

Modularidade e Consequências Evolutivas

Curso ofertado à Pós Graduação em Biologia Comparada - USP

Daniela Munhoz Rossoni

Ribeirão Preto
12 de maio de 2017

**Como os processos evolutivos moldam o
potencial evolutivo de caracteres
morfológicos???**

**Como os processos evolutivos moldam o
potencial evolutivo de caracteres
morfológicos???**

propriedades da matriz de variância-covariância

Padrões e Magnitudes de Integração

PADRÕES

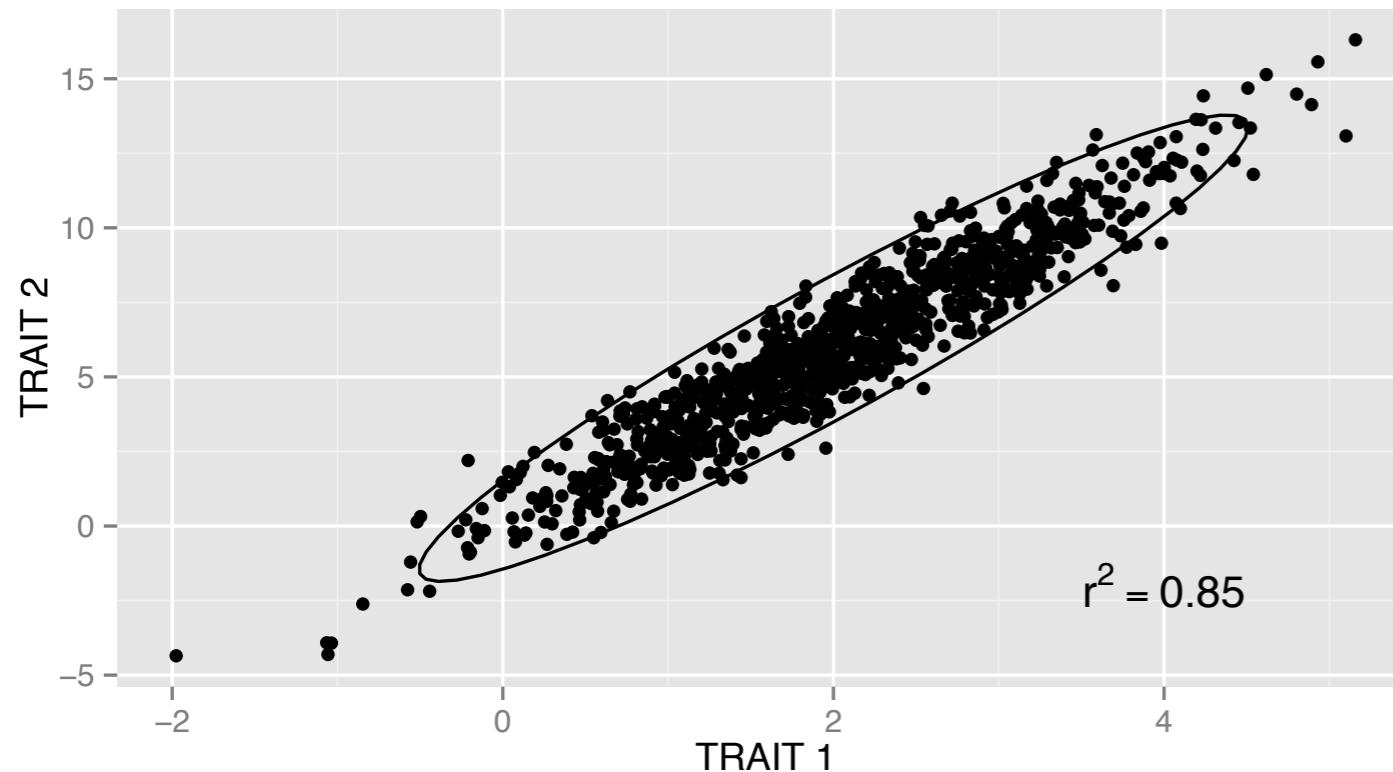
relações entre elementos morfológicos

MAGNITUDES

nível ou intensidade de associação entre os caracteres

Padrões e Magnitudes de Integração

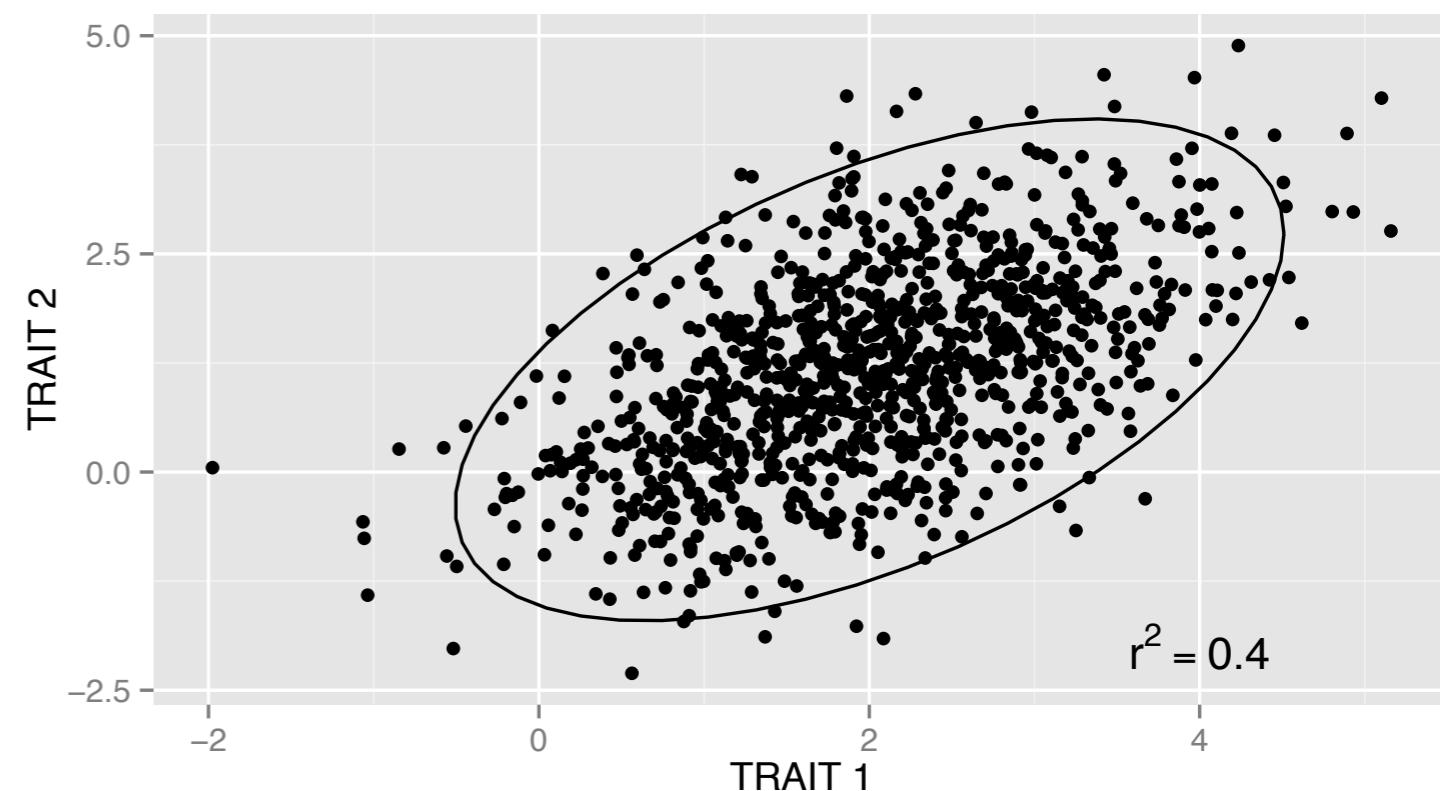
Espécie A



MAGNITUDES DIFERENTES

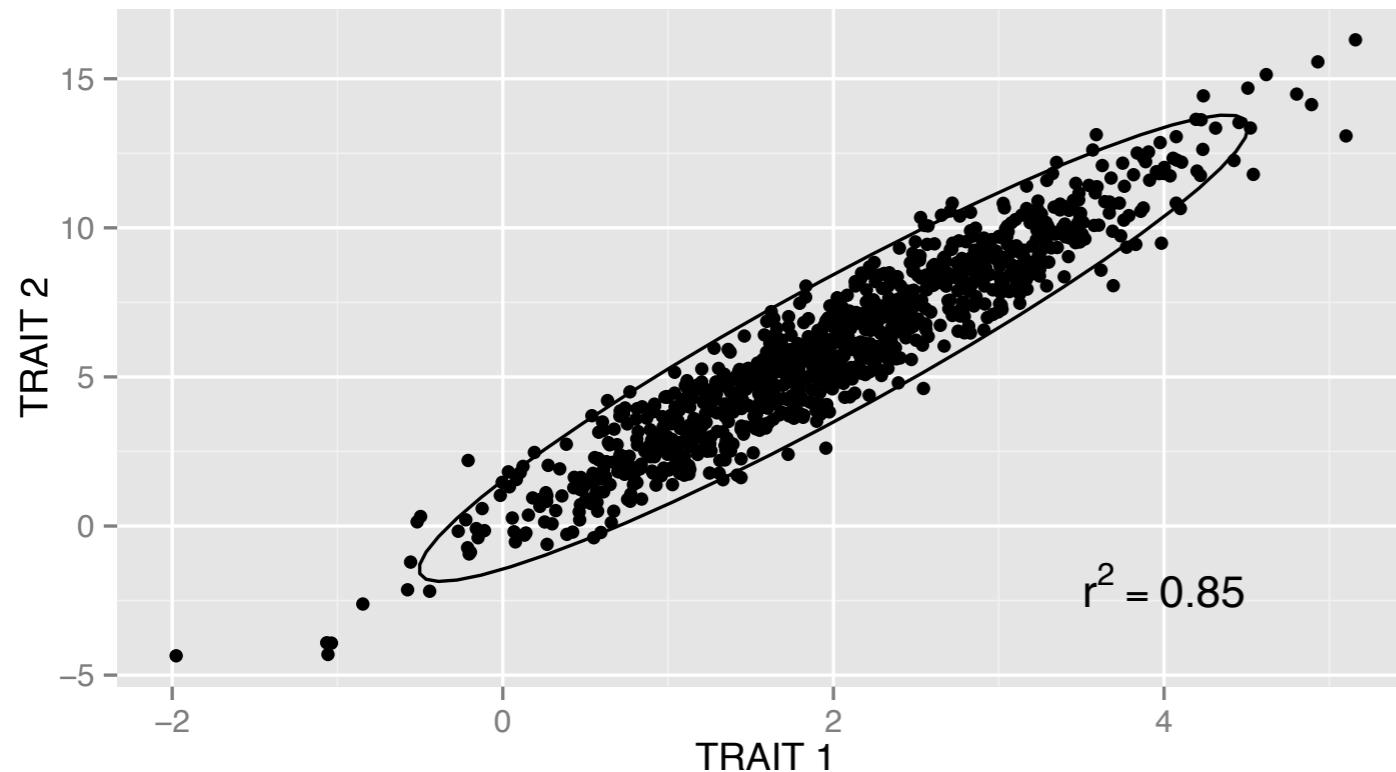
PADRÕES SIMILARES

Espécie B



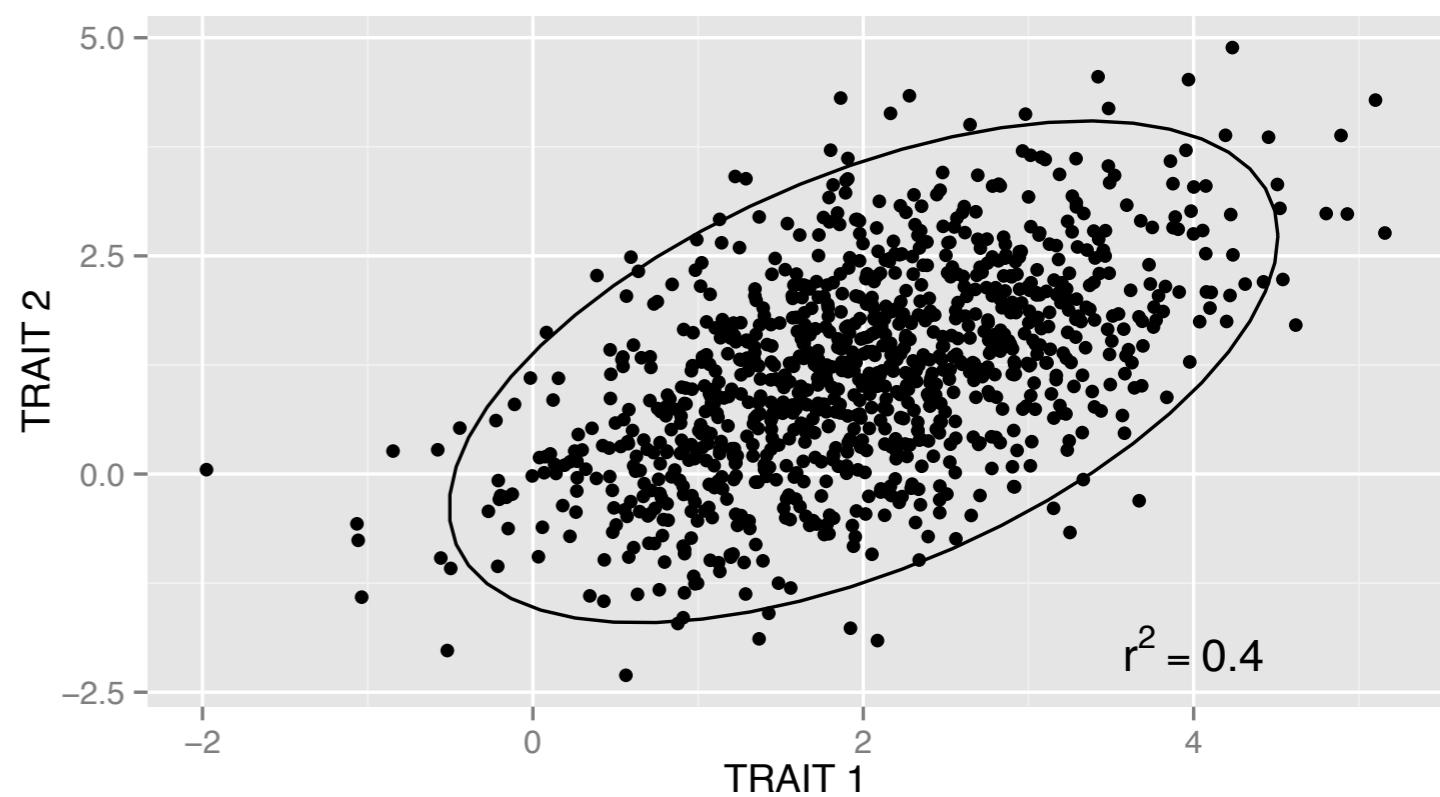
Padrões e Magnitudes de Integração

Espécie A



$$\Delta z = G \beta$$

Espécie B



Genética Quantitativa

Equação multivariada de resposta à seleção

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{\mathbf{z}}_1 \\ \Delta \bar{\mathbf{z}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{11} & \mathbf{G}_{12} \\ \mathbf{G}_{21} & \mathbf{G}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\Delta \bar{\mathbf{z}}_1 = \mathbf{G}_{11}\beta_1 + \mathbf{G}_{12}\beta_2 \quad (2)$$

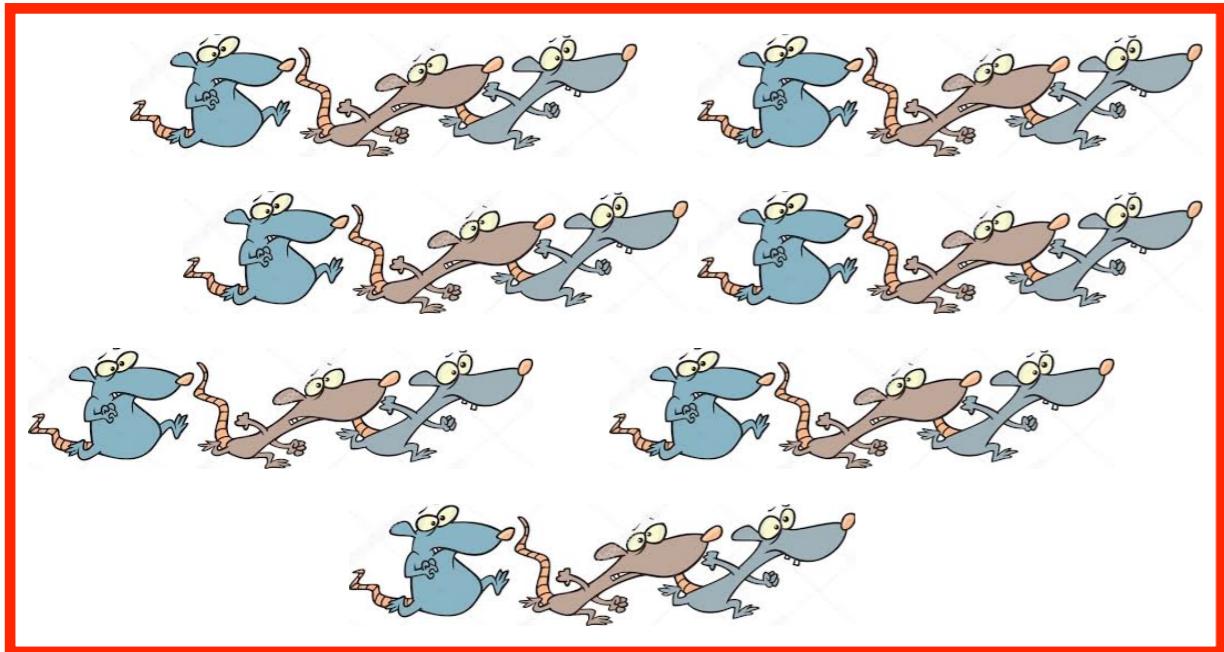
Qual a importância disso?

caracteres em um organismo não evoluem independentemente uns dos outros;
formam unidades integradas;
seleção age sobre esses caracteres associados

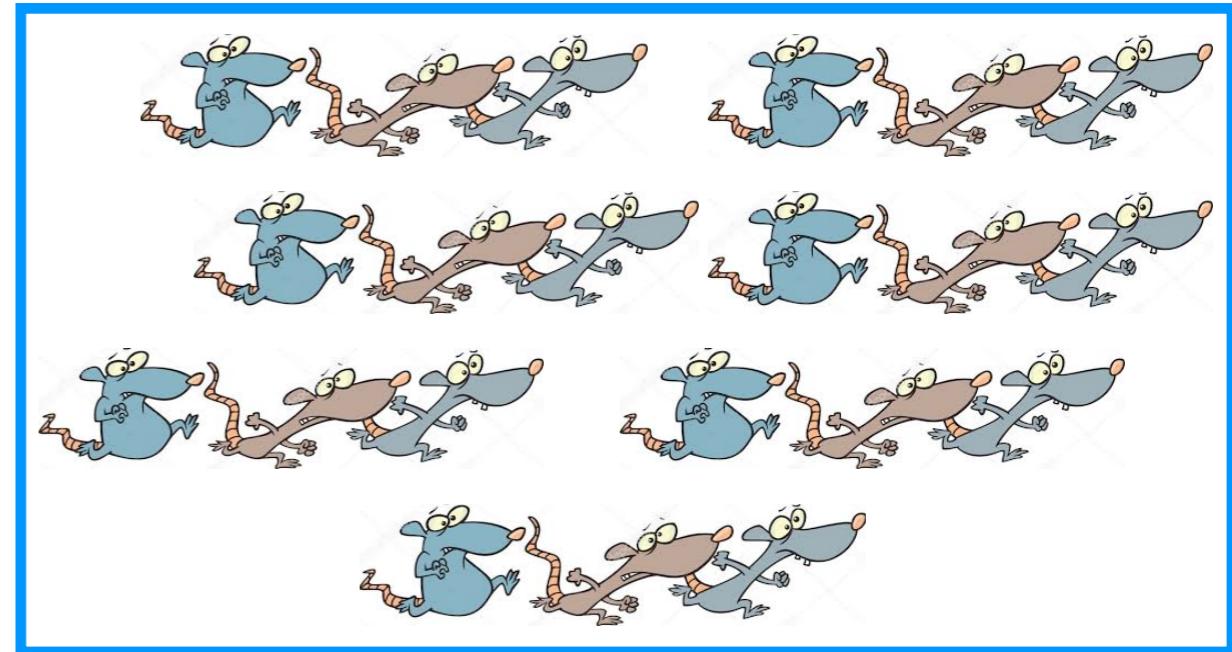
$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{\mathbf{z}}_1 \\ \Delta \bar{\mathbf{z}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{11} & \mathbf{G}_{12} \\ \mathbf{G}_{21} & \mathbf{G}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\Delta \bar{\mathbf{z}}_1 = \mathbf{G}_{11}\beta_1 + \mathbf{G}_{12}\beta_2 \quad (2)$$

