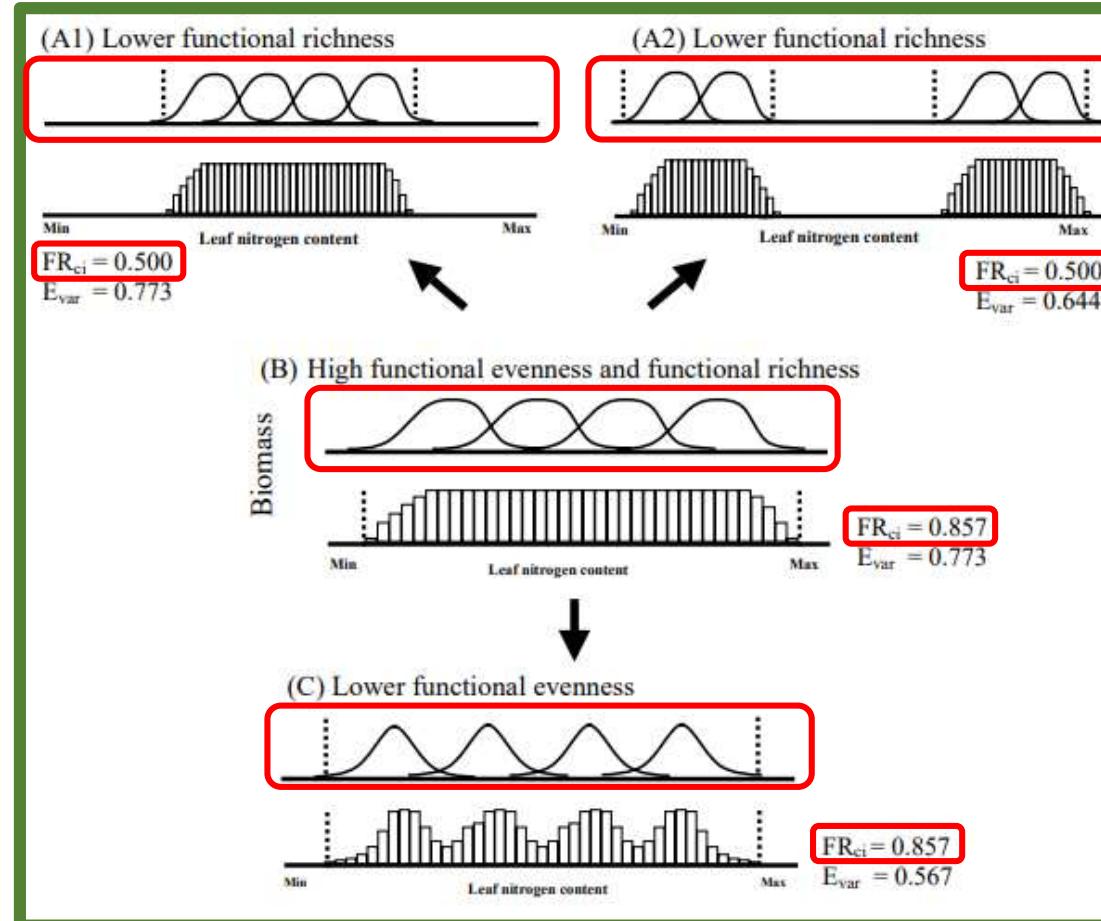
# Métrica Funcional: riqueza

- Riqueza funcional
  - Mede o quanto de espaço funcional é preenchido pelas espécies em uma comunidade ([Mason et al. 2005](#))
  - Pode ser interpretado como o quanto de nicho foi preenchido pelas espécies de uma comunidade;
  - Quanto mais nicho é disponível para ser ocupado, menor a riqueza funcional;
  - Pode ser interpretado como medida de nicho ocupado e fundamental ([Hutchinson 1957](#)).



