

*Fundamentos de uma teoria da  
sistemática filogenética, Willi Hennig  
e os princípios e conceitos gerais da  
Sistemática Filogenética*

*5920818 - Evolução e Sistemática Biológica*

Dept. Biologia – FFCLRP - USP

***Flávio A. Bockmann***

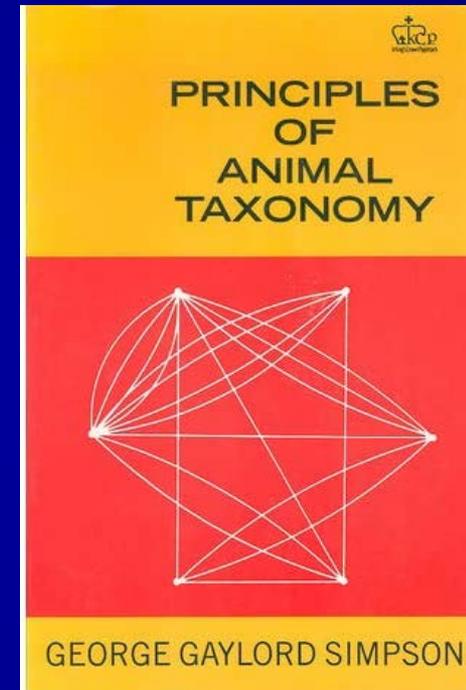
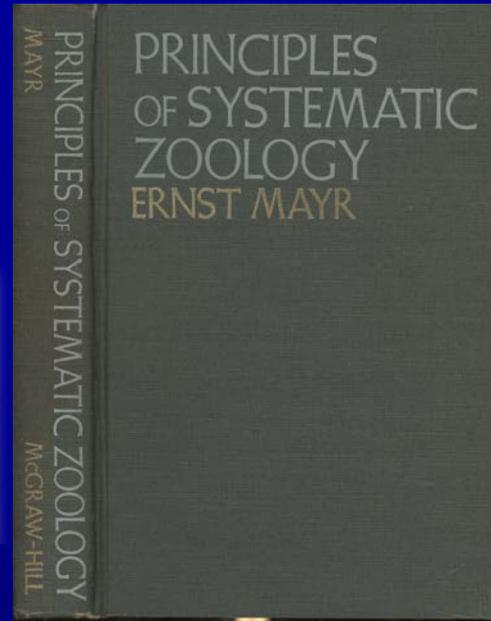
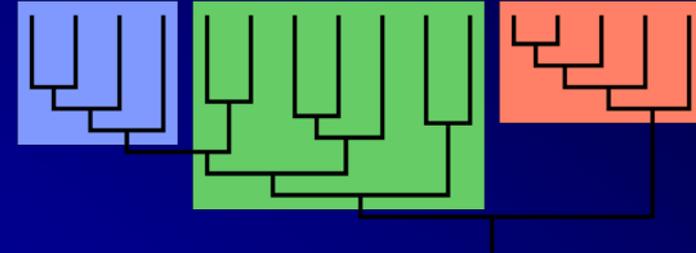
***2023***

**Problema: como resolver (ou minimizar) a subjetividade na inferência de filogenias e mesmo das classificações?**

**Resposta: estabelecimento de uma base teórica e metodologias mais robustas**

# Taxonomia evolutiva ou gradismo

- “*Grade*” - táxon unido por um nível de complexidade morfológica ou fisiológica, em oposição ao “clade” (Julian Huxley - 1957)
- “*Grade*”- definido por uma característica geral, de “importância”, determinada pelo especialista
- Ancestral não faz parte do “grade” (e.g., Reptilia, Pisces); um grupo dá origem ao outro; o ancestral é real



# Taxonomia evolutiva ou gradismo



Angiospermas



Gimnospermas



Pteridófitas



Briófitas

“Graus” ou  
“Grados”  
evolutivos

# Taxonomia evolutiva ou gradismo



Aves

Mamíferos



Répteis

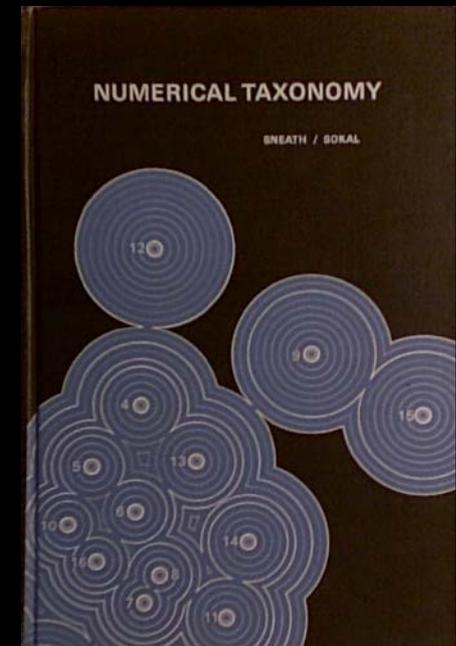
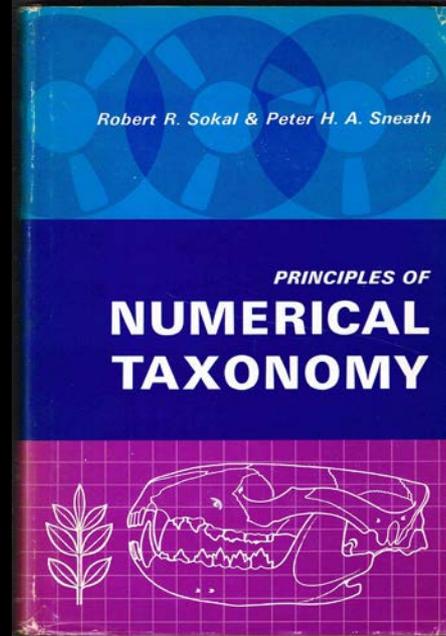


Anfíbios

“Graus” ou  
“Grados”  
evolutivos

# Fenética ou Taximetria => taxonomia numérica

- Classificar organismos com base na **semelhança global**, independentemente de sua **filogenia** ou **relação evolutiva**;
- Aumento exponencial na complexidade de dados - acúmulo de informação anatômica e sobre a diversidade biológica;
- Insatisfação com abordagens tradicionais;
- Popularização do uso de computadores e de algoritmos computacionais: UPGMA, Neighbor-Joining (NJ), Minimal Evolution...=> Construção de tabelas (matrizes) de similaridade (proporções de presenças vs. ausências)



# Fenética ou Taximetria => taxonomia numérica

## Fenética: matriz de similaridades

**Table 2** - Isoenzymatic profiles displayed by the *P. megistus* and *Dipetalogaster maxima* (outgroup) populations, corresponding zymodemes and electromorphs for isoenzyme G6PD.

Isoenzyme Population	GPI	PGM	NP <sup>1</sup>	NP <sup>2</sup>	MPI	DIA	ICD	FH	G6PD	6PGD	ME <sup>1</sup>	ME <sup>2</sup>	MDH	GOT <sup>1</sup>	GOT <sup>2</sup>	Zymo-deme	Electro-morph
Pr.Ara.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Ara.2	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Ara.3	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Ara.4	1	1	1	0	1	1/1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Lpm2	G6PD1
Pr.Ara.5	1	1	1	0	1	1/1	1	1	3	1	1	0	1	1	0	Lpm4	G6PD3
Pr.Ara.6	1	1	1	0	1	1/1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Lpm2	G6PD1
Pr.Cam.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	2	1	1	0	1	1	0	Lpm3	G6PD2
Pr.Cam.2	1	1	1	0	1	1/1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Lpm2	G6PD1
Pr.Rol.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	3	1	1	0	1	1	0	Lpm4	G6PD3
Pr.Rol.2	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Lon.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Fax.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Aru.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Nau.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	3	1	1	0	1	1	0	Lpm4	G6PD3
Pr.Pal.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Rbs.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Rbs.2	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Alt.1	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
Pr.Alt.2	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
MG	1	1	1	0	1	1/1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Lpm2	G6PD1
RS	1	1	1	0	1	1/1	1	1	3	1	1	0	1	1	0	Lpm4	G6PD3
SE	1	1	1	0	1	1/1	1	1	3	1	1	0	1	1	0	Lpm4	G6PD3
SC	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
SP	1	1	1	0	1	1/1	1	1	4	1	1	0	1	1	0	Lpm1	G6PD4
<i>D.maxima</i>	2	2	1	0	2	1/1	2	2	3	2	1	0	1	2	0	Lpm5	G6PD3