Ratus hipoteticus população A



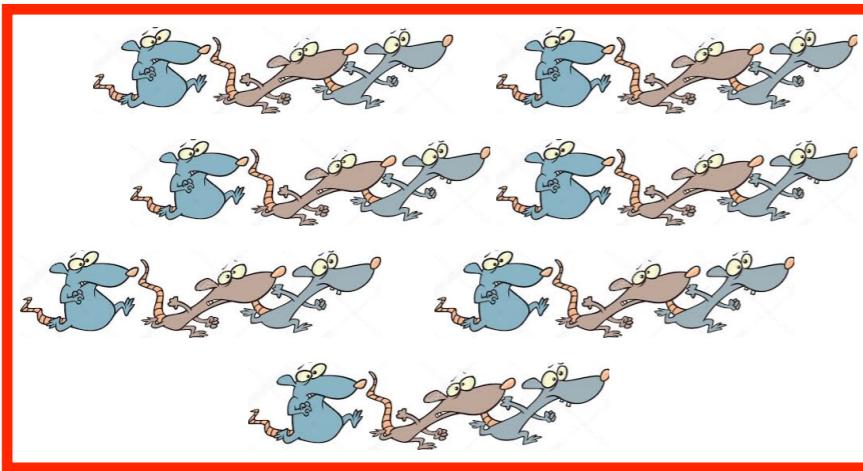
Ratus hipoteticus população B



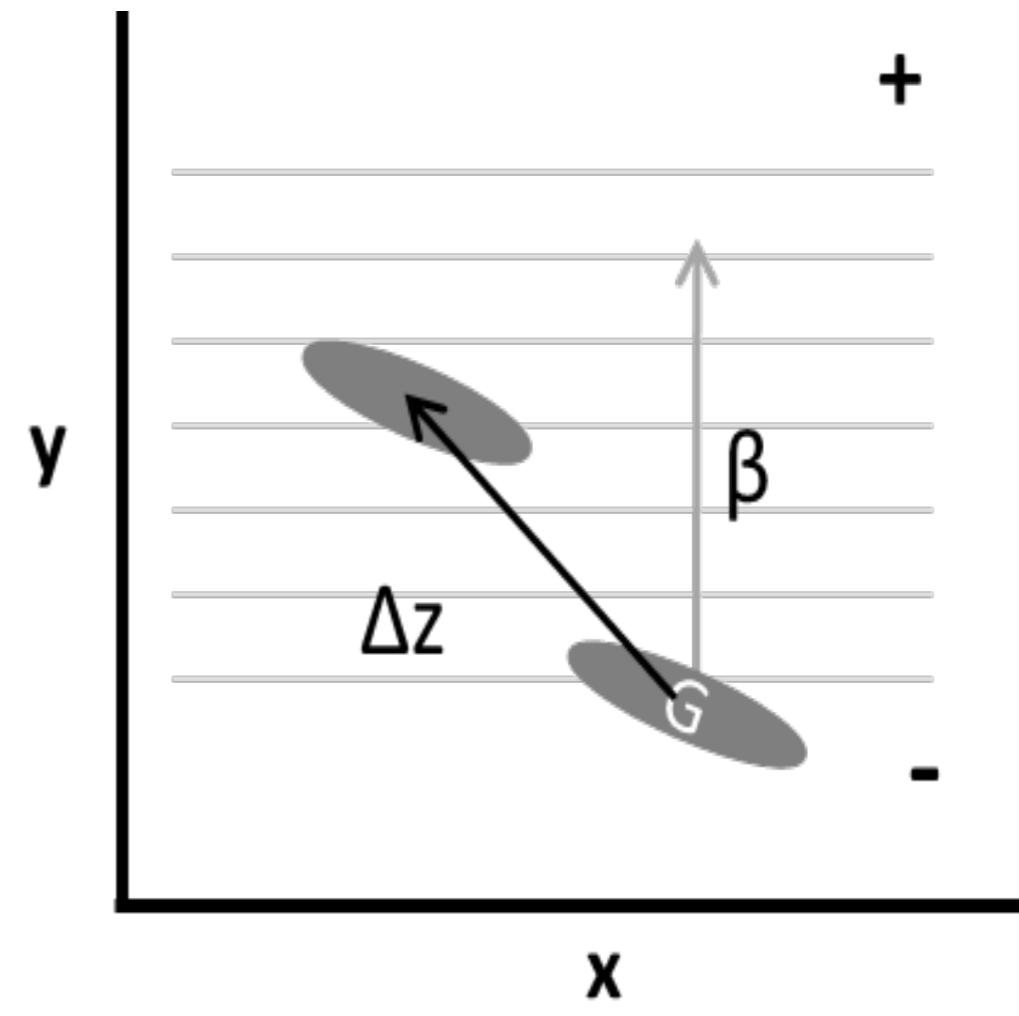
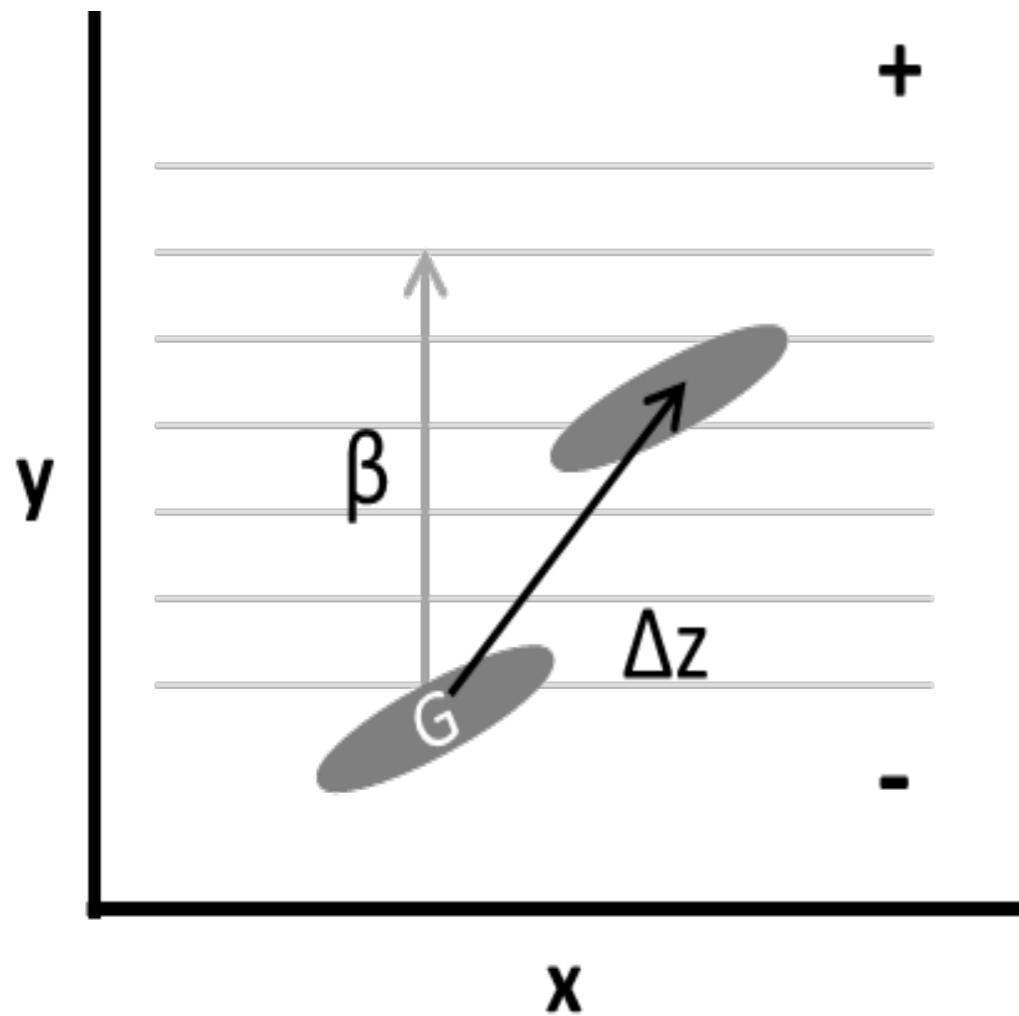
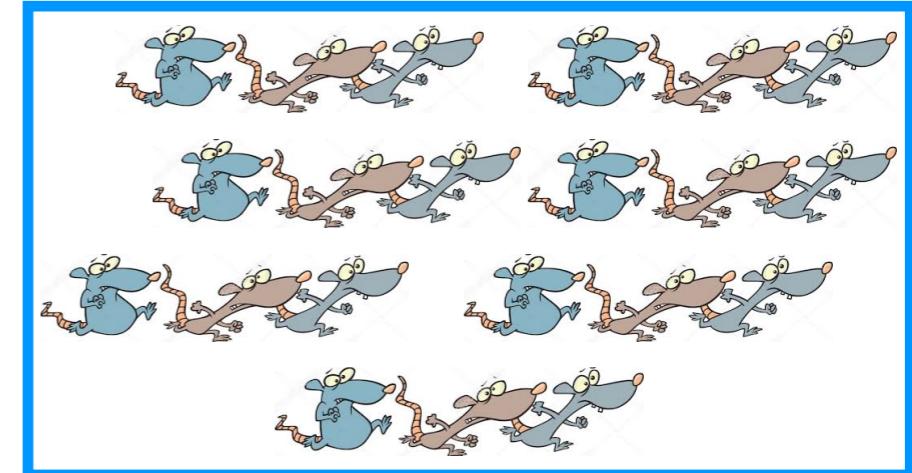
geograficamente próximas

Integração entre os caracteres e a resposta evolutiva

R. hipoteticus população A



R. hipoteticus população B



Fitness of multidimensional phenotypes in dynamic adaptive landscapes

Daniel C. Laughlin¹ and Julie Messier²

¹ Environmental Research Institute and School of Science, University of Waikato, Private Bag 3105, Hamilton 3240, New Zealand

² Ecology and Evolutionary Biology, University of Arizona, 1041 E. Lowell Street, Tucson, AZ 85721, USA

Phenotypic traits influence species distributions, but ecology lacks established links between multidimensional phenotypes and fitness for predicting species responses to environmental change. The common focus on single traits rather than multiple trait combinations limits our understanding of their adaptive value, and intraspecific trait covariation has been neglected in ecology despite its importance in evolutionary theory and its likely impact on species distributions. Here, we extend

Direção e o ritmo da resposta evolutiva

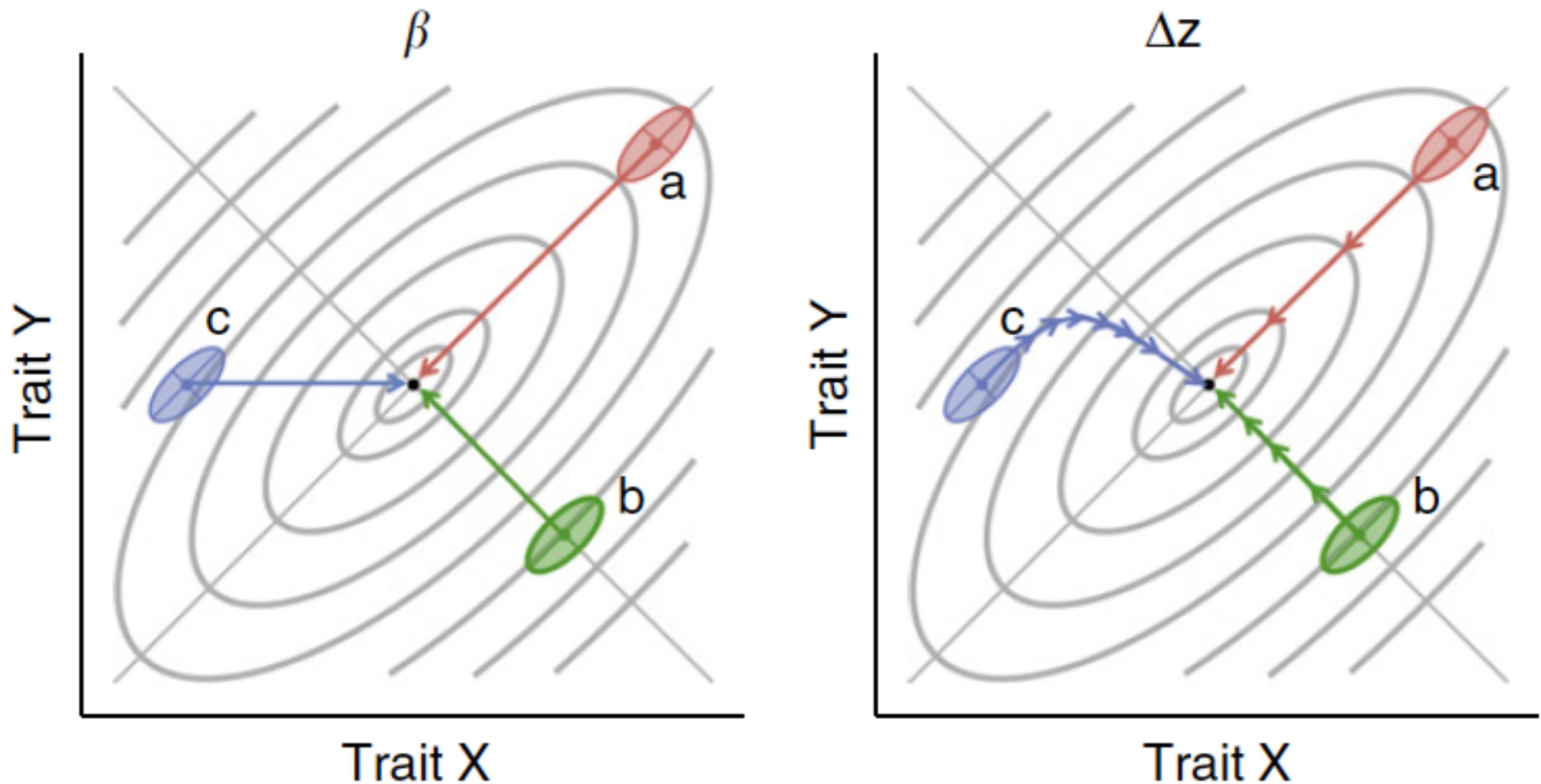


Figura adaptada de Arnold et al (2001)

Linha de menor resistência evolutiva

Adaptive Radiation Along Genetic Lines of Least Resistance

Author(s): Dolph Schlüter

Source: *Evolution*, Vol. 50, No. 5 (Oct., 1996), pp. 1766–1774

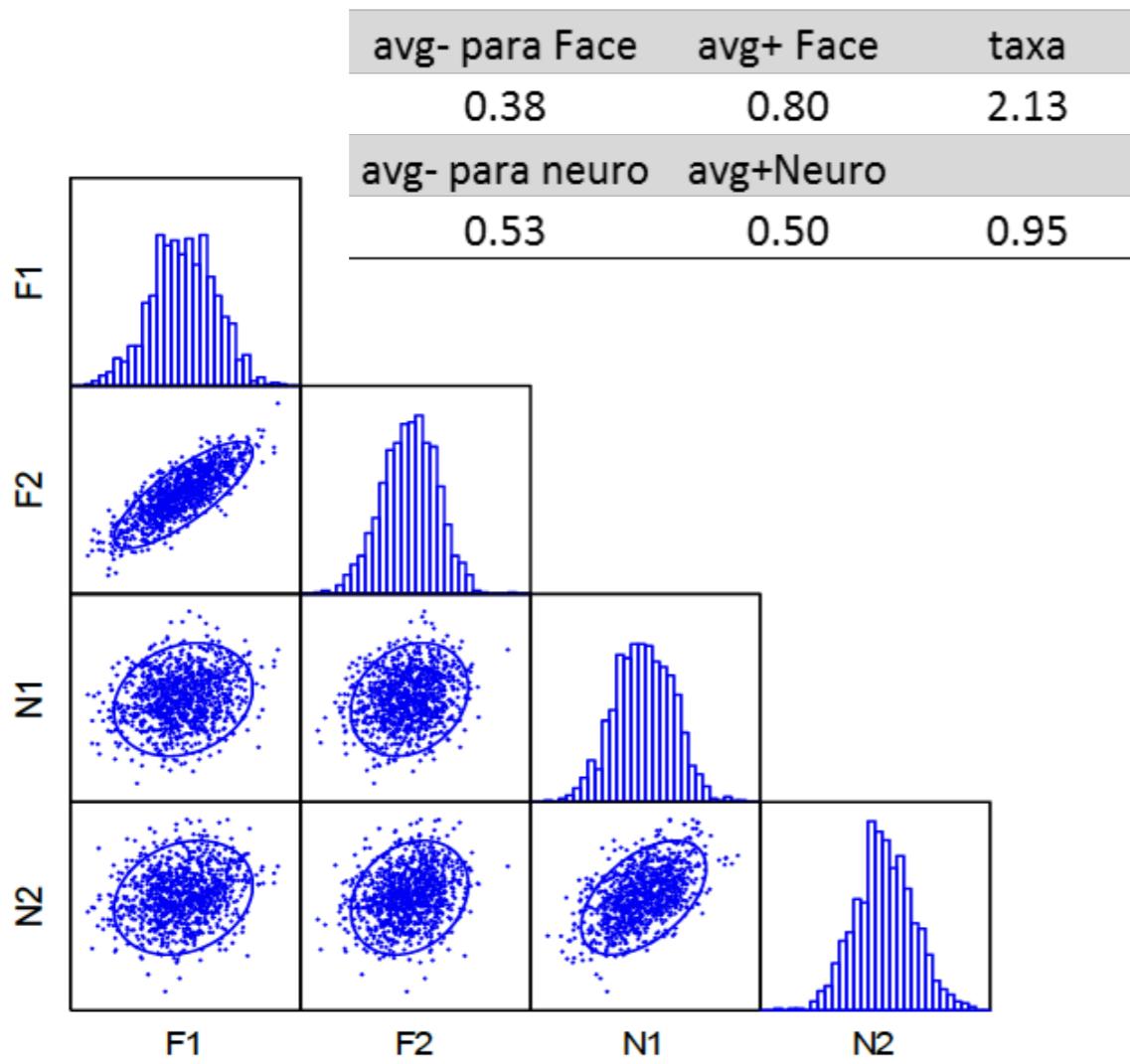
"Se há uma dimensão com muita variação, ela deve agir como uma restrição evolutiva sob certas condições para a mudança evolutiva daquelas populações..."