# Métrica Funcional: riqueza

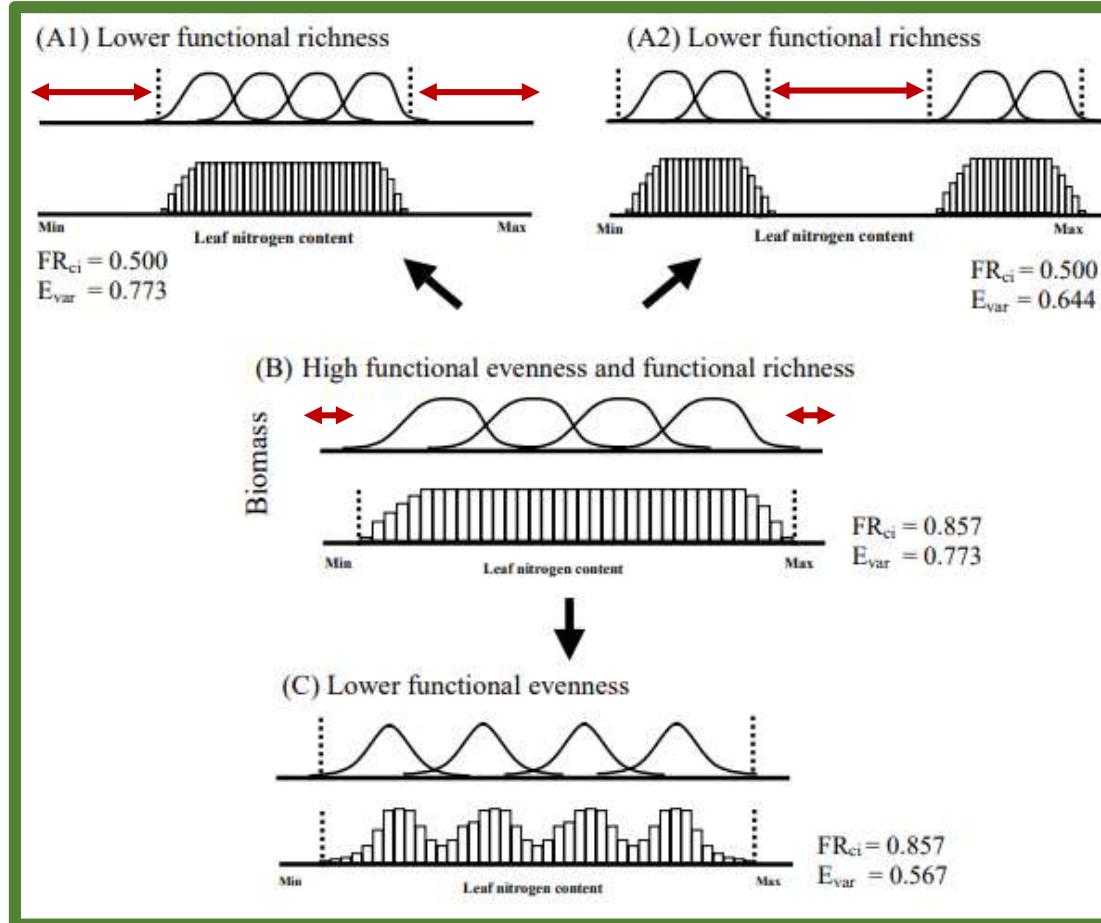
- Riqueza funcional



[Mason et al. 2005](#)

# Métrica Funcional: riqueza

- Riqueza funcional



[Mason et al. 2005](#)

# Métrica Funcional: riqueza

- Riqueza funcional

$$FR_{ci} = \frac{SF_{ci}}{R_c}$$

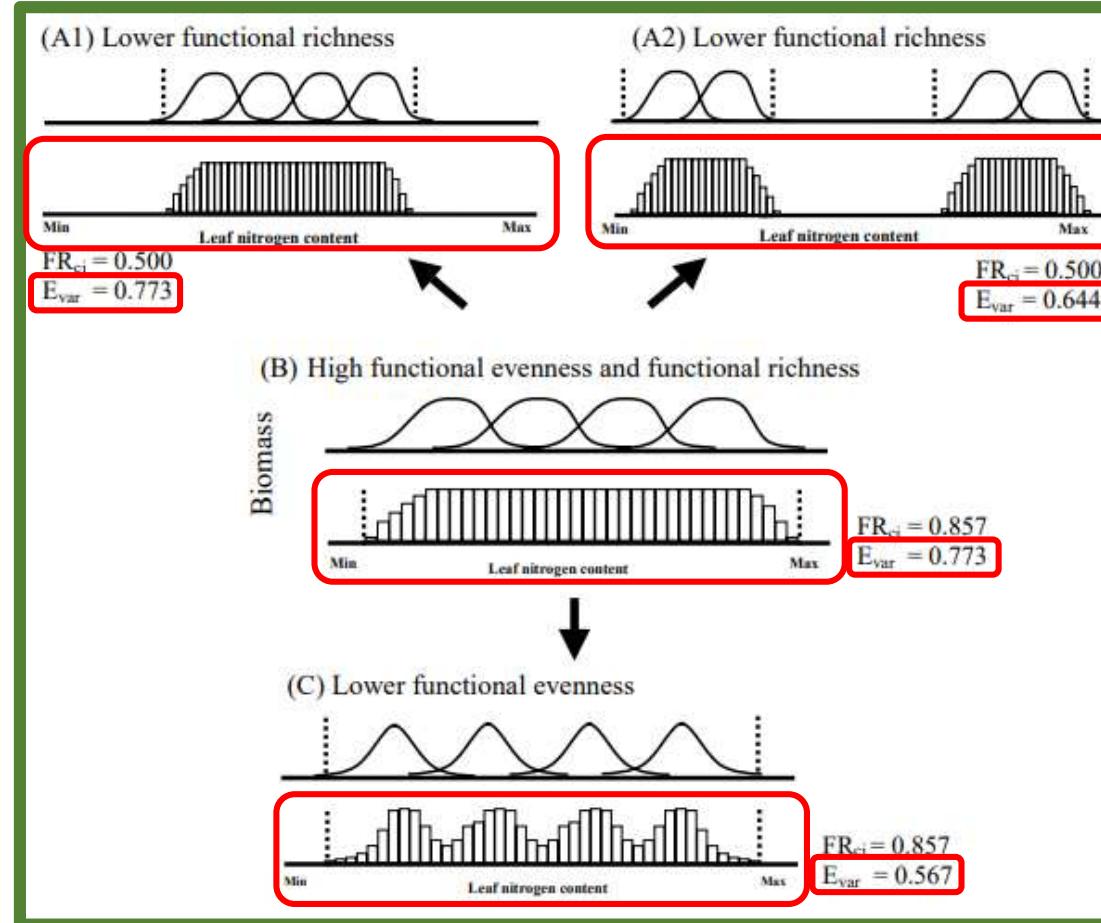
- $SF_{ci}$  = nicho ocupado pelas espécies na comunidade (nicho ocupado);
- $R_c$  = nicho que pode ser ocupado pelas espécies (nicho potencial);
- $FR_{ci}$  varia de 0 – 1.