# Fenética: Fenograma (atenção: NÃO É UM CLADOGRAMA)

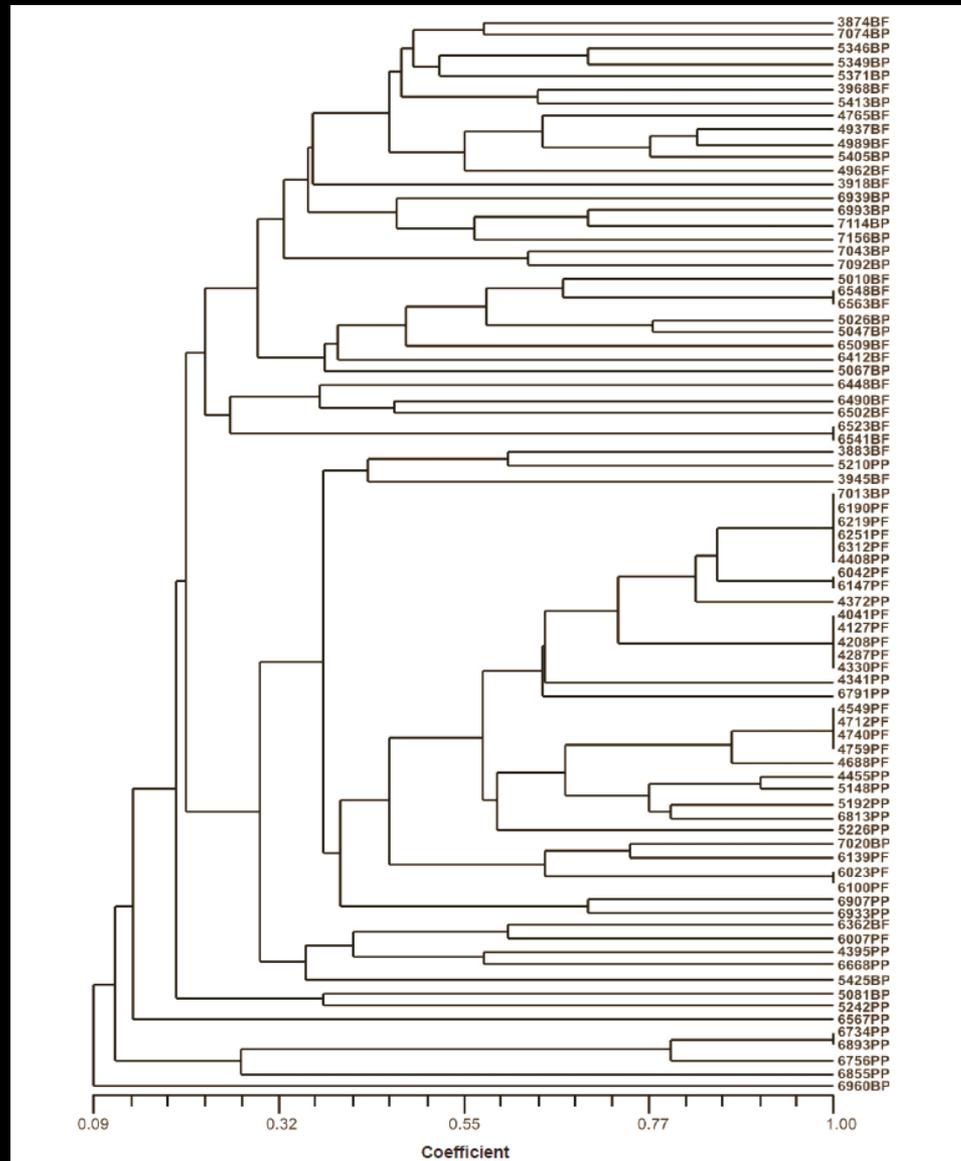


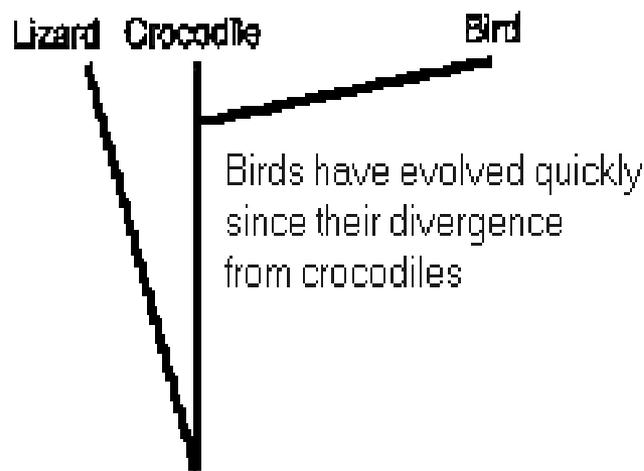
FIGURE 3 - Phenogram of 80 randomly selected isolates of *Magnaporthe oryzae* from leaves and panicles of rice cultivars BRS Bonaça and Primavera, generated by unweighted pair group method arithmetic mean (UPGMA) analysis. Co-phenetic correlation of the phenogram was 0.84. BF=BRS Bonaça leaf isolates; BP=BRS Bonaça panicle isolates; PF=Primavera leaf isolates; PP=Primavera panicle isolates.

# Fenética ou Taximetria => taxonomia numérica

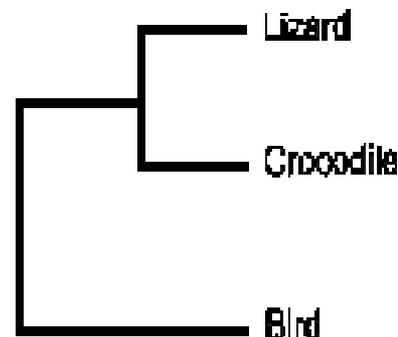
## Críticas ao uso da fenética para inferir filogenias:

- não há preocupação real em inferir filogenias, mas sim semelhanças totais
- os caracteres são usados não se importando se são novidades evolutivas (apomorfias) ou características “primitivas” (plesiomorfias)

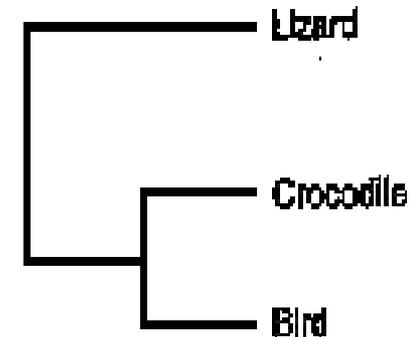
The Phenetic & Cladistic criteria of relationship differ if evolutionary rates are unequal



Phenetic



Cladistic



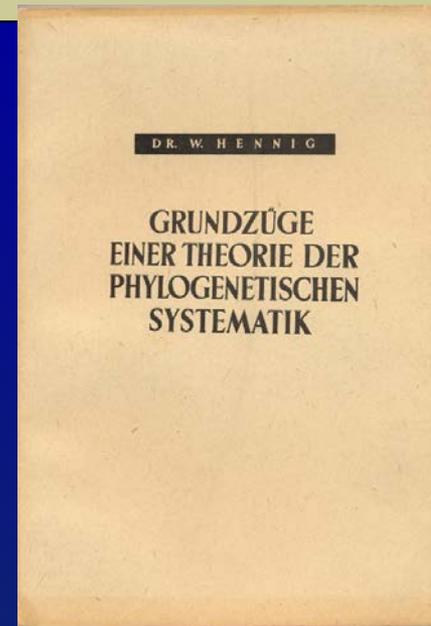
# Sistemática Filogenética

## Princípios gerais

- Relação hierárquica entre as **espécies** e seus **ancestrais (hipotéticos)**
- Descoberta dos diferentes níveis de universalidade dos atributos – Hennig cunhou os termos **sinapomorfia** e **simplesiomorfia**
- Diferentes escalas de relações evolutivas (**hologenéticas**): no mesmo indivíduo (**ontogenéticas - semaforontes**), entre indivíduos (**tocogenéticas**), entre espécies (**filogenéticas**)
- **Classificação** deve ser sempre baseada em **grupos monofiléticos** (compostos pelo ancestral direto e todos os seus descendentes); cunhou o termo **parafilia**
- **Princípio auxiliar de Hennig** – “parcimônia”



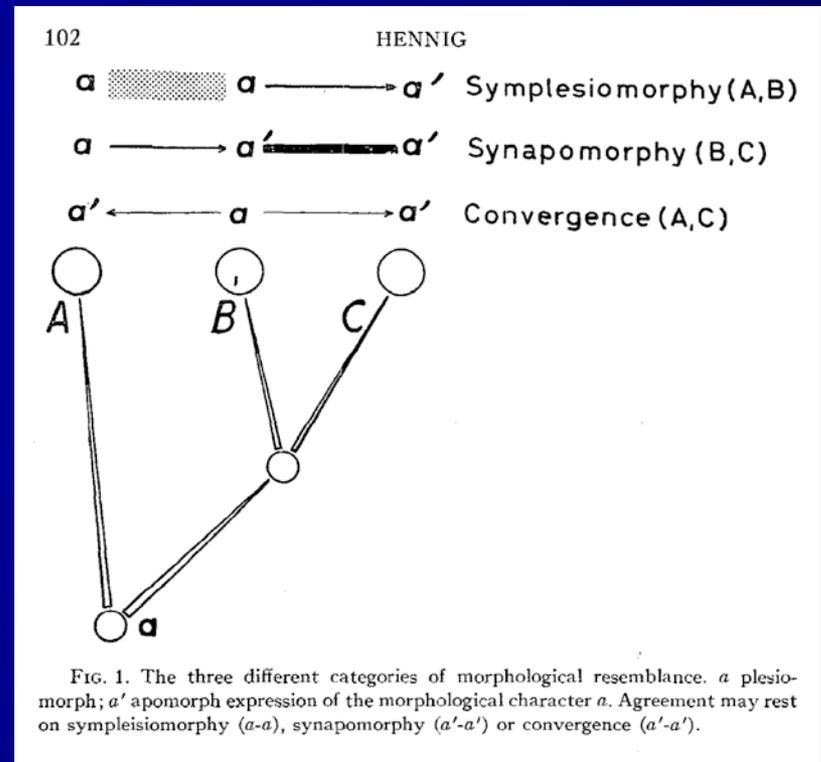
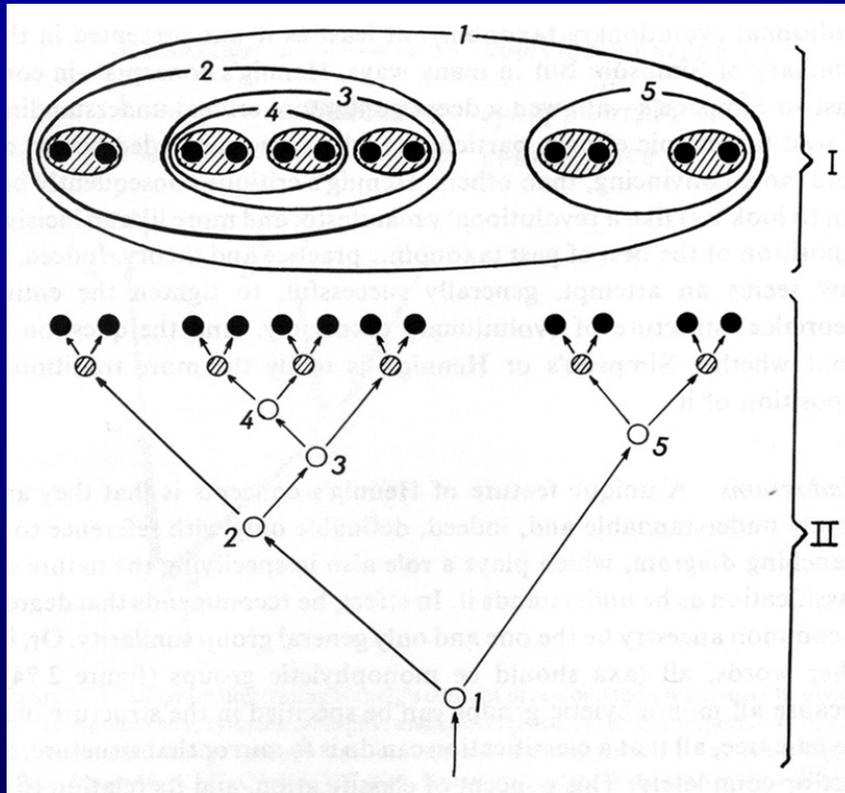
Willi Hennig (1913-1976)