impacto do eixo de maior variação na mudança evolutiva

Espécie A

CP/Caracteres	F1	F2	N1	N2	Autovalores
CP1	0.57	0.57	0.42	0.42	2.17
CP2	-0.42	-0.42	0.57	0.57	1.13
CP3	0.00	0.00	-0.71	0.71	0.50
CP4	0.71	-0.71	0.00	0.00	0.20

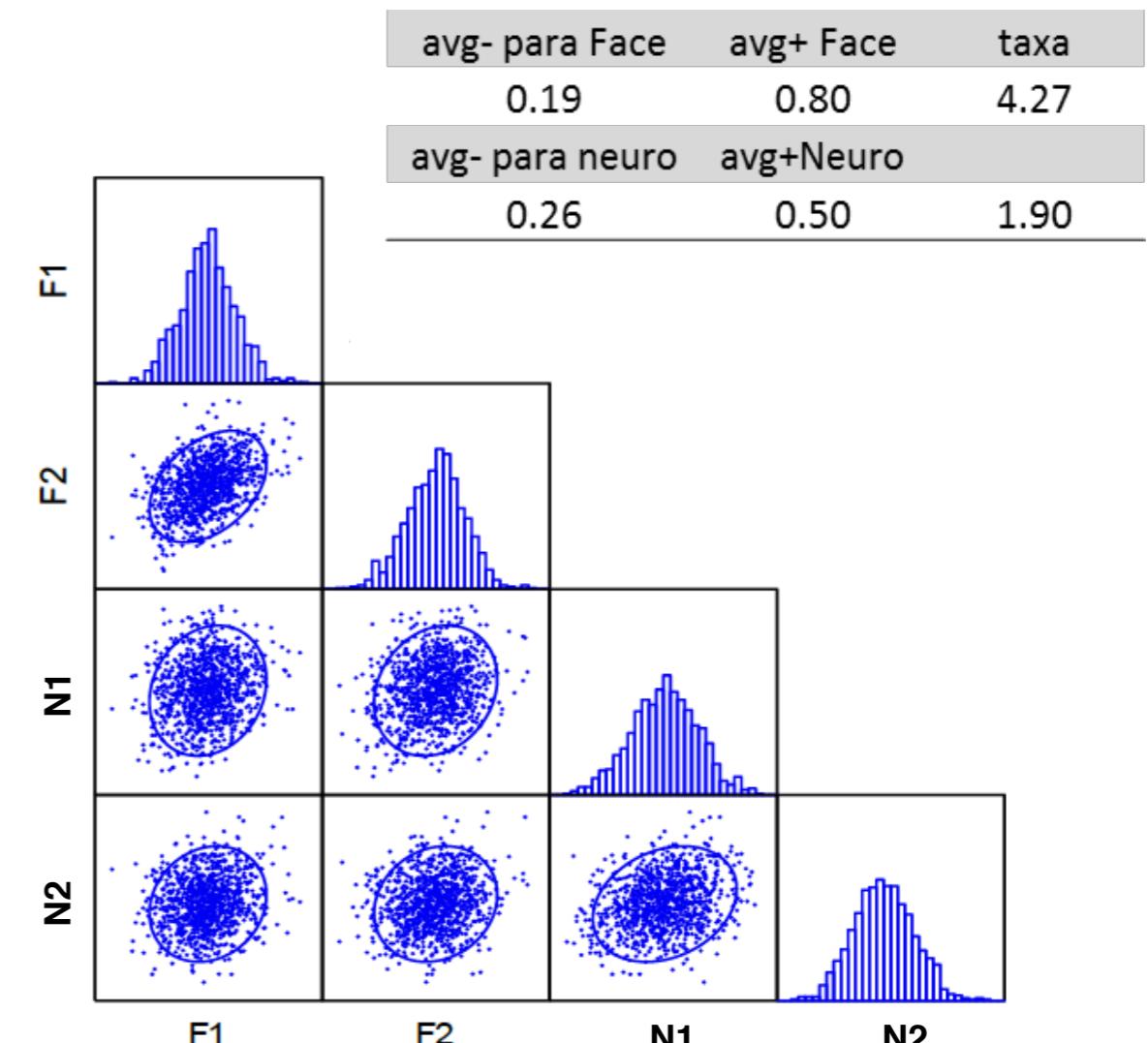
Caracteres	F1	F2	N1	N2
F1	1.00			
F2	0.80	1.00		
N1	0.20	0.20	1.00	
N2	0.20	0.20	0.50	1.00



Espécie B

CP/Caracteres	F1	F2	N1	N2	Autovalores
CP1	0.57	0.57	0.42	0.42	1.59
CP2	-0.42	-0.42	0.57	0.57	1.06
CP3	0.00	0.00	-0.71	0.71	0.75
CP4	0.71	-0.71	0.00	0.00	0.60

Caracteres	F1	F2	N1	N2
F1	1.00			
F2	0.40	1.00		
N1	0.13	0.13	1.00	
N2	0.13	0.13	0.25	1.00



Estatísticas utilizadas

Measuring and comparing evolvability and constraint in multivariate characters

J. EVOL. BIOL. **21** (2008) 1201–1219

T. F. HANSEN*† & D. HOULE†

**Department of Biology, Center for Ecological and Evolutionary Synthesis, University of Oslo, Oslo, Norway*

†*Department of Biological Science, Florida State University, Tallahassee, FL, USA*

Aula Prática

F1000Research

EvoIQG - An R package for evolutionary quantitative genetics

Diogo Melo¹, Guilherme Garcia¹, Alex Hubbe², Ana Paula Assis¹, Gabriel Marroig¹

¹Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil

²Departamento de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brazil

Evolvabilidade: origens do conceito

- Biologia evolutiva do desenvolvimento "evo devo";
- Introduzido à genética quantitativa por Houle (1992):
"expected response to selection"

Evolvabilidade

- potencial de uma população de evoluir em direção à seleção;
- tendência intrínseca dos organismos de produzir nova variação (Wagner e Altenberg, 1996)

Evolvabilidade e Modularidade

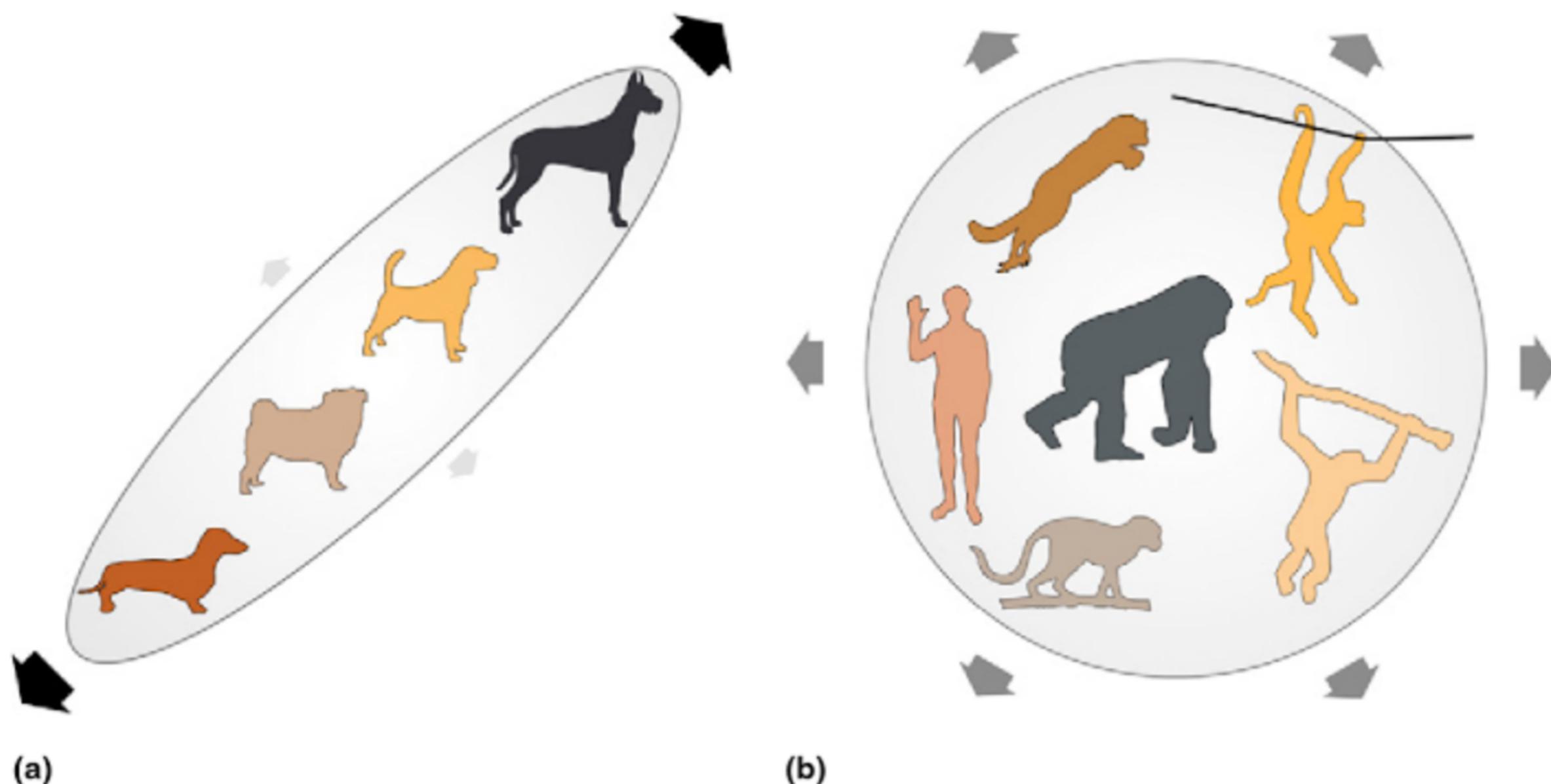


Figura adaptada de Klingenberg (2010)

Evolvabilidade

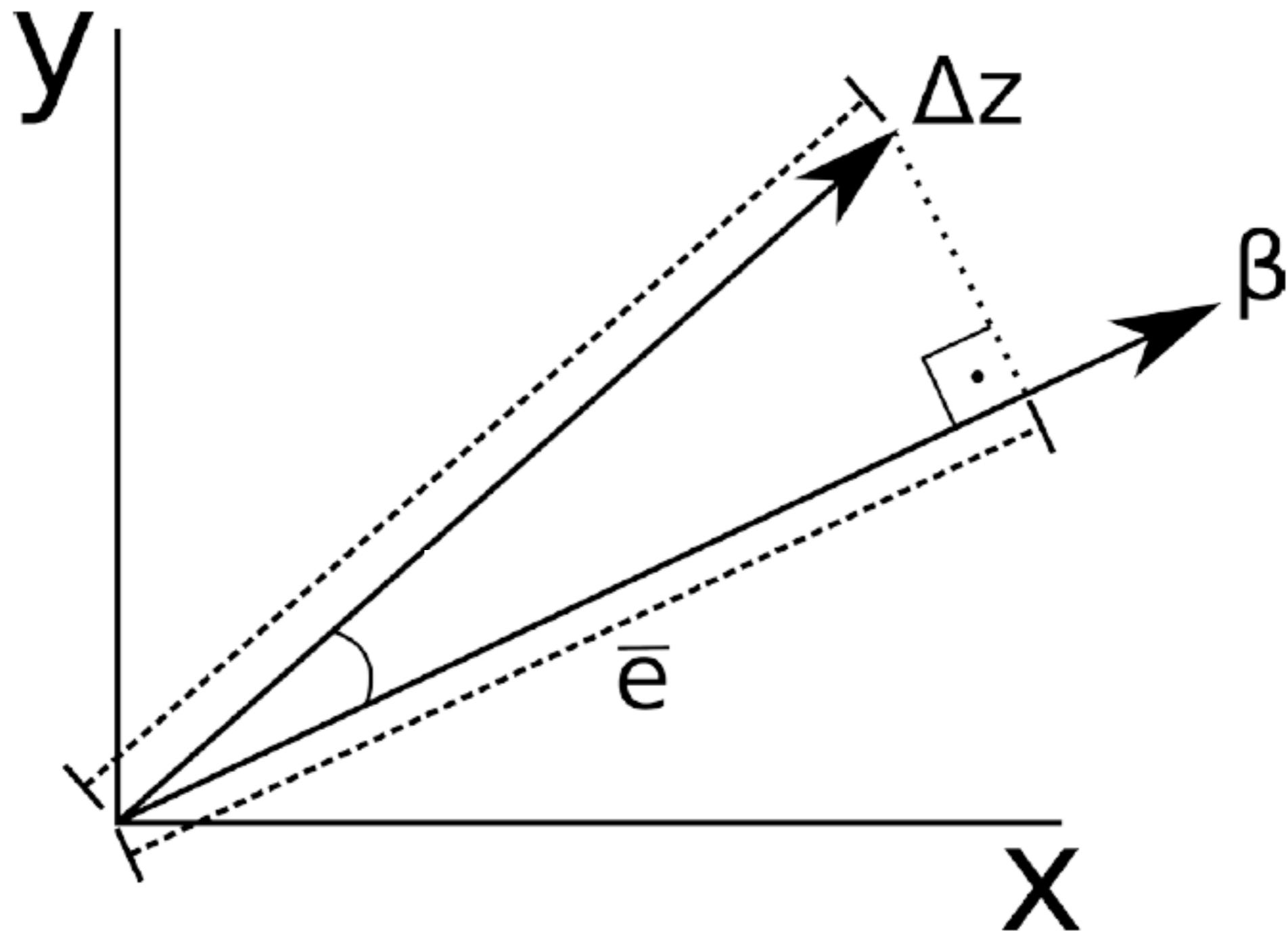
- projeção média da resposta aos gradientes de seleção particular;
- variação disponível de uma população na direção de um gradiente de seleção

$$\bar{e} = E[\langle \mathbf{G}\beta, \beta \rangle]_{\beta}$$

Evolvabilidade

$$\bar{e} = E[\langle \mathbf{G}\beta, \beta \rangle]_{\beta}$$

projeção do vetor resposta sobre o vetor de seleção



Flexibilidade

- correlação entre a resposta evolutiva e o gradiente de seleção;