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Regularidade funcional
  - Proposta por Camargo ([1993](#));
  - Também chamada de equitabilidade funcional;
  - Medida do quanto regular é a distribuição dos traços funcionais entre as espécies;
  - Funcionamento: a distância par-a-par das espécies no método Minimum Spanning Tree é ponderada pela abundância relativa das espécies;
  - Só funciona para comunidades com PELO MENOS 3 espécies.

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Regularidade funcional



[Mason et al. 2005](#)

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Regularidade funcional

$$E_{var} = \frac{1}{\frac{2}{\pi} \arctan \left\{ \frac{\sum_{S=1}^S \left( \frac{\ln(X_S) - \sum_{t=1}^S \ln(X_t)}{S} \right)^2}{S} \right\}}$$

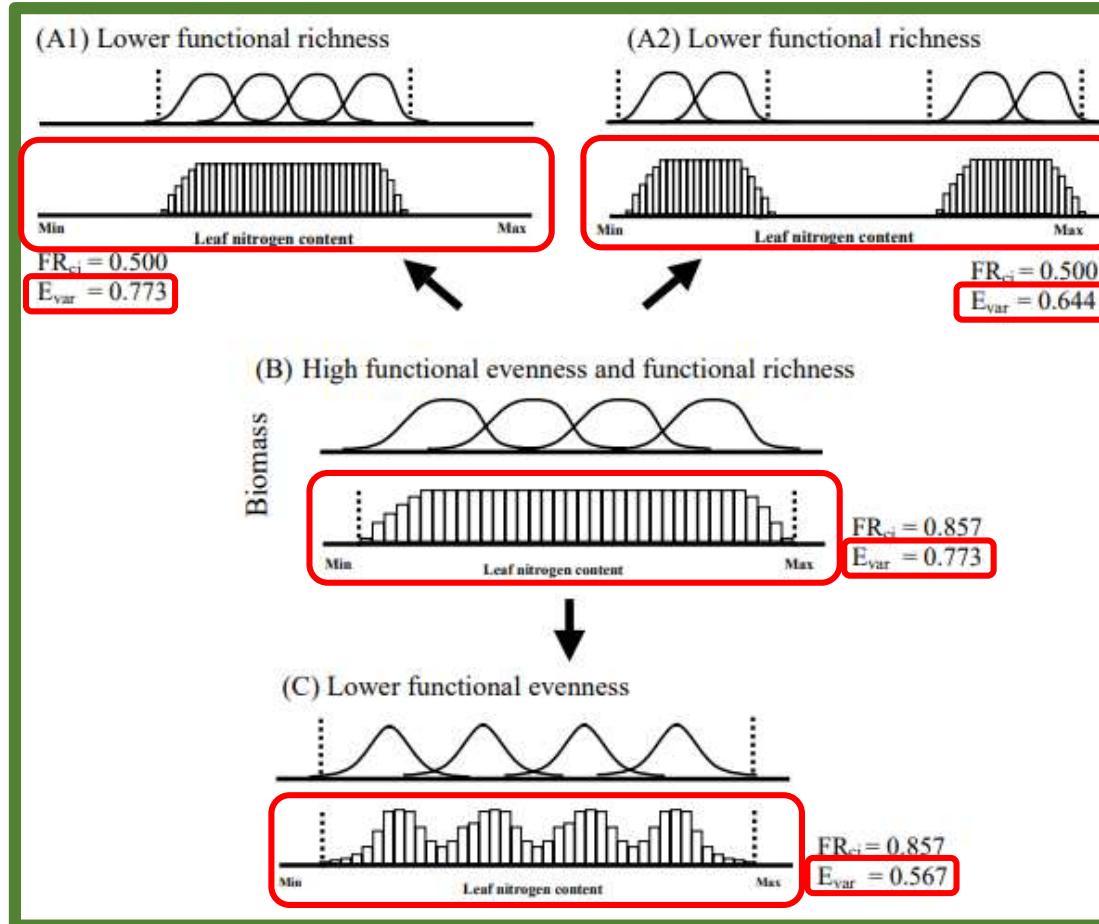
- $S$  = número de espécies na amostra;
- $X_S$  = abundância da  $S$ -ésima espécie;
- $X_t$  = abundância da  $t$ -ésima espécie;
- $\arctan$  = função do arco tangente;
- $E_{var}$  varia de 0 – 1.