Teoria geral da  
Sistemática  
Filogenética (1950)

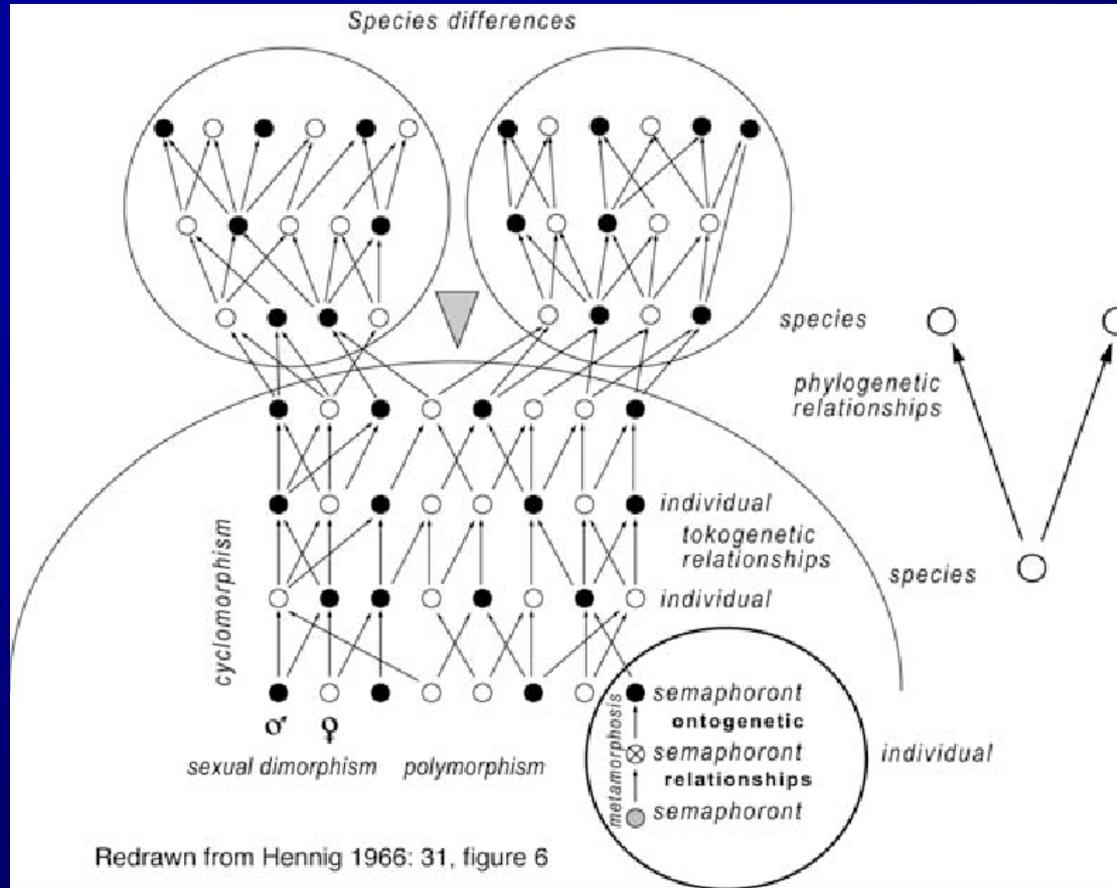
# Sistemática Filogenética

- Universalidade dos atributos (hierarquia) –sinapomorfia e simplesiomorfia



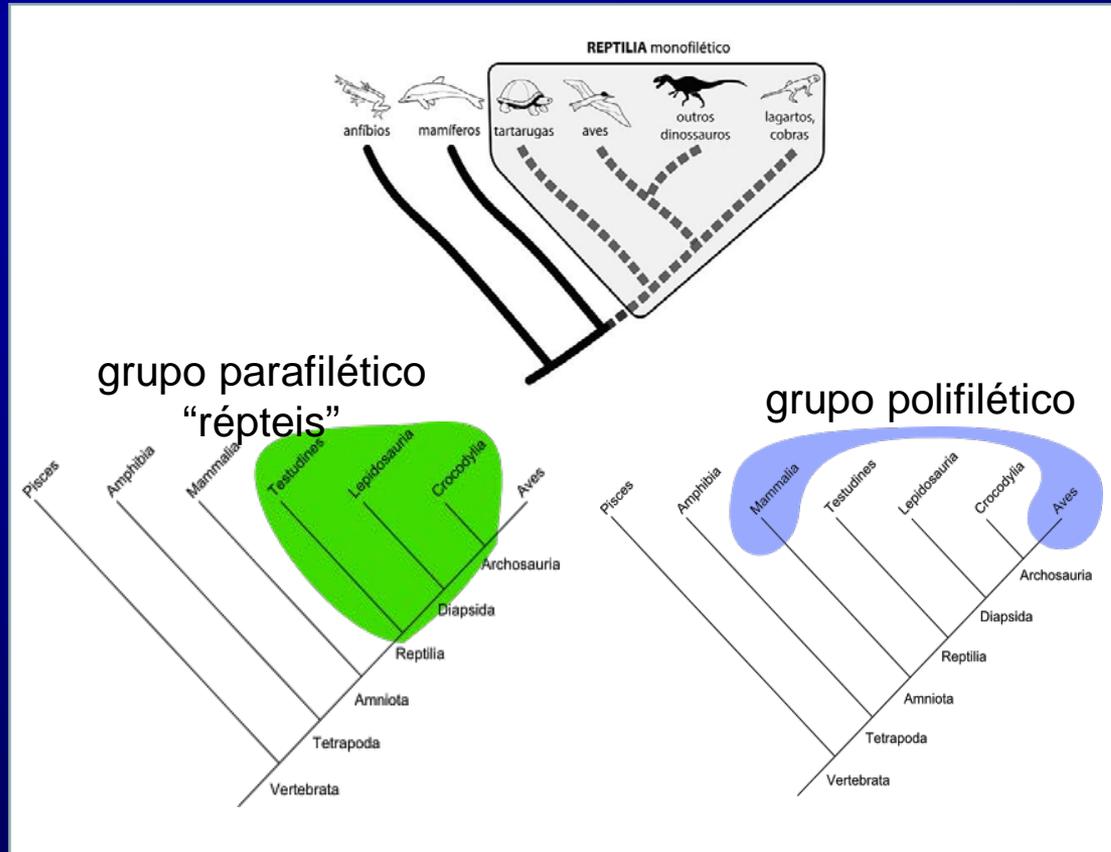
# Sistemática Filogenética

– Escalas de relações (*hologenéticas*): *ontogenéticas* (semaforontes), *tocogenéticas* e *filogenéticas*