Flexibilidade

- média do coseno do ângulo formado entre os gradientes de seleção aleatórios e as correspondentes respostas à seleção;

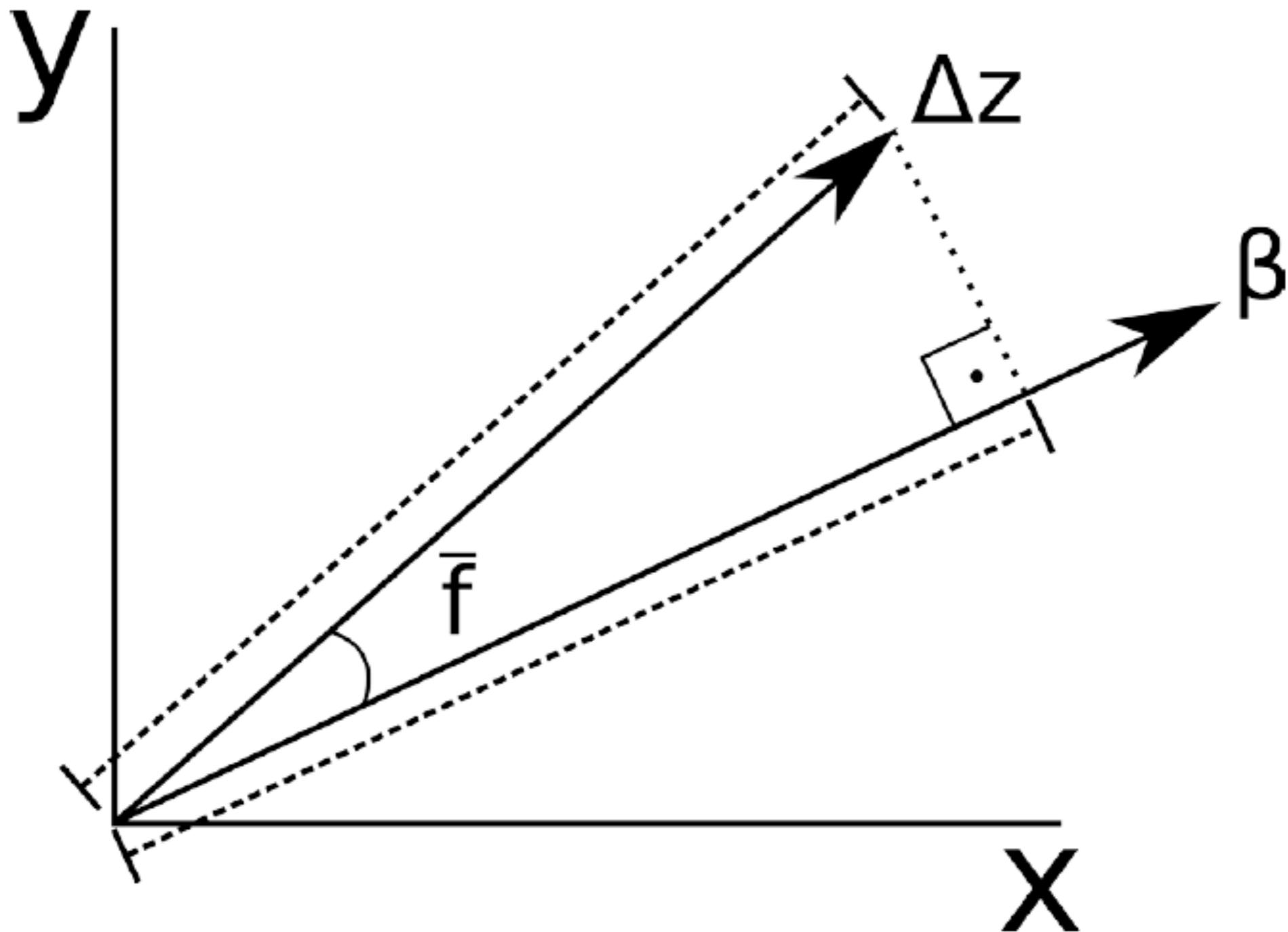
$$\bar{f} = E[\cos(\mathbf{G}\beta, \beta)]_{\beta}$$

quanto a resposta à seleção está alinhada com o gradiente de seleção

Flexibilidade

$$\bar{f} = E[\cos(\mathbf{G}\beta, \beta)]_\beta$$

ângulo formado entre entre o gradiente de seleção e a resposta



Flexibilidade

β

matrizes P

Δz

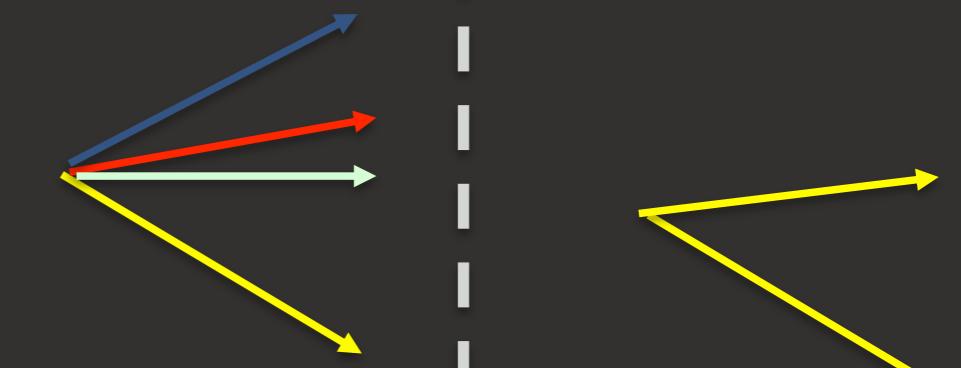
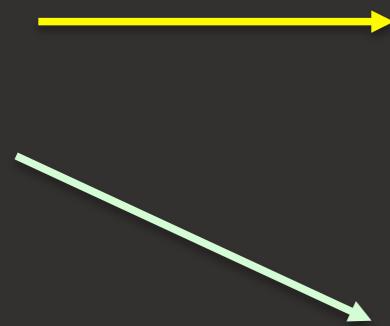
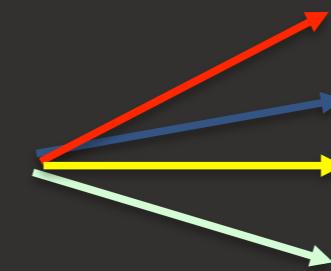
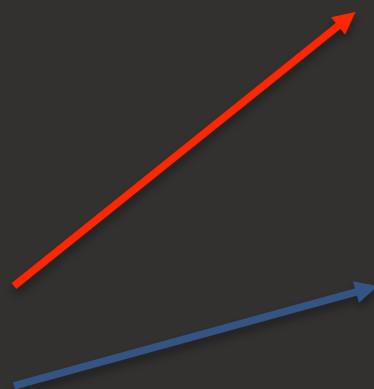
$\Delta z \times \beta$



Desmodus rotundus



Phyllostomus hastatus



Restrição

- quaisquer limitações no curso ou no resultado da evolução (Arnold, 1992); o quanto restrita uma matriz está em responder na direção em que a seleção atua (Marroig et al., 2009)

Restrição

- correlação média entre o vetor resposta aos gradientes de seleção e o primeiro componente principal da matriz;

$$E \left[\cos(\mathbf{G}\beta, \Lambda_1^G) \right]_{\beta}$$

o quão restrita uma matriz está em responder na direção em que a seleção atua (Marroig et al., 2009)

Restrição

β

matrizes P

Δz

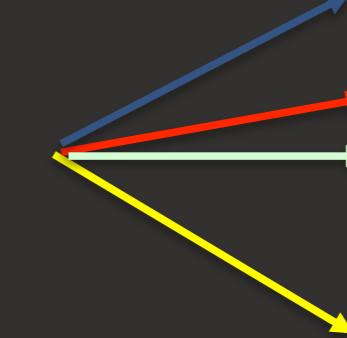
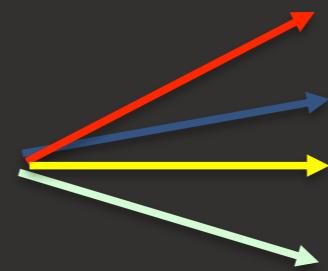
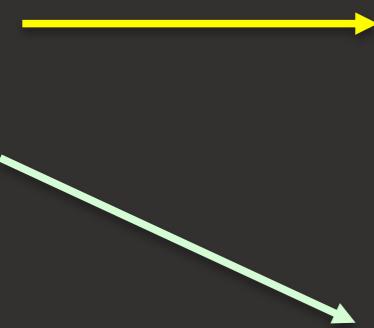
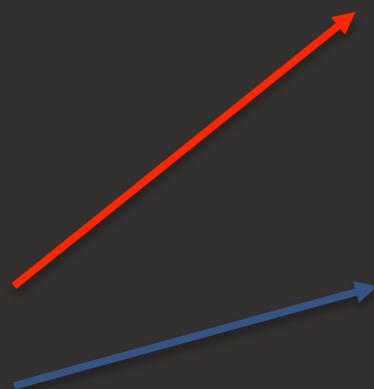
$\Delta z \times p_{max}$



Desmodus rotundus



Phyllostomus hastatus



Respondabilidade

- quanto rapidamente a média da população vai mudar sob seleção direcional

Respondabilidade

- norma do vetor de resposta evolutiva

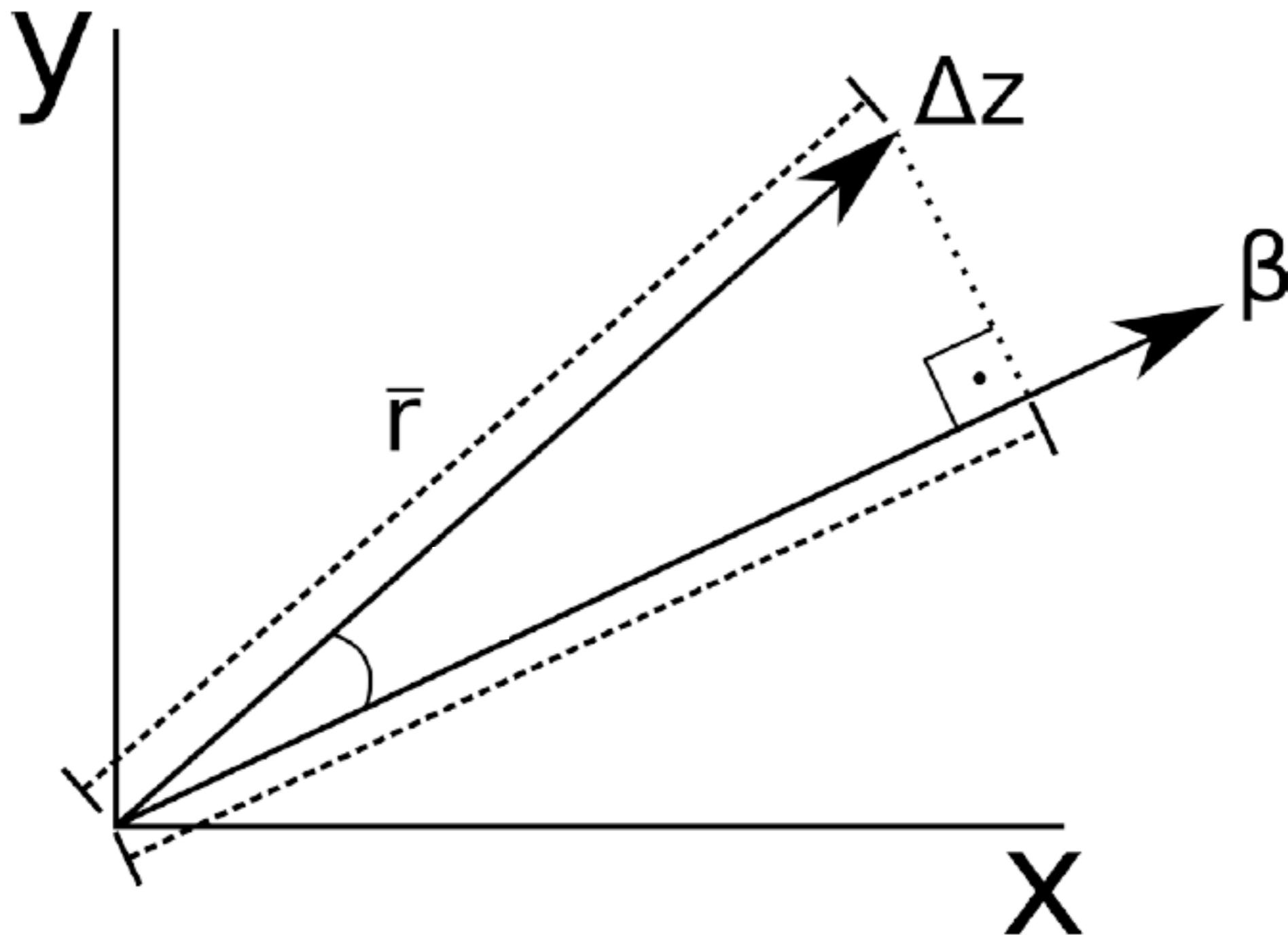
$$\bar{r} = E[\|\mathbf{G}\beta\|]_{\beta}$$

medida da magnitude da mudança evolutiva

Respondabilidade

$$\bar{r} = E[\|\mathbf{G}\beta\|]_{\beta}$$

comprimento da resposta a seleção



Estudos de caso: mamíferos

(1) padrões de correlação são muito conservados na maioria dos táxons;