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Divergência funcional
  - Proposto por Mason et al. ([2003](#));
  - Calcula o quanto irregular é a distribuição do espaço funcional ocupado pelas espécies;
  - Quanto maior o valor de divergência funcional, maior a diferenciação de nicho entre as espécies numa comunidade;
  - Exatamente o oposto da regularidade funcional.

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Divergência funcional



[Mason et al. 2005](#)

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Divergência funcional

$$FD_{var} = \frac{2}{\pi \arctan\left\{5 * \sum_{i=1}^N [(\ln Ci - \overline{\ln X})^2 * Ai]\right\}}$$

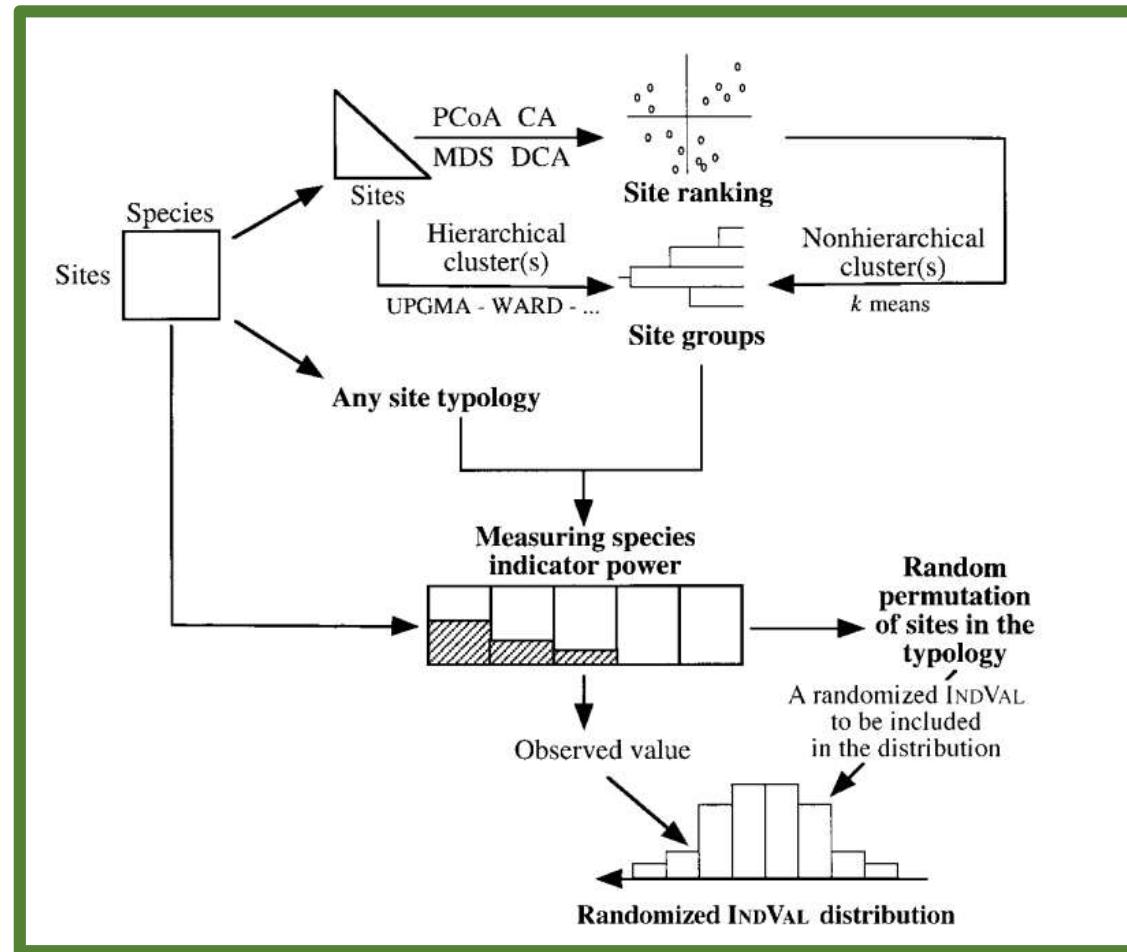
- $Ci$  = o valor do caractere para a i-ésima categoria de caractere funcional;
- $Ai$  = abundância proporcional da i-ésima categoria de caractere funcional;
- $\overline{\ln X}$  = a média ponderada pela abundância do logaritmo natural dos valores dos caracteres para as categorias. Ou seja, a soma das abundâncias proporcionais da categoria multiplicada pelo logaritmo natural dos valores dos caracteres da categoria;
- $\arctan$  = função do arco tangente;
- $FD_{var}$  varia de 0 – 1.