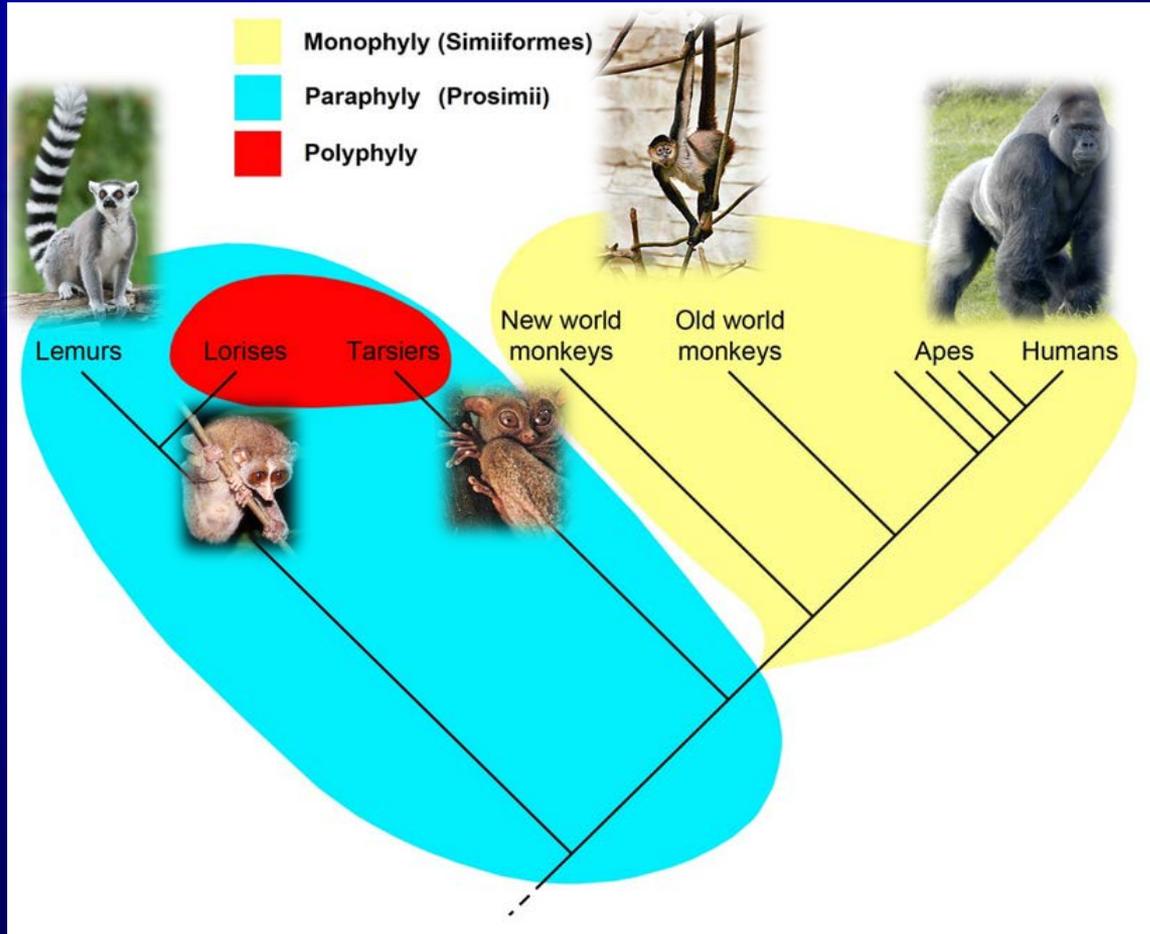
# Sistemática Filogenética

- **Classificação** deve ser sempre baseada em **grupos monofiléticos** (compostos pelo ancestral direto e todos os seus descendentes); **parafilia**



# Sistemática Filogenética

- *Classificação deve ser sempre baseada em grupos monofiléticos (compostos pelo ancestral direto e todos os seus descendentes); parafilia*



# *Sistemática Filogenética*

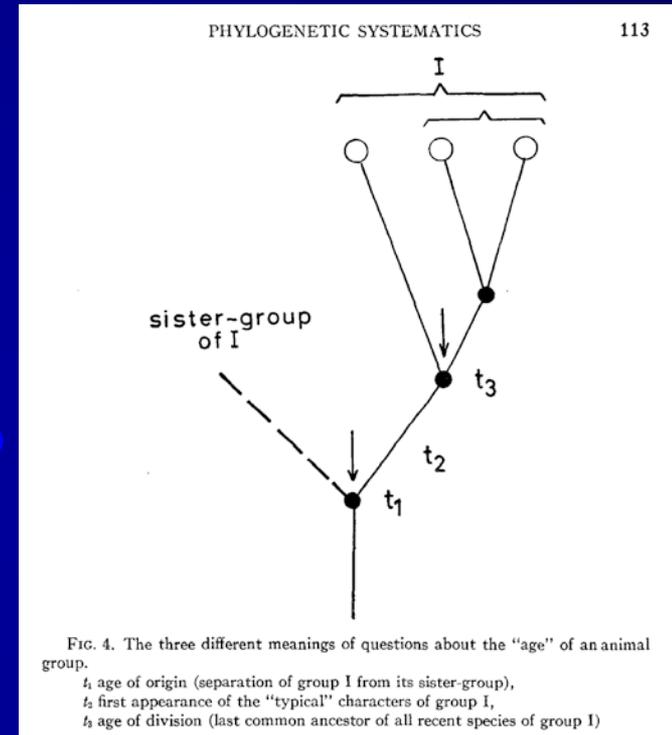
## *Preceitos básicos:*

- Grupos devem ser reunidos levando em conta ancestralidade – descendência (como qualquer sistema filogenético) – idéia de Darwin
- Essa relação é inferida por novidades evolutivas exclusivas (baseado no conceito de homologia) - **apomorfias**
- Grupos naturais devem ser **monofiléticos**

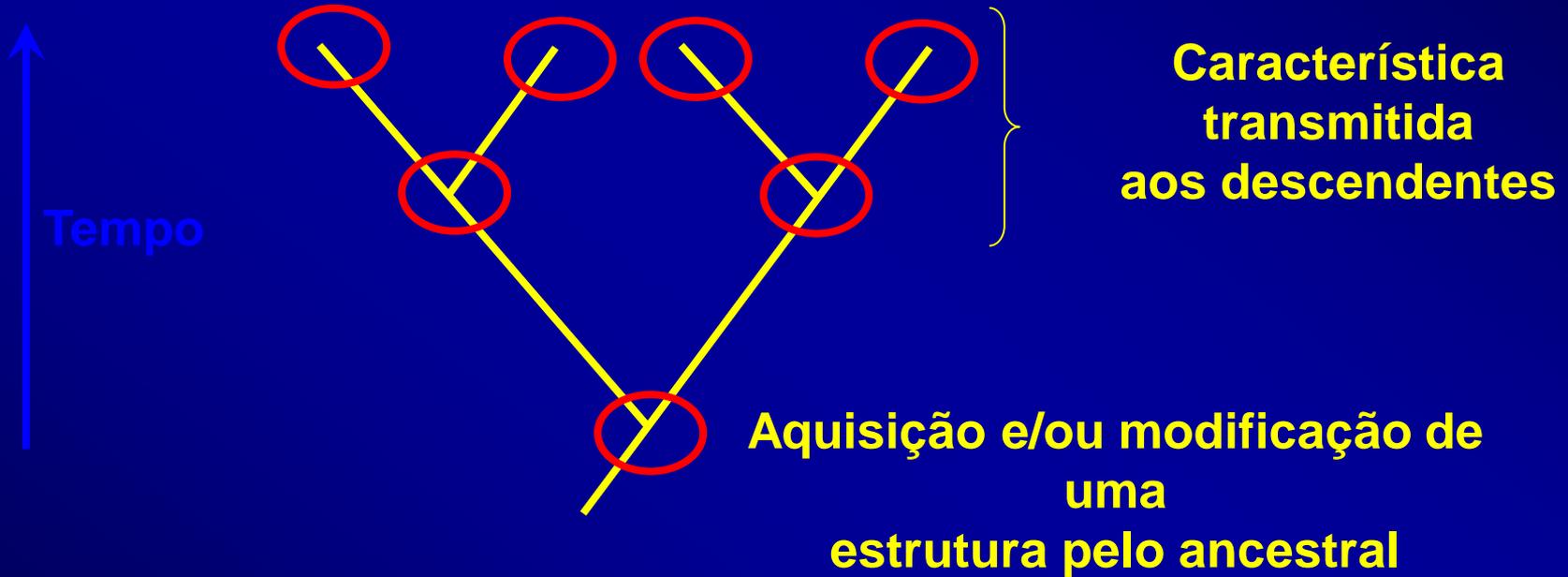
# Sistemática Filogenética

Cladograma (grego klados = ramo)

Diagramada bifurcado representando uma hipótese de filogenia



# Sistemática Filogenética

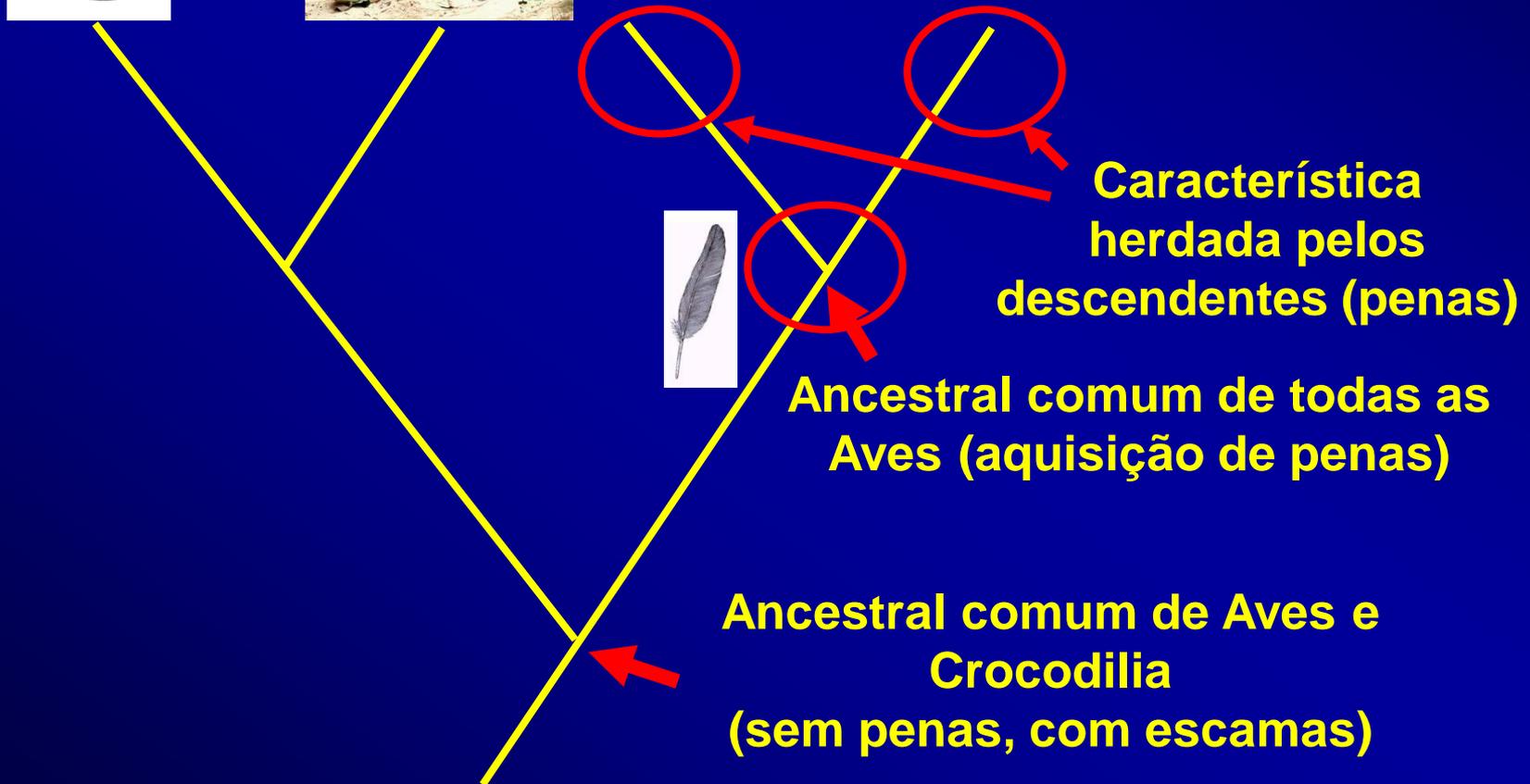
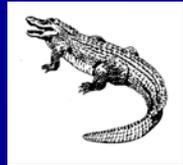