Estudos de caso: mamíferos

- (1) padrões de correlação são muito conservados na maioria dos táxons;
- (2) magnitude de integração mostrou-se bastante plástica;

Estudos de caso: mamíferos

- (1) padrões de correlação são muito conservados na maioria dos táxons;
- (2) a distribuição dos valores de magnitude de integração mostrou-se bastante ampla;
- (3) principal fator afetando a evolução da magnitude é a porcentagem de variação associada ao PC1;

Estudos de caso: mamíferos

- (1) padrões de correlação são muito conservados na maioria dos táxons;
- (2) magnitude de integração mostrou-se bastante plástica;
- (3) principal fator afetando a evolução da magnitude é a porcentagem de variação associada ao PC1;
- (4) espécies com asssociações mais altas entre os caracteres craniais apresentam maior restrição evolutiva;

Estudos de caso: mamíferos

- (1) padrões de correlação são muito conservados na maioria dos táxons;
- (2) magnitude de integração mostrou-se bastante plástica;
- (3) principal fator afetando a evolução da magnitude é a porcentagem de variação associada ao PC1;
- (4) espécies com associações mais altas entre os caracteres cranianos apresentam maior restrição evolutiva;
- (5) espécies com associações mais baixas entre os caracteres cranianos apresentam maior flexibilidade evolutiva

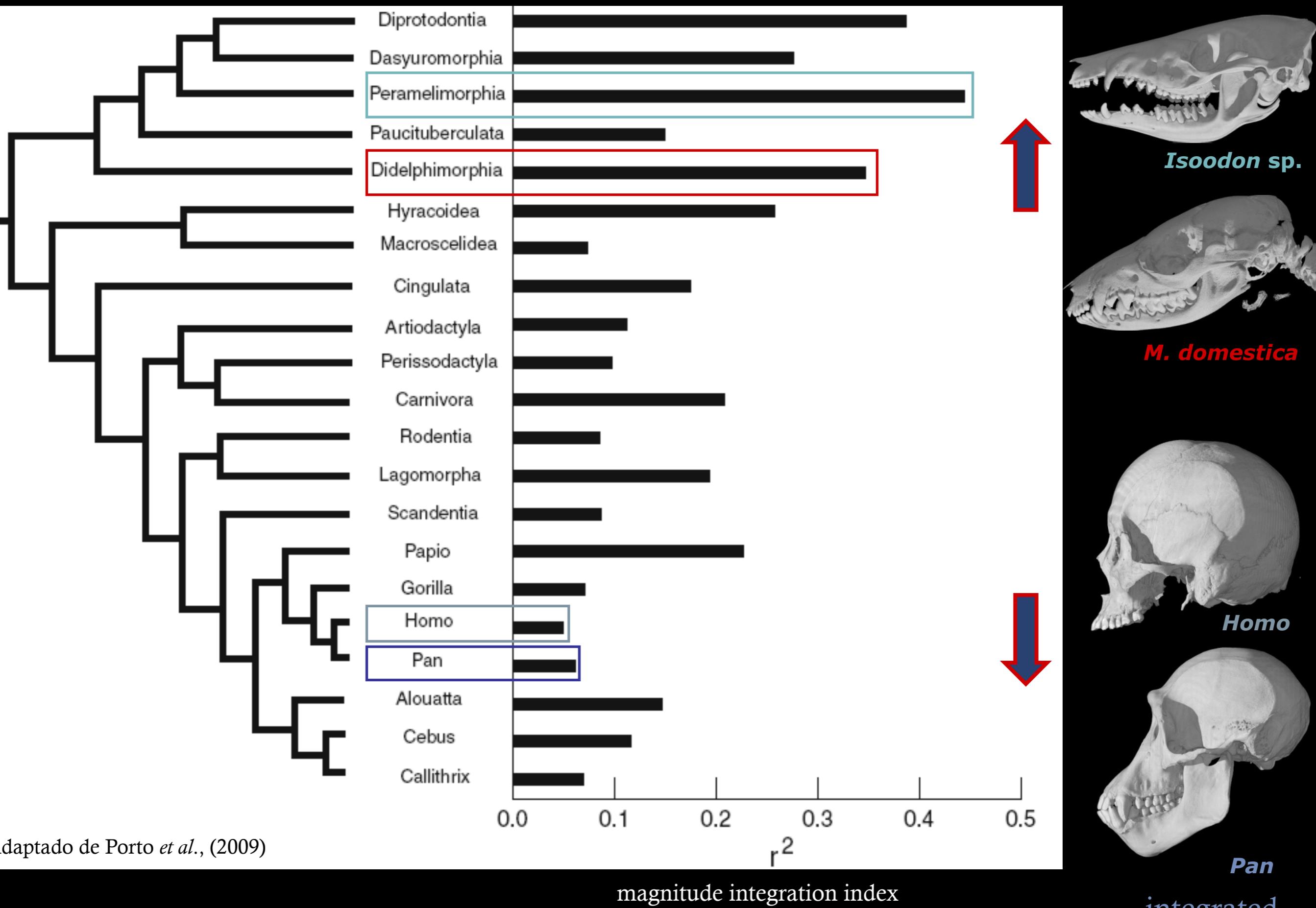
Estudios de caso: mamíferos

Evol Biol (2009) 36:136–148

The Evolution of Modularity in the Mammalian Skull II: Evolutionary Consequences

Gabriel Marroig · Leila T. Shirai · Arthur Porto ·
Felipe B. de Oliveira · Valderes De Conto

+ integrated

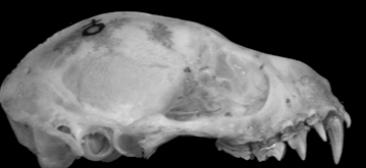
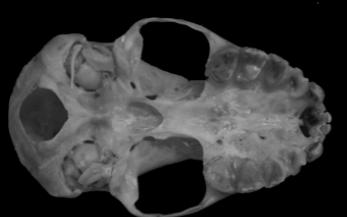
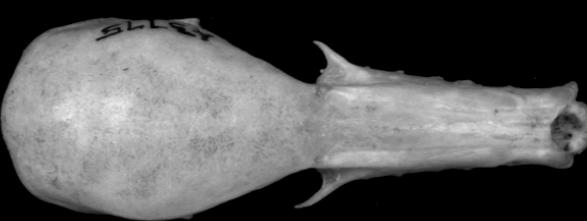
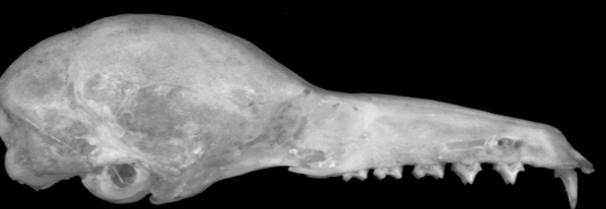
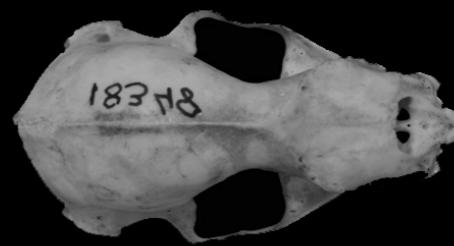


Adaptado de Porto *et al.*, (2009)