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Indicator Species Analysis (ISA)
  - Proposto por Dufrêne & Legendre ([1997](#));
  - Calcula o quanto a abundância de uma espécie está associada a um tipo de ambiente
  - Se baseia na hipótese de maximização de nicho ([MacArthur & Pianka 1966](#)): espécies ocorrerão mais facilmente em ambientes que favoreçam seu fitness adaptativo;
  - Parte do pressuposto que é possível entender características funcionais de uma espécie baseado na sua distribuição de abundância em diferentes ecossistemas;
  - Usado para estudos sobre preferência de nicho, comportamento e conservação.

# Métrica Funcional: diversidade alfa

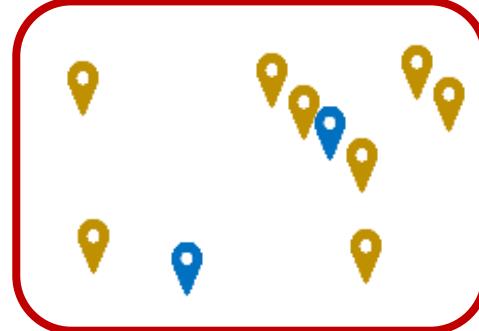
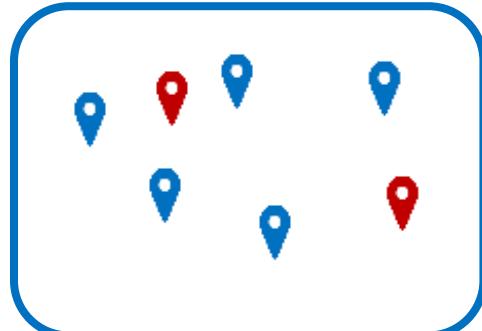
- Indicator Species Analysis (ISA)



Dufrêne & Legendre 1997

# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Indicator Species Analysis (ISA)



# Métrica Funcional: diversidade alfa

- Indicator Species Analysis (ISA)

$$IndVal_{ij} = \frac{N_{individuos_{ij}}}{N_{individuos_i.}} * \frac{N_{lugares_{ij}}}{N_{lugares_{.j}}} * 100$$

- $N_{individuos_{ij}}$  = número médio de indivíduos da espécie  $i$  em locais do grupo  $j$ ;
- $N_{individuos_i.}$  = soma dos números médios de indivíduos da espécie  $i$  em todos os grupos;
- $N_{lugares_{ij}}$  = número de locais no cluster  $j$  onde a espécie  $i$  está presente;
- $N_{lugares_{.j}}$  = número total de sites nesse cluster;
- Resultados expressos como testes de hipótese.