# Sistemática Filogenética

Exemplo: aquisição de penas em Aves

Crocodilia

Aves



# ***Sistemática Filogenética***

## **Plesiomorfia X Apomorfia**

**Plesiomorfia:** estado de caráter ancestral (ou “primitivo”)

**Apomorfia:** estado de caráter derivado (“novidade evolutiva”)

Somente podemos comparar apenas caracteres  
supostamente HOMÓLOGOS

# Sistemática Filogenética

*Caráter.* qualquer atributo que possamos delimitar e para o qual reconhecemos pelo menos dois estados (ex.: apêndices epidérmicos da pele)

*Estados de caráter.* as variações que podemos observar em um determinado caráter (ex.: apêndices em forma de escamas, penas ou pelos)

## Séries de transformação

Para caráter com dois estados A, B:

A — B

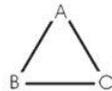
Temos as seguintes possibilidades:

A ↔ B

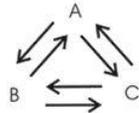
Assim,

A → B    B → A

Para caráter com três estados:



Temos as seguintes possibilidades:



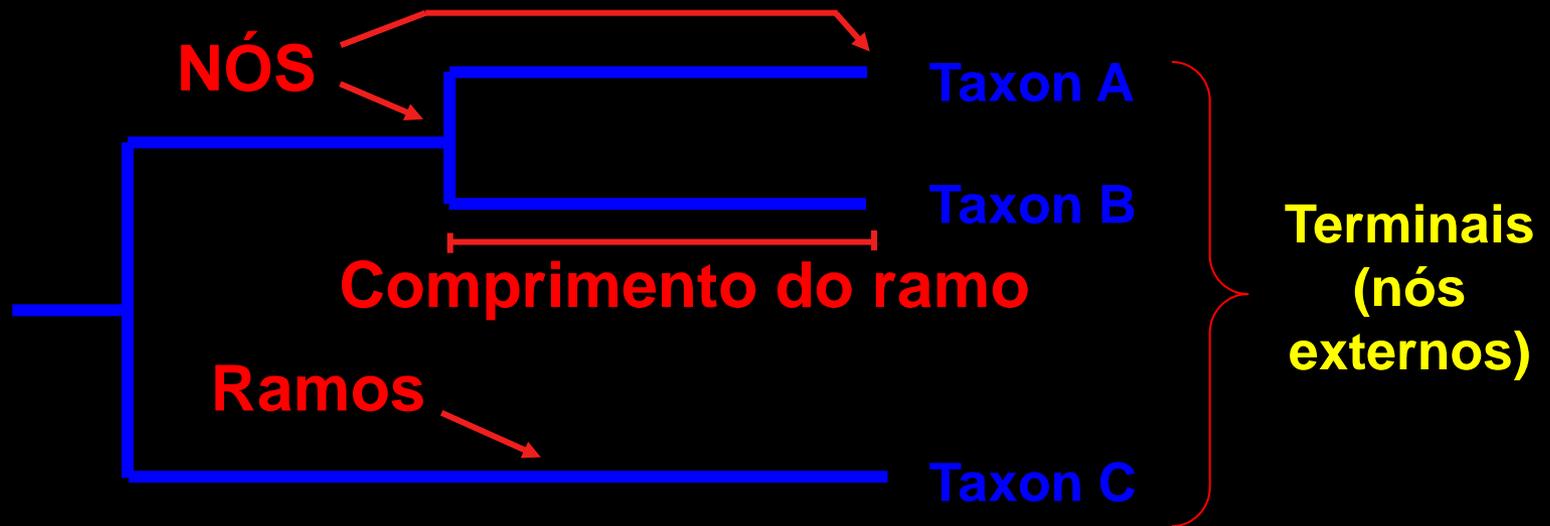
ou

A → B → C    B → A → C    A → C → B  
A ← B ← C    B ← A ← C    A ← C ← B  
A ← B → C    B ← A → C    A ← C → B

É o encadeamento do conjunto de estados de um caráter.

# Sistemática Filogenética

## Terminologia das árvores

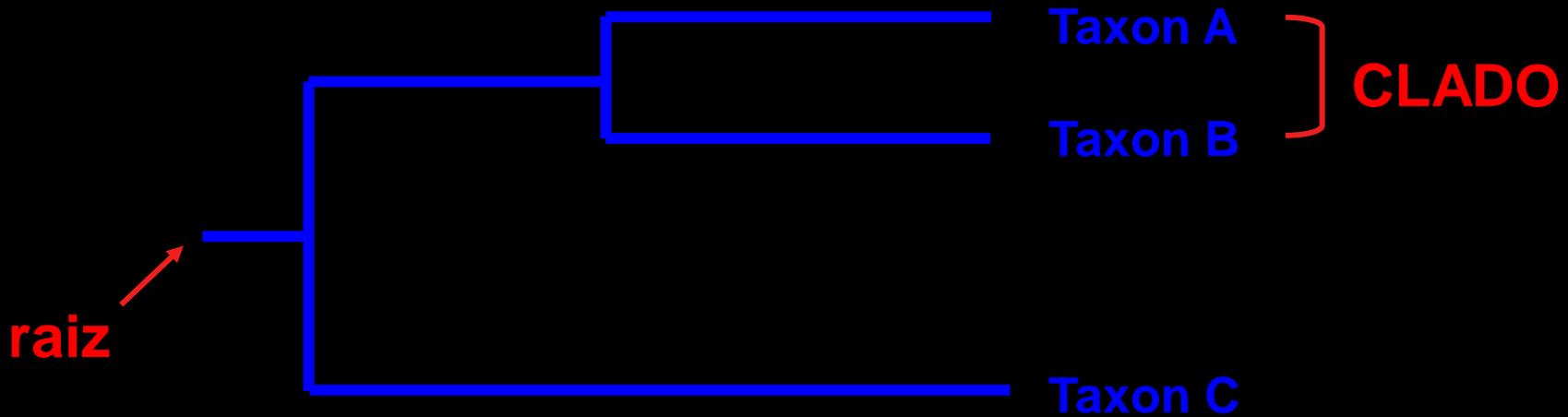


- NÓ:** Uma unidade taxonômica (“OTU: operational taxonomic unit”)
- Pode ser uma espécie, uma população, um indivíduo ou um gene
  - Nós externos representam táxons existentes
  - Nós internos representam táxons ancestrais (inferidos)

**COMPRIMENTO DO RAMO:** quantidade de mudanças que correram ao longo de um ramo

# Sistemática Filogenética

## Terminologia das árvores



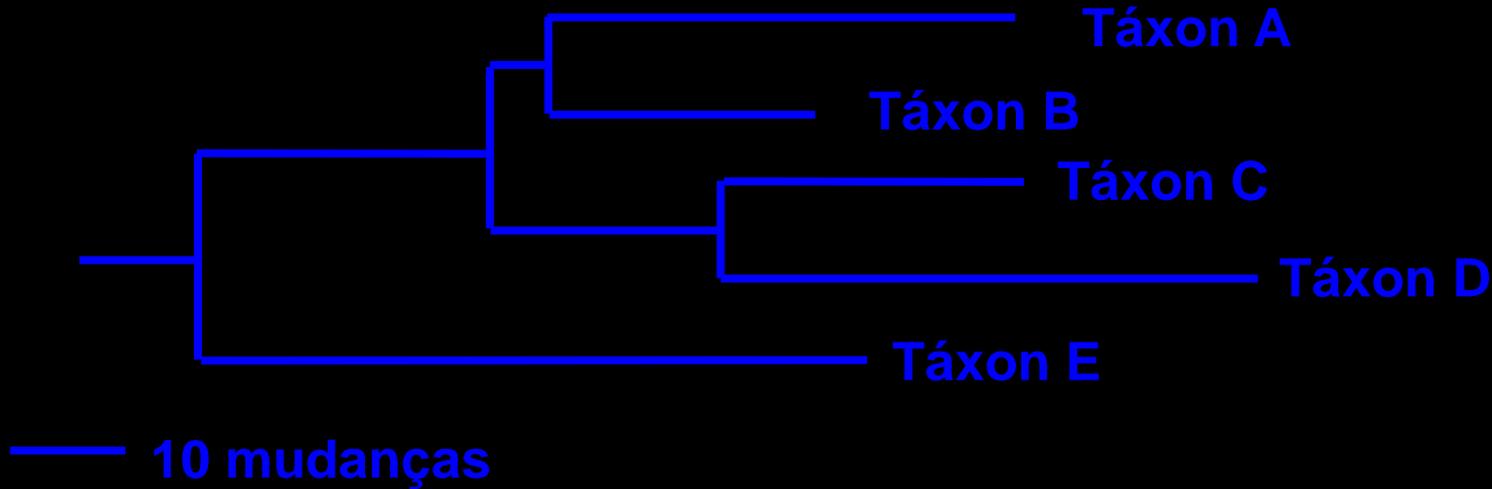
**CLADO:** Um grupo que contém um ancestral comum e todos os seus descendentes (grupo monofiletico)