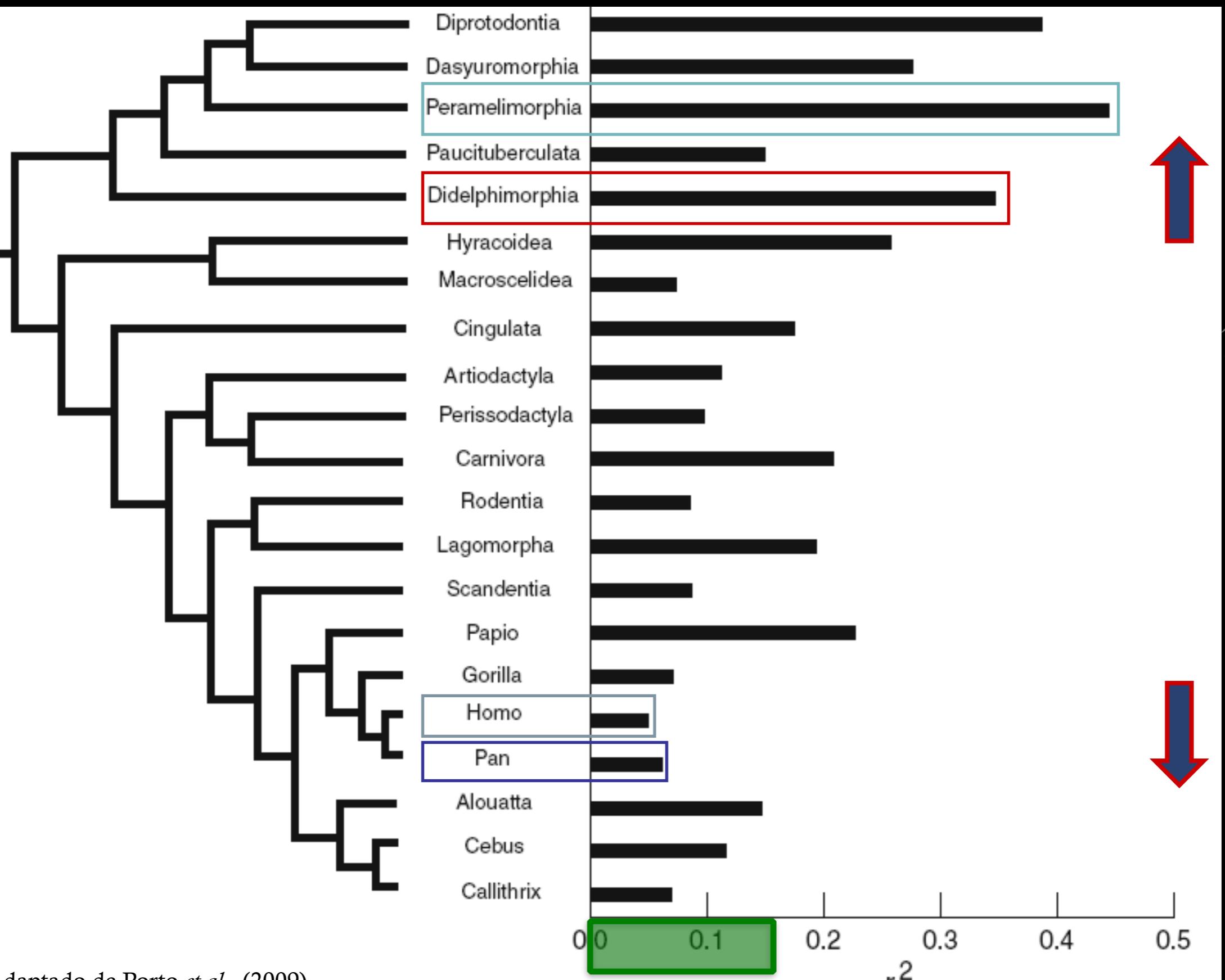
Fotos: DigiMorph.org

- integrated





+ integrados

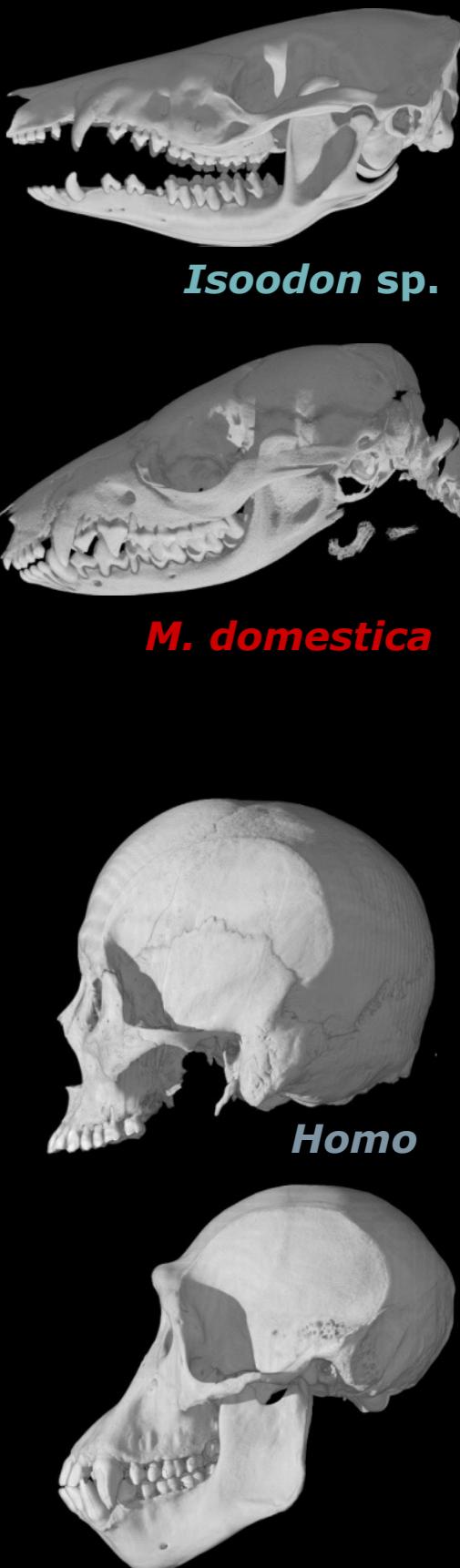


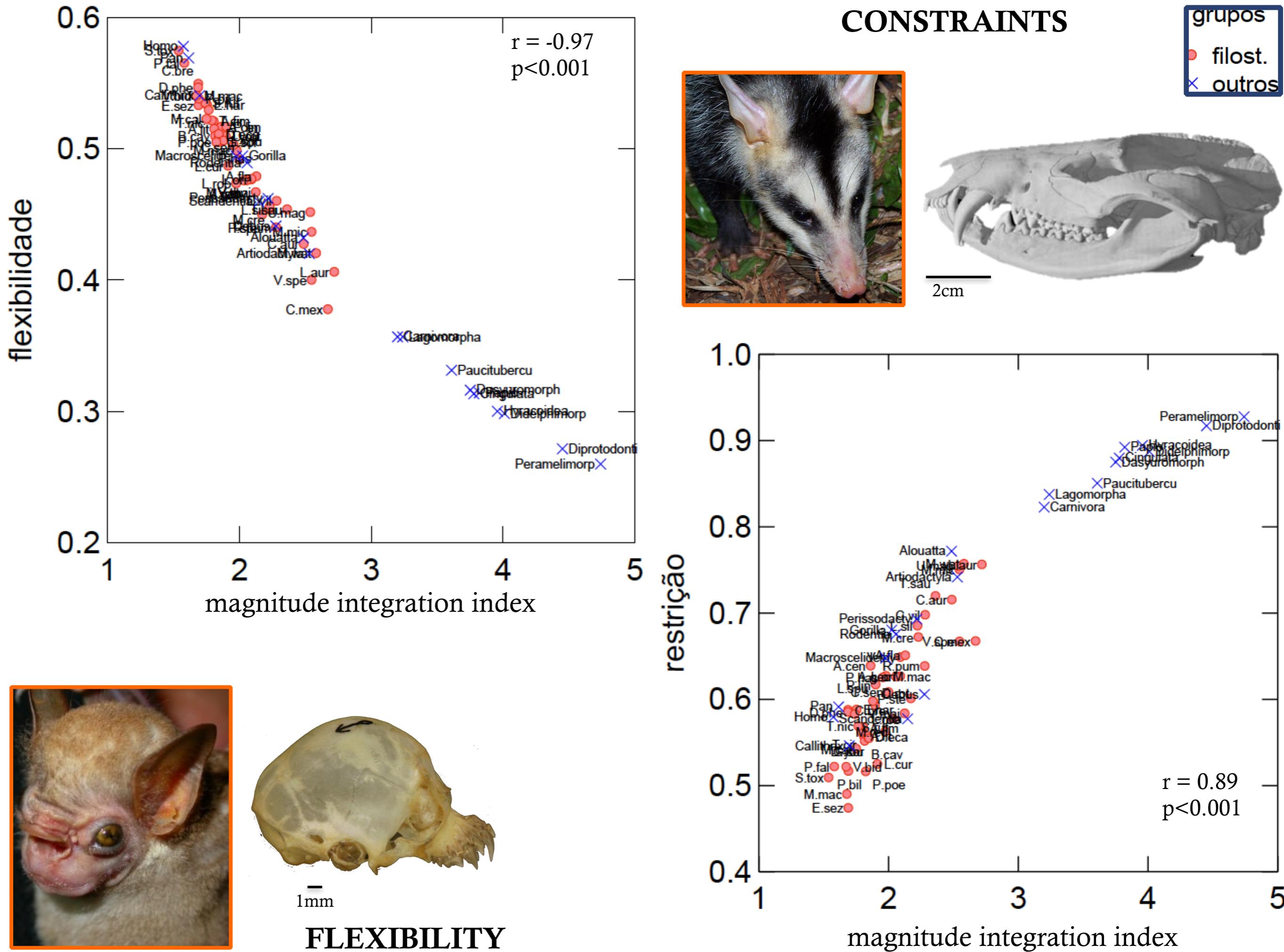
Adaptado de Porto *et al.*, (2009)