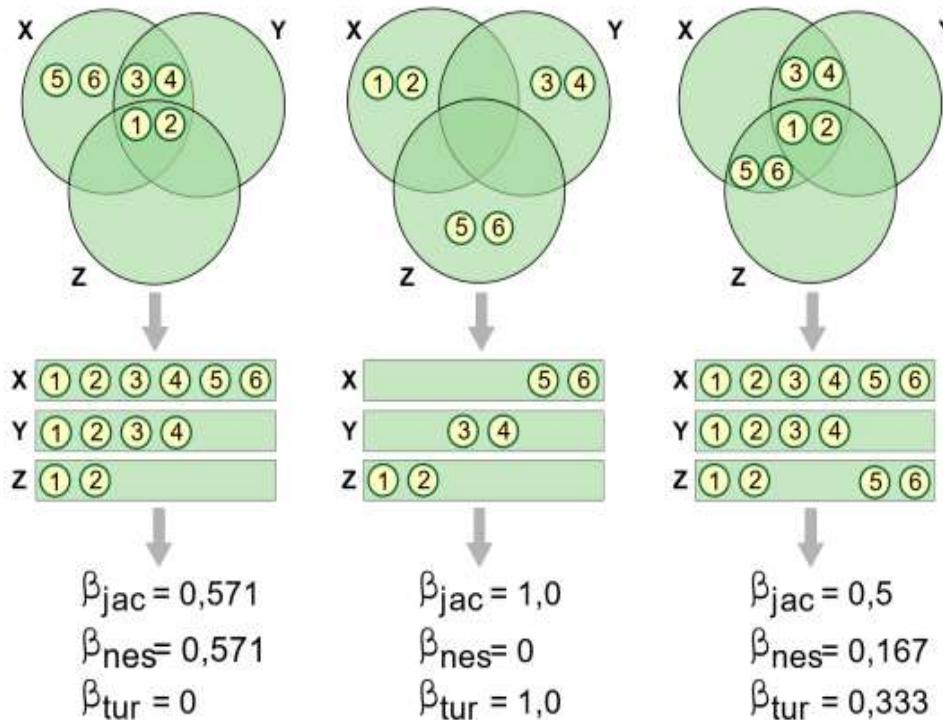
# Métrica Funcional: diversidade beta

- Conceitos iniciais
  - Semelhante à diversidade beta taxonômica, a diversidade beta funcional mede a diferença na composição de traços funcionais entre duas comunidades;
  - A diversidade beta funcional pode ser utilizada com os índices de Jaccard ( $\beta_{jac}$ ) e Sørensen ( $\beta_{sor}$ );
  - Pode ser particionada em aninhamento e substituição.

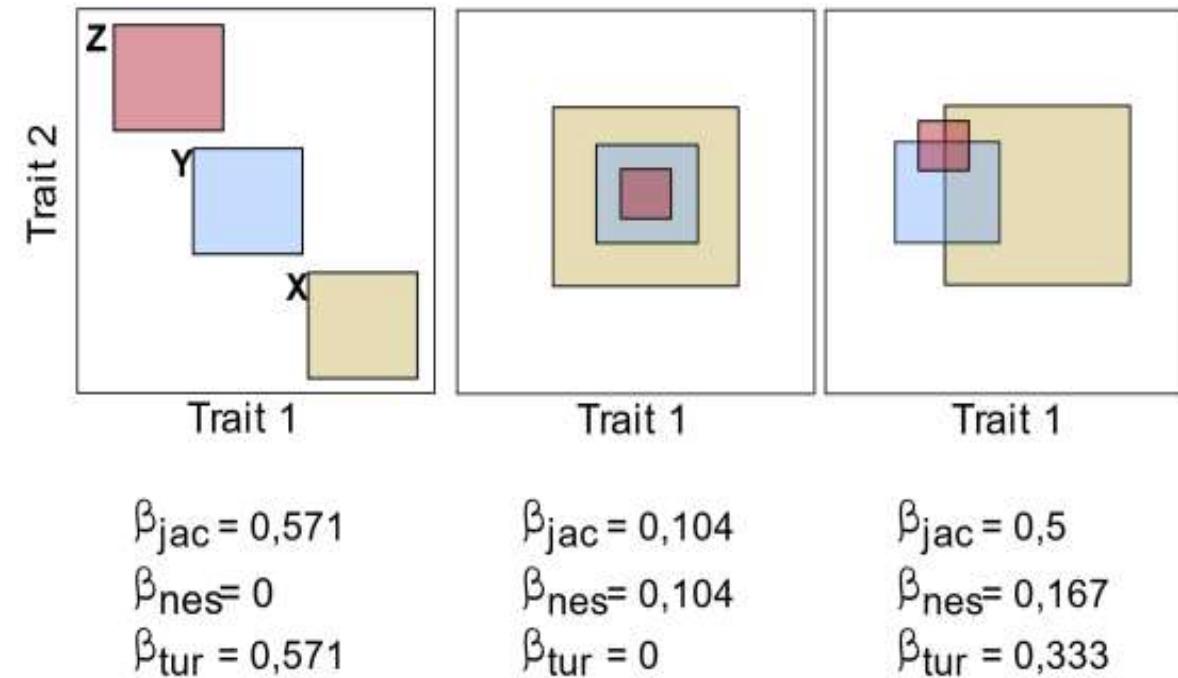
# Métrica Funcional: diversidade beta

- Conceitos iniciais

A) Partição da diversidade beta taxonômica



B) Partição da diversidade beta funcional



# E onde iremos analisar tudo isso?

- Na mão?
- Papel, lápis, borracha, calculadora e muita paciência?