**RAIZ:** O ancestral comum de todos os táxons na árvore

**TOPOLOGIA:** O padrão de ramificação geral da árvore

# Sistemática Filogenética

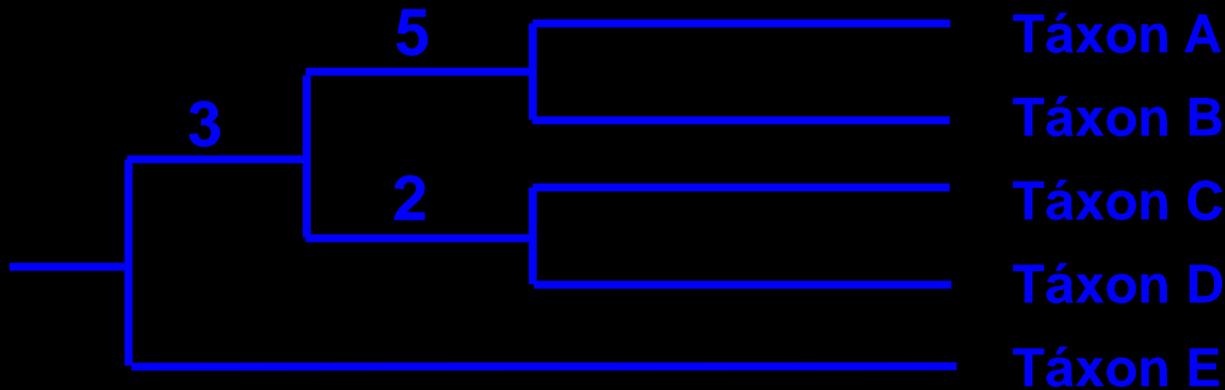
## Ramos com escalas



- Um ramo em escala é desenhado proporcionalmente ao número de mudanças que ocorreram ao longo daquele ramo
- Pode expressar TEMPO de DIVERGÊNCIA das linhagens

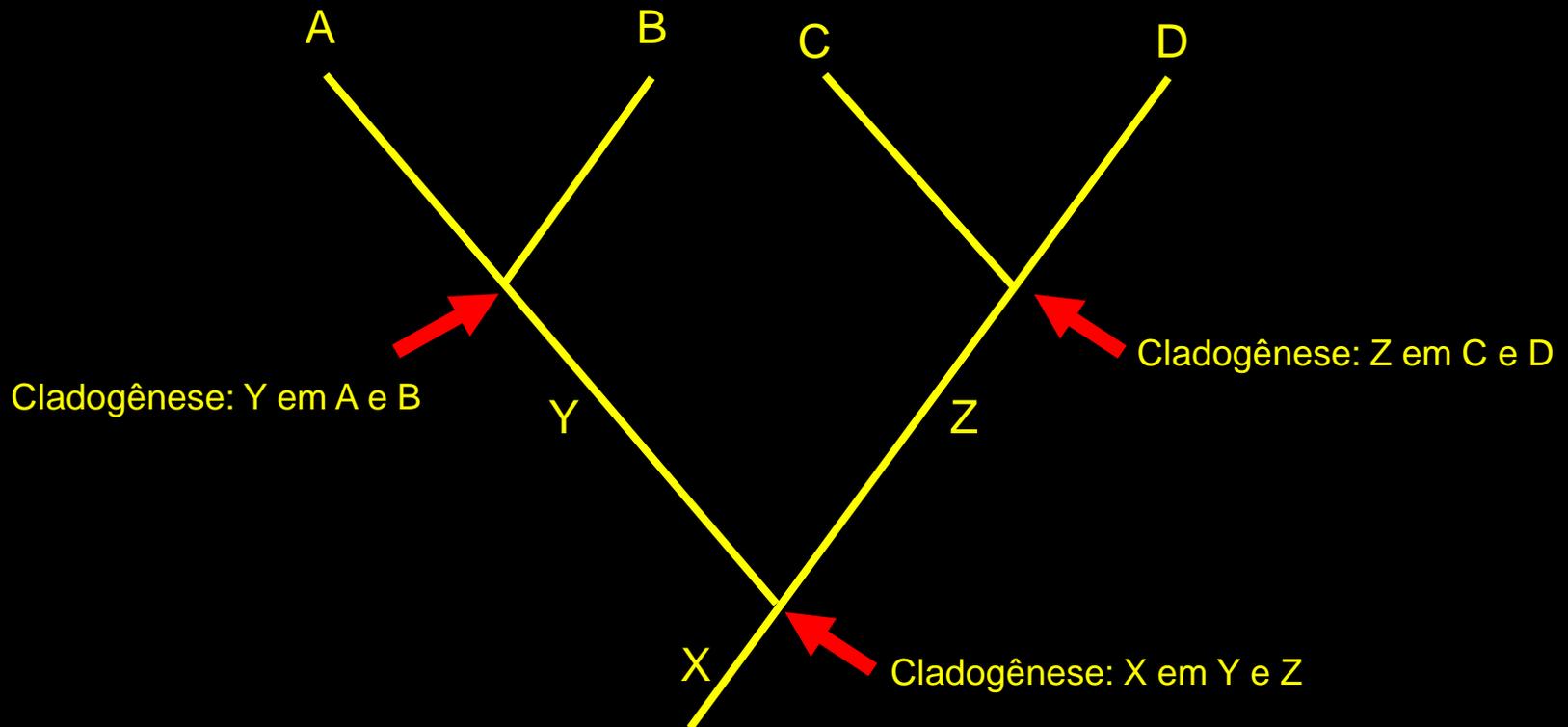
# Sistemática Filogenética

## Ramos sem escalas

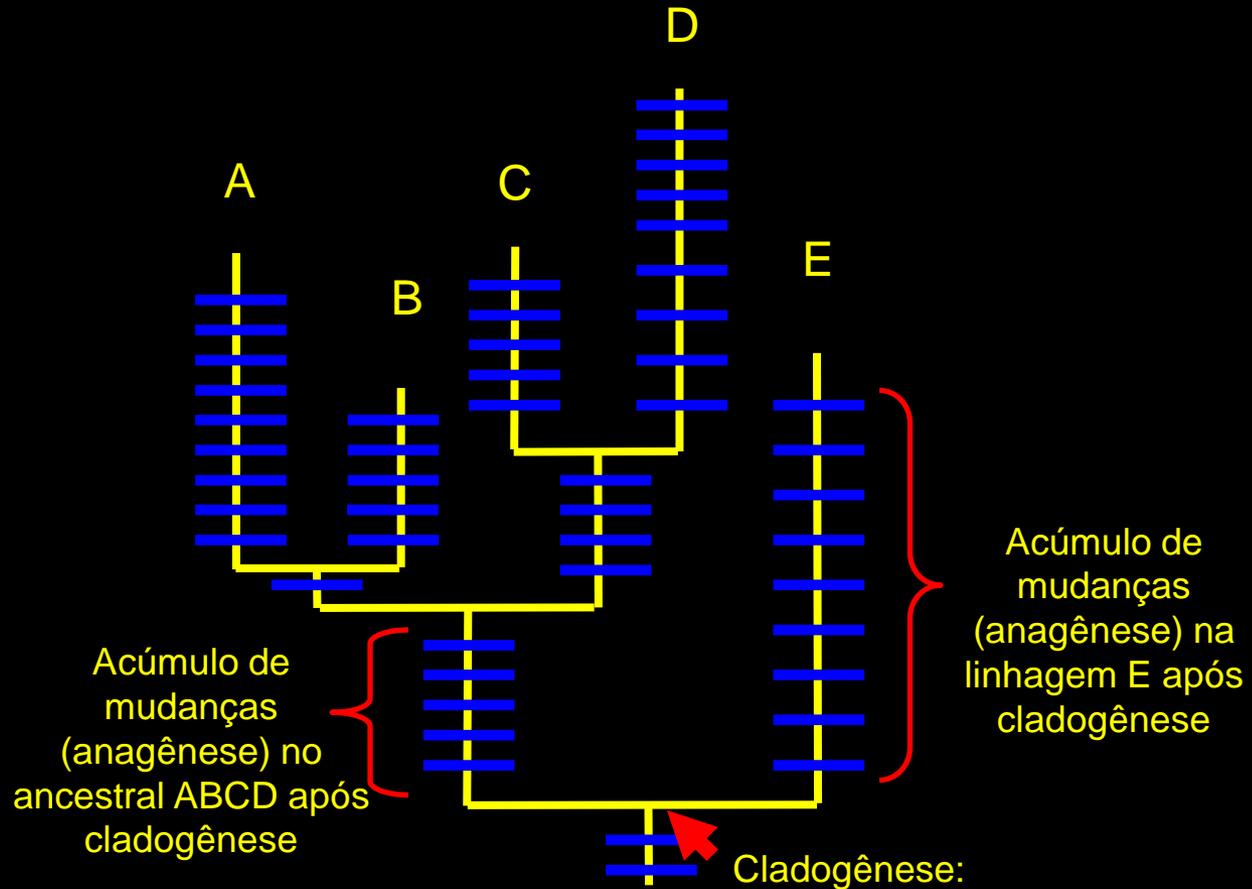


- Números que indicam o número de mudanças são freqüentemente posicionados acima dos ramos