índice de magnitude geral de integração

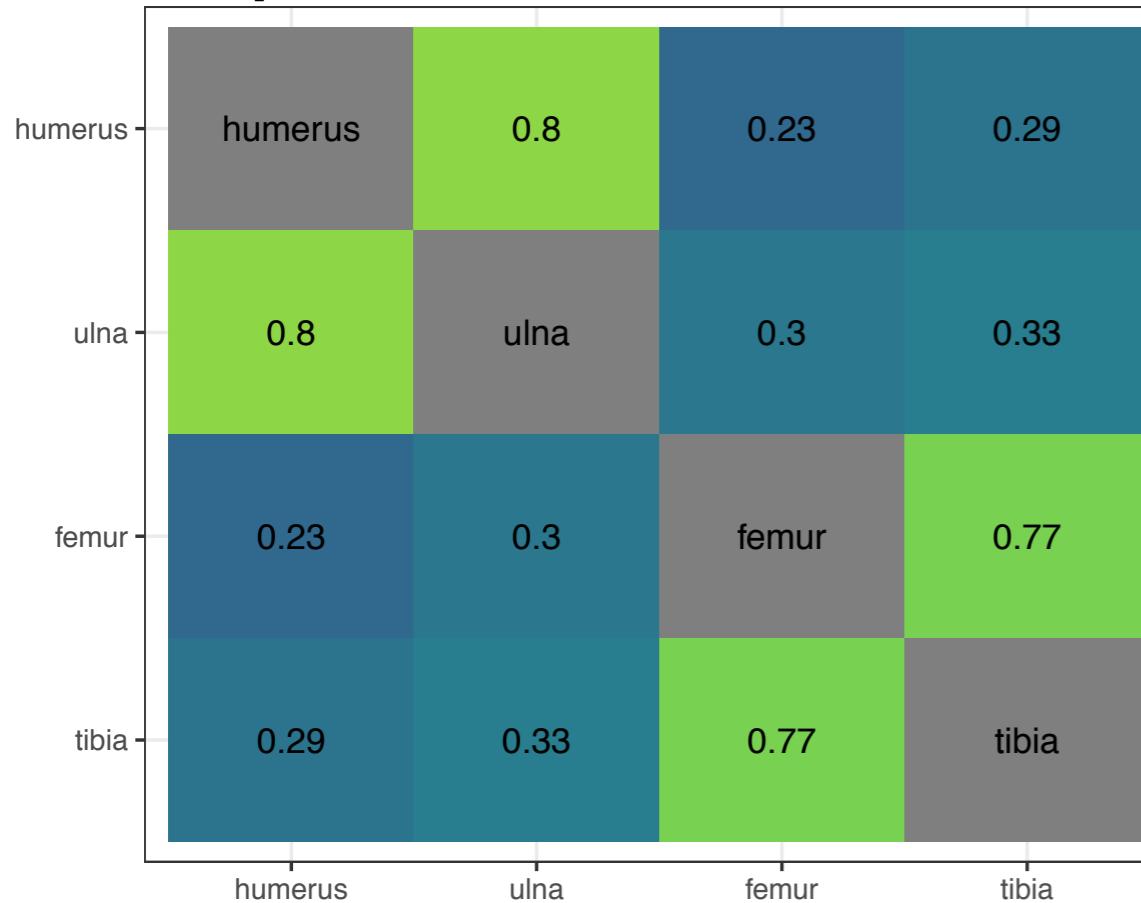
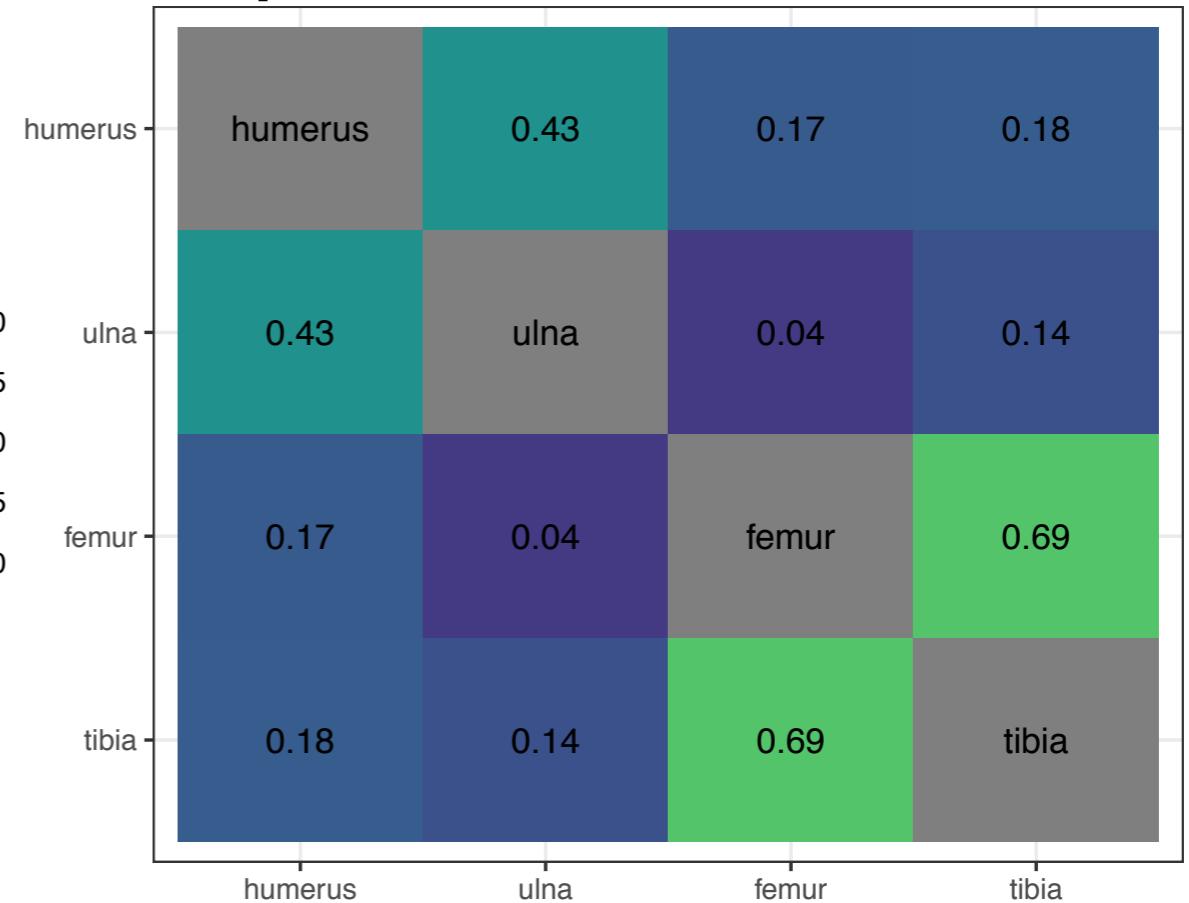
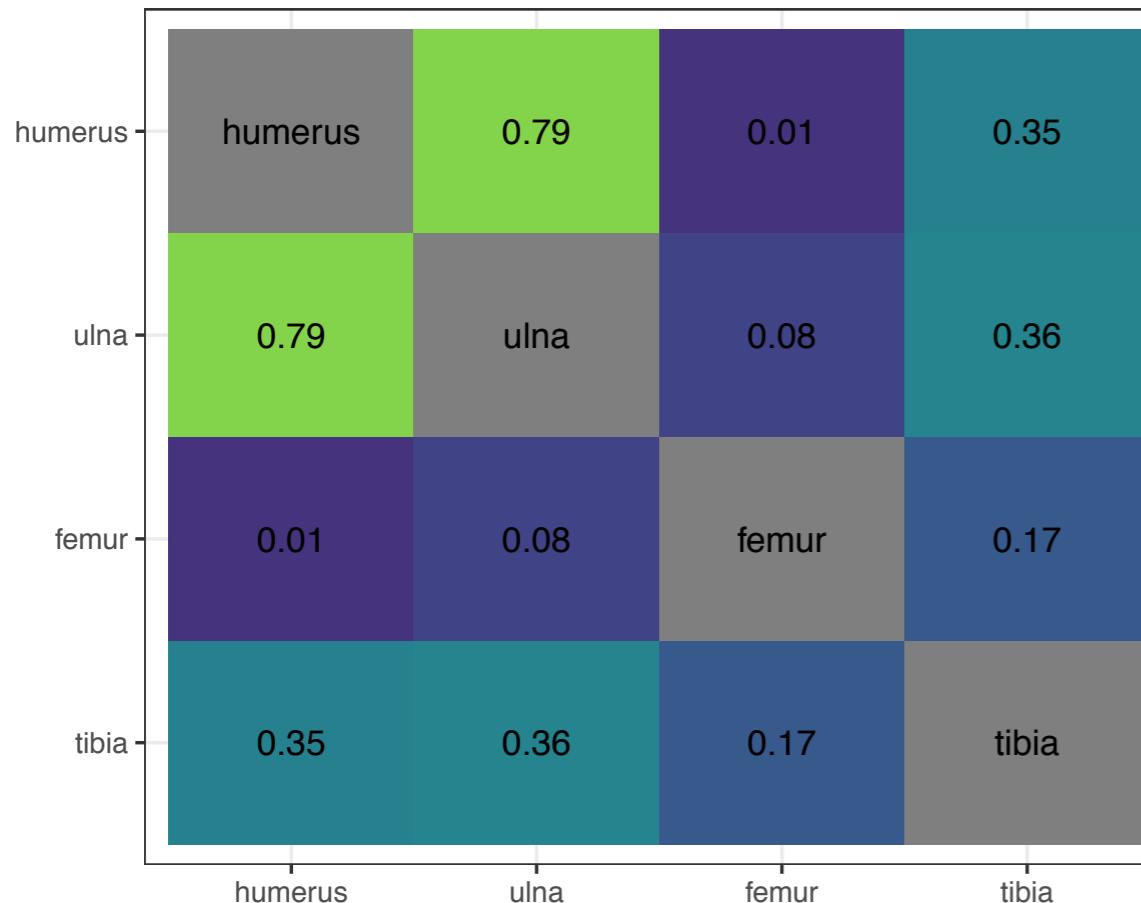
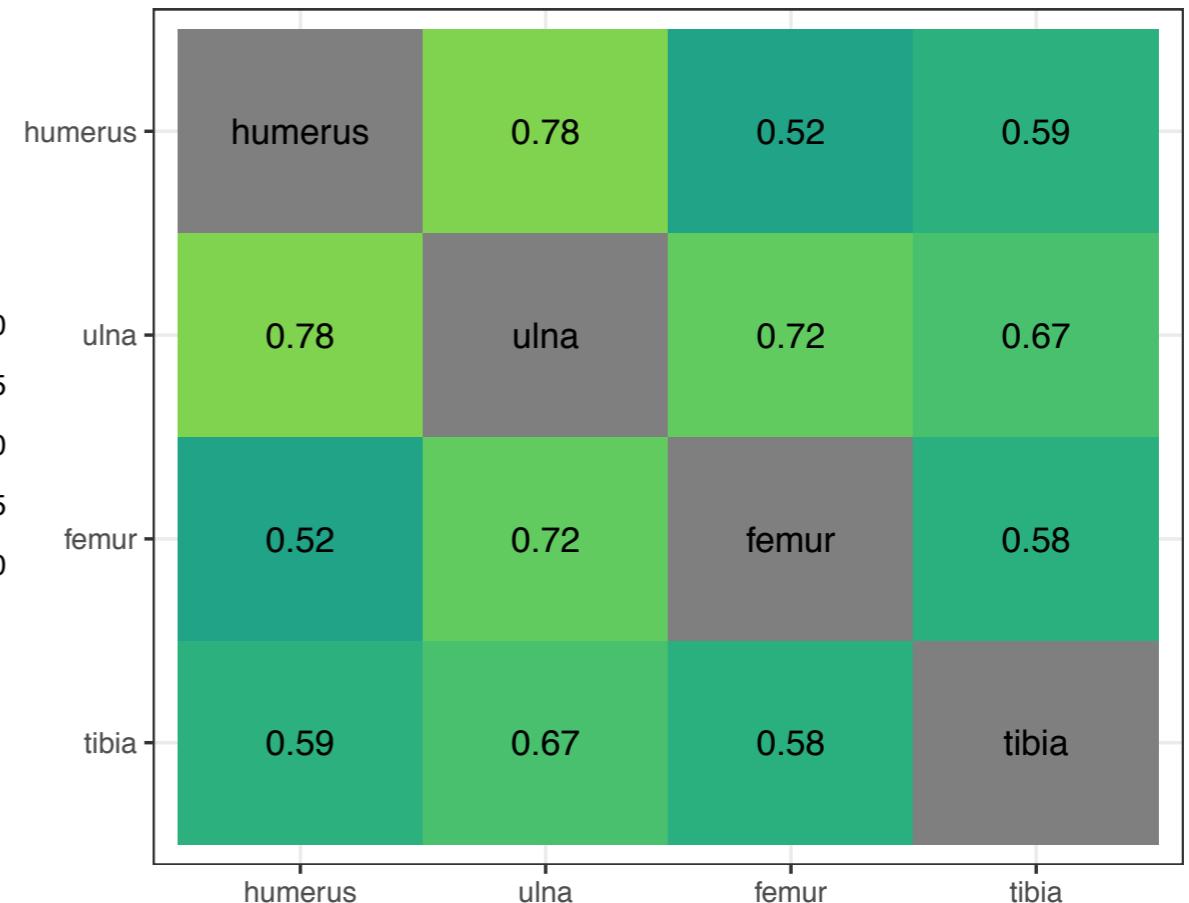
Fotos: DigiMorph.org