---

# E onde iremos analisar tudo isso?

- Não, no R!



# Por isso...

- Baixem o R, o RTools e o RStudio



<https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>

RTools: Toolchains for building R and R packages from source on Windows

Choose your version of Rtools:

[RTools 4.3](#) for R versions from 4.3.0 (R-release and R-devel)  
[RTools 4.2](#) for R versions 4.2.x (R-oldrelease)  
[RTools 4.0](#) for R from version 4.0.0 to 4.1.3  
[old versions of RTools](#) for R versions prior to 4.0.0

<https://cran.r-project.org/bin/windows/Rtools/>

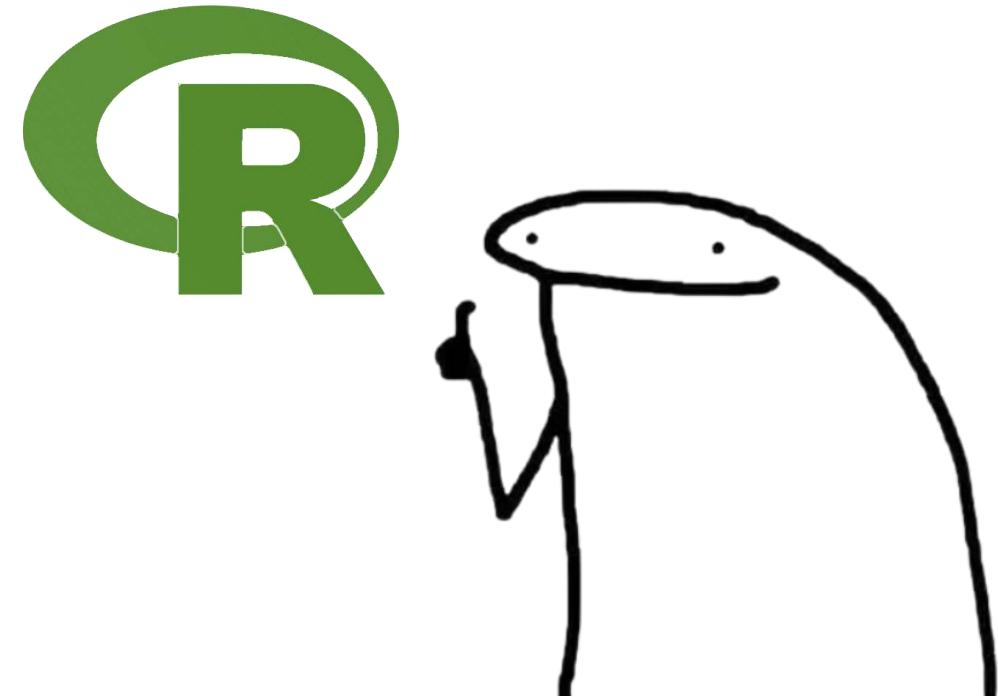
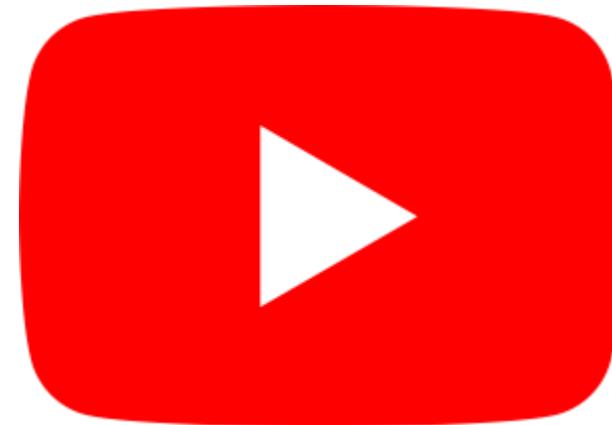