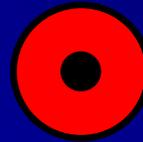
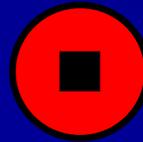
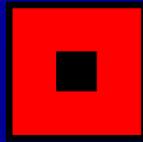
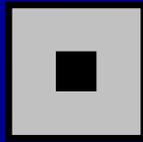
Cladogênese (ou Evento Cladogenético)–  
processo de separação de linhagens com história  
evolutiva comum



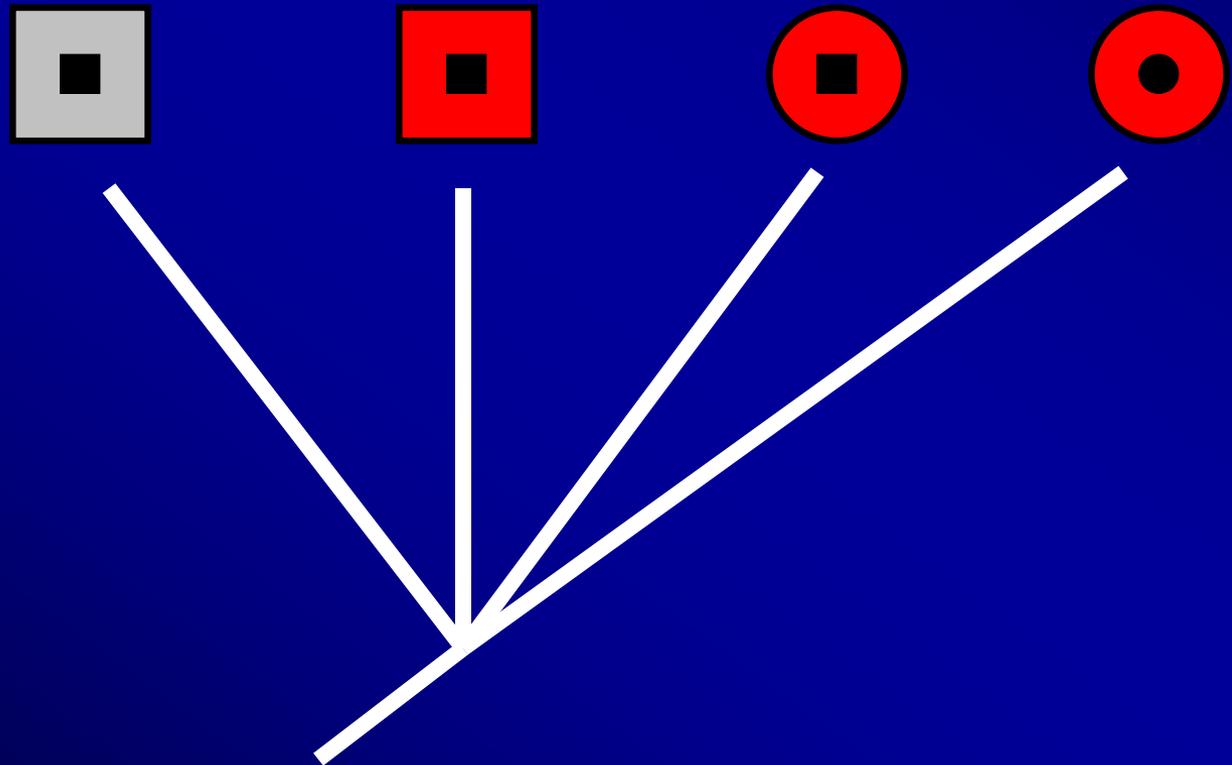
Anagênese (ou Processo Anagenético) – processo de mudanças (genéticas, morfológicas) nas linhagens ao longo do tempo entre os eventos cladogenéticos



# *Sistemática Filogenética*

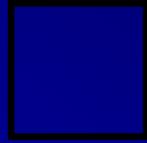
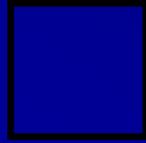


# *Sistemática Filogenética*



# Sistemática Filogenética

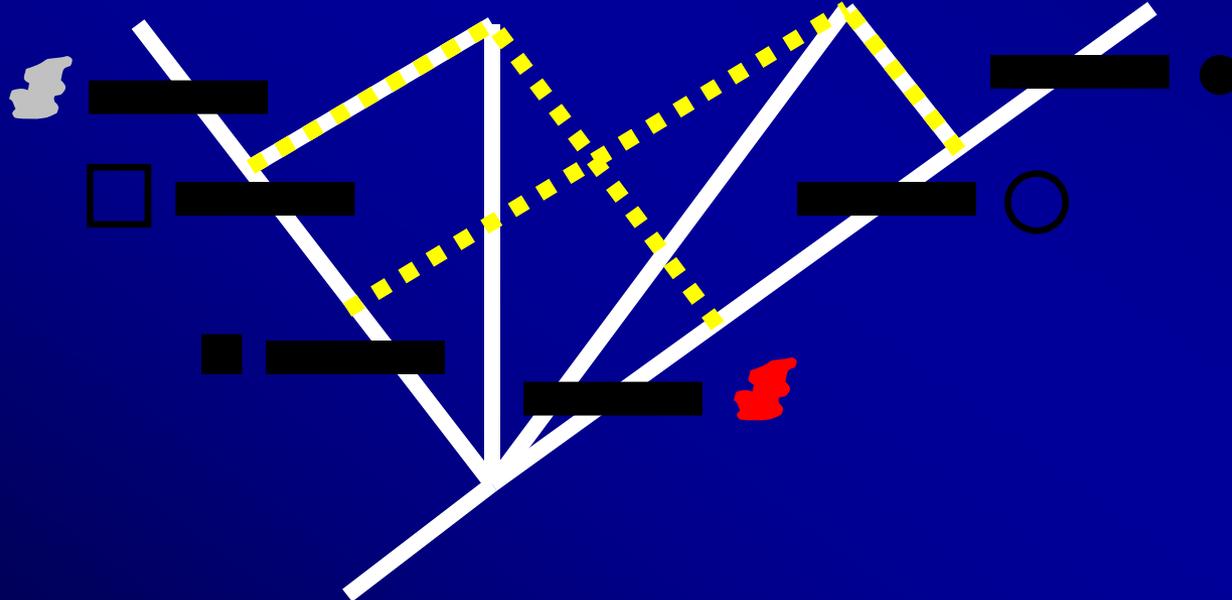
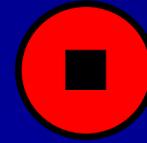
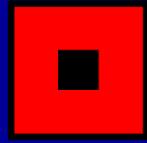
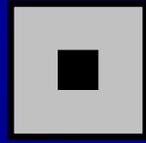
*Formato do corpo*



*Cor*



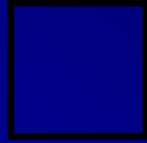
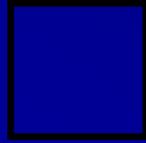
*Formato do apêndice central*



# ***Sistemática Filogenética***

# Sistemática Filogenética

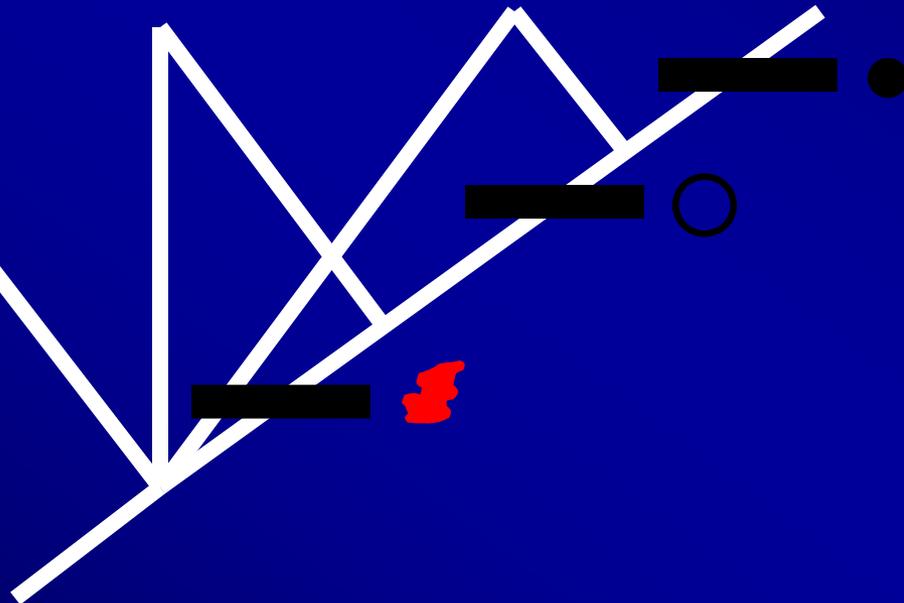
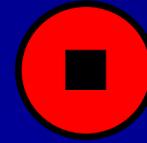
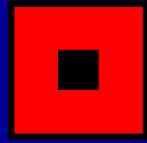
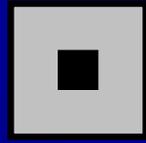
*Formato do corpo*



*Cor*

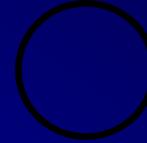
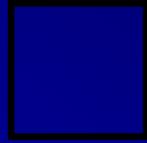
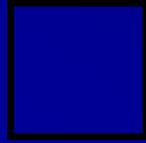