- integrados



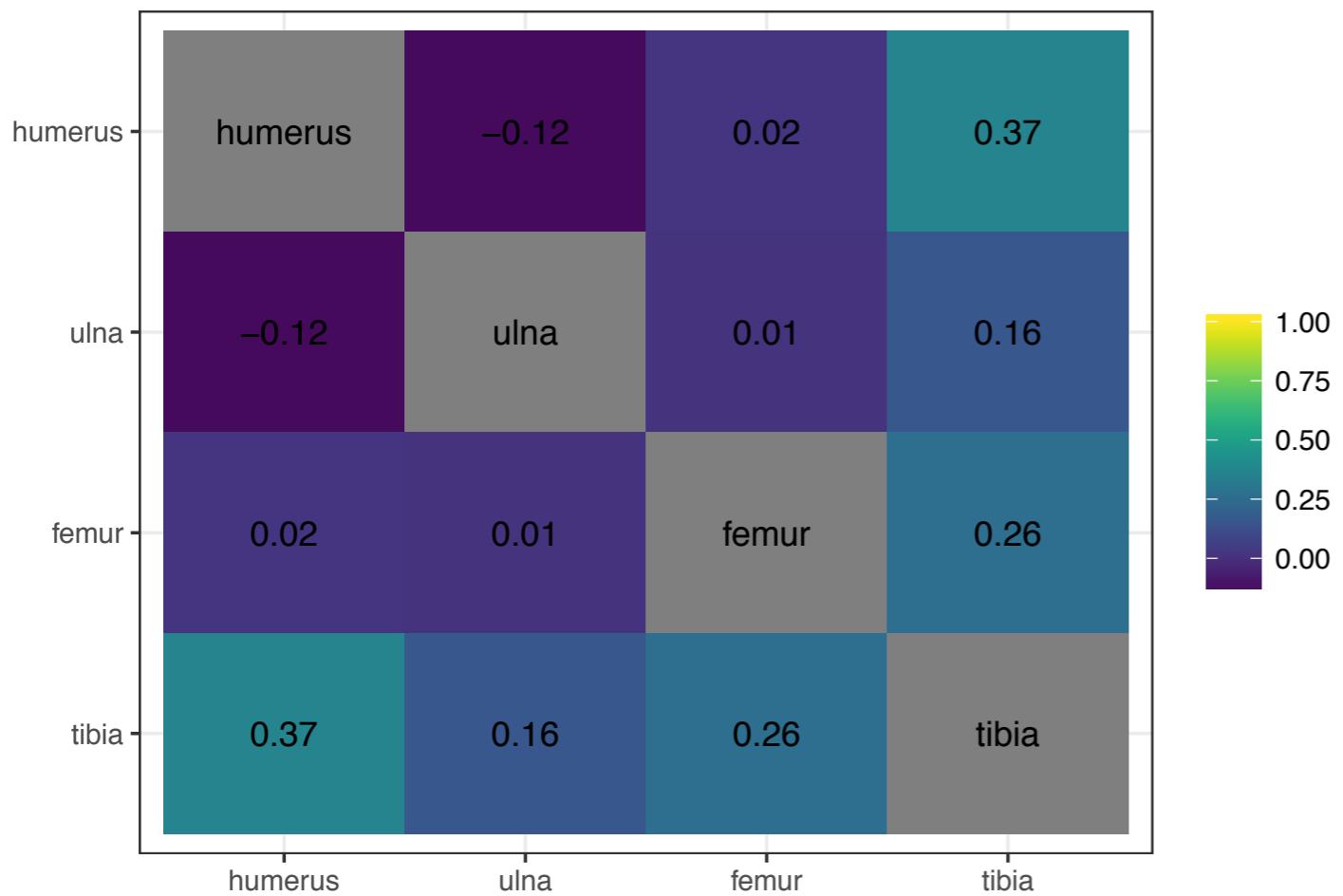


Aula Prática

Espécie A**R2= 0.26****Espécie B****R2= 0.13****Espécie C****R2= 0.15****Espécie D****R2= 0.42**

Espécie E

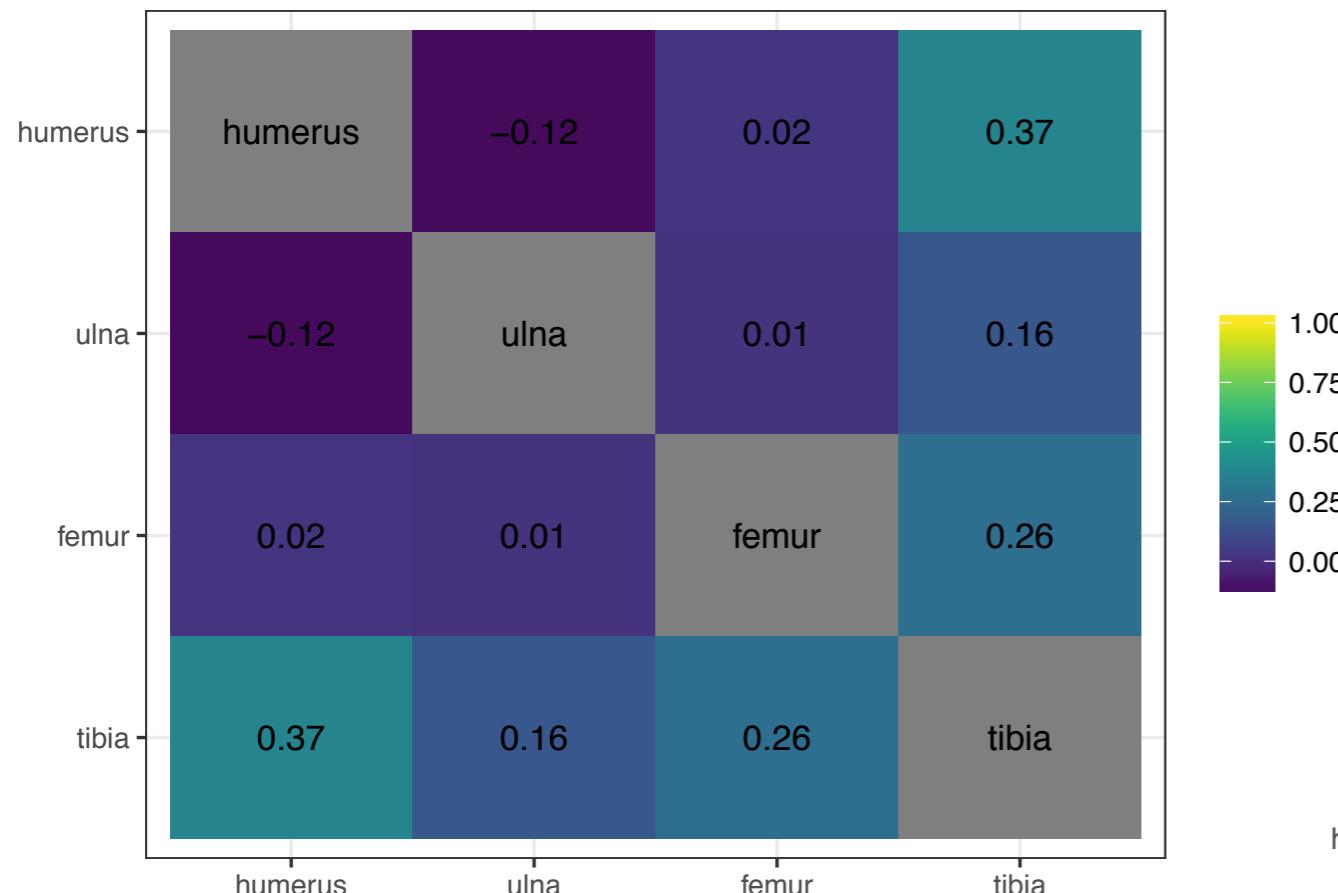
R2= 0.04



Consequências Evolutivas: expectativas

Espécie E

R²= 0.04



Espécie D

R²= 0.42