<https://posit.co/download/rstudio-desktop/>

# Dúvidas sobre baixar?

- Alguns tutoriais de como baixar

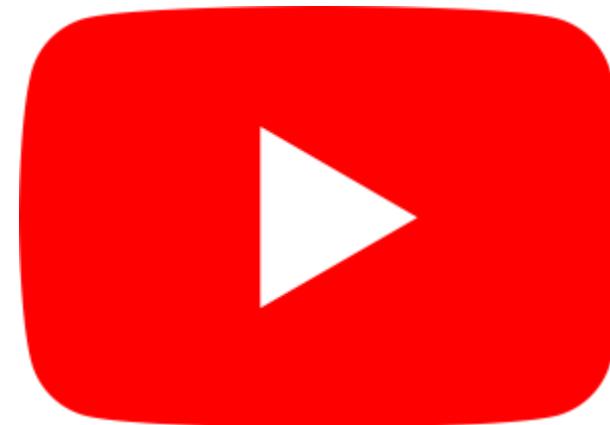
- <https://www.youtube.com/watch?v=wOdW6zodNSA&pp=ygUPYmFpeGFyIG8gUiAyMDI0>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PgTGLHAGdIE&pp=ygUPYmFpeGFyIG8gUiAyMDI0>



# Como mexer no R?

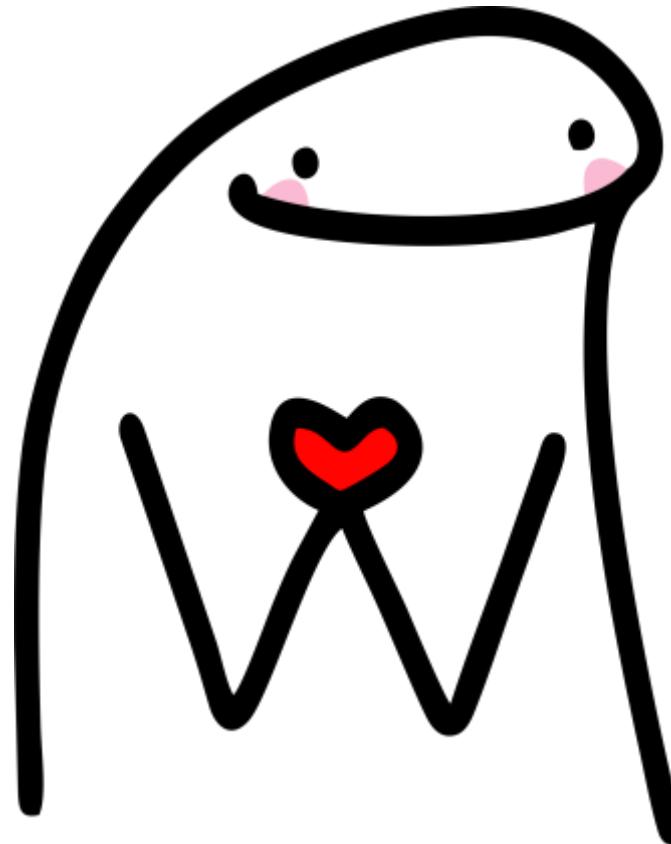
- Algumas playlists e vídeos de tutoriais

- <https://www.youtube.com/watch?v=tfPsmDzS74c&list=PLyqOvdQmGdTQ5dE6hSD7ZGBu8bud70wYf>
- [https://www.youtube.com/watch?v=2mS-SzVWPZQ&list=PLzWDDw1w8cTS4i\\_B49WOWtjngjcMqTruG](https://www.youtube.com/watch?v=2mS-SzVWPZQ&list=PLzWDDw1w8cTS4i_B49WOWtjngjcMqTruG)
- [https://www.youtube.com/watch?v=qD2hdd5A00I&list=PLdgQgS44-x14C2N\\_Em0rL2nm5qJYLgwEK](https://www.youtube.com/watch?v=qD2hdd5A00I&list=PLdgQgS44-x14C2N_Em0rL2nm5qJYLgwEK)
- [https://www.youtube.com/watch?v=fNV\\_eE8LnW8&list=PLucm8g\\_ezqNq0RMHvzZ8M32xhopFhmsr6](https://www.youtube.com/watch?v=fNV_eE8LnW8&list=PLucm8g_ezqNq0RMHvzZ8M32xhopFhmsr6)
- <https://www.youtube.com/watch?v=8XHkaPTZV2Q&pp=yguYciB0dXRvcmlhbCBlbSBwb3J0dWd1w6pz>
- <https://www.youtube.com/watch?v=plxk65JlvGw&t=632s&p=ygUYciB0dXRvcmlhbCBlbSBwb3J0dWd1w6pz>



# Obrigado pela atenção!

- E pela paciência!



[edson.nilton@ufpe.br](mailto:edson.nilton@ufpe.br)



[@edbbio](#)



[@edbbio](#)

# Dúvidas? Comentários? Reclamações?

- A hora de falar é agora!