*Formato do apêndice central*



# Sistemática Filogenética

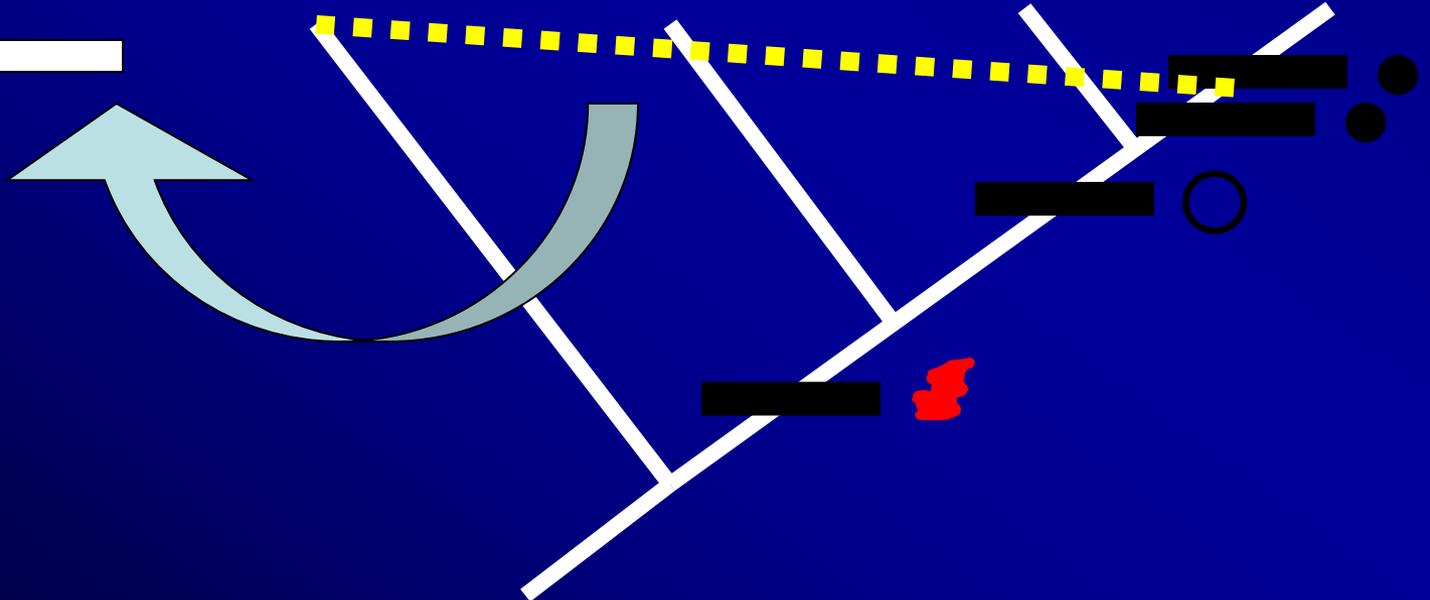
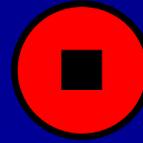
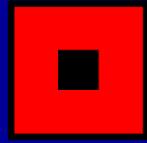
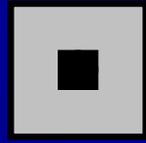
Formato do corpo



Cor

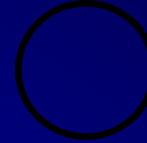
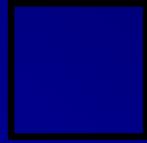
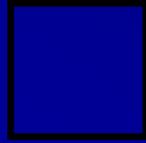


Formato do apêndice central



# Sistemática Filogenética

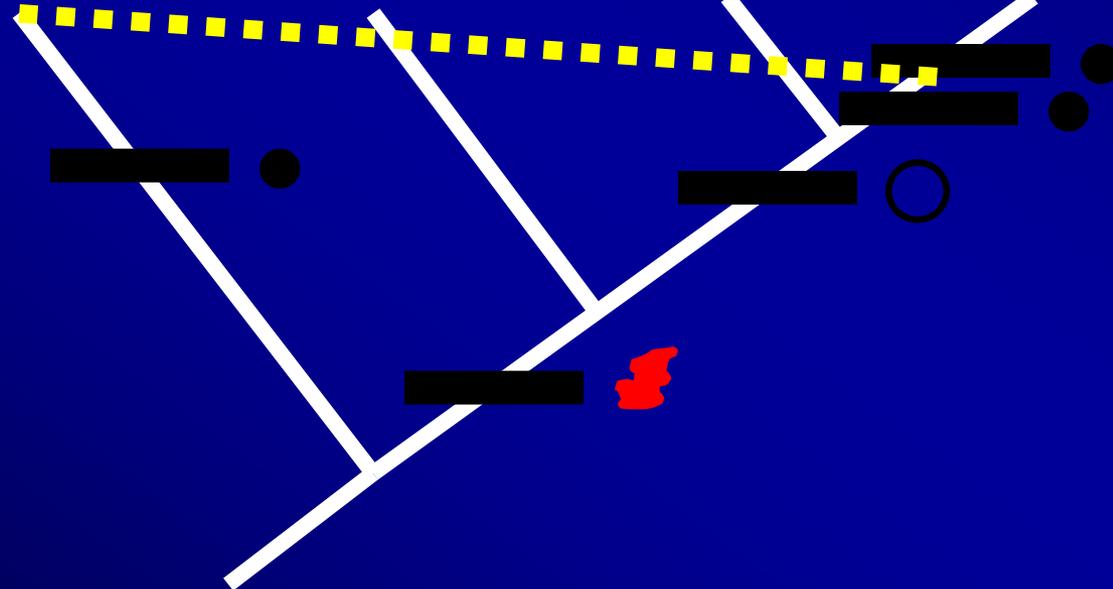
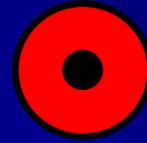
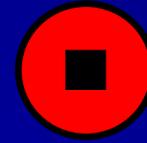
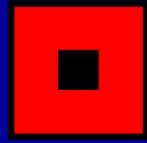
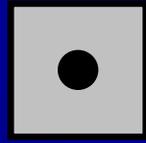
*Formato do corpo*



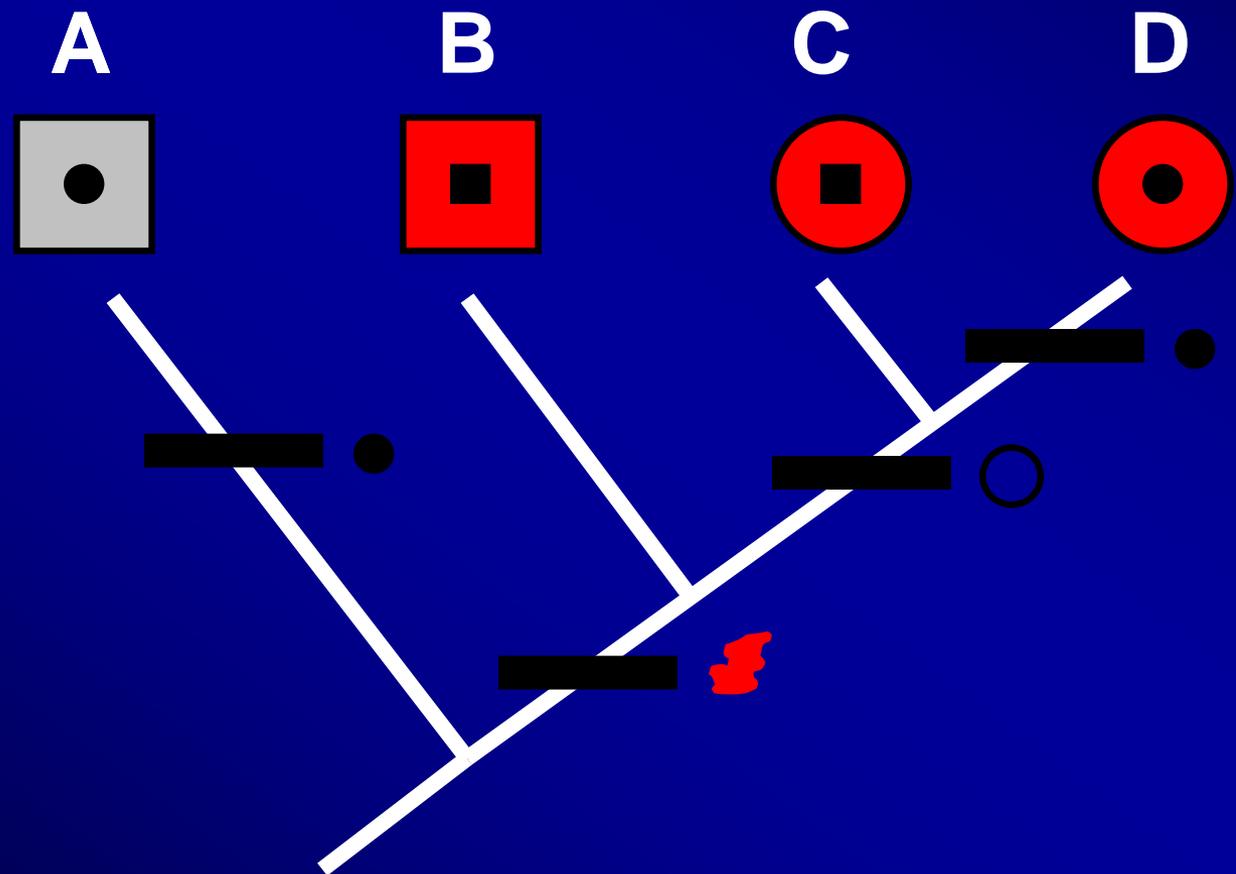
*Cor*



*Formato do apêndice central*

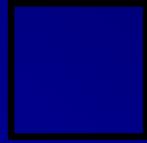
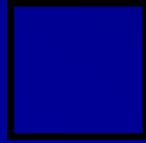


# *Sistemática Filogenética*



# Sistemática Filogenética

Formato do corpo



Cor

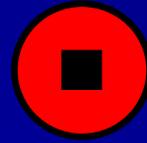
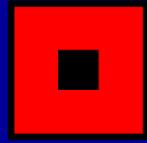
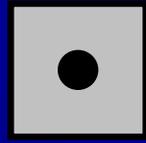


A

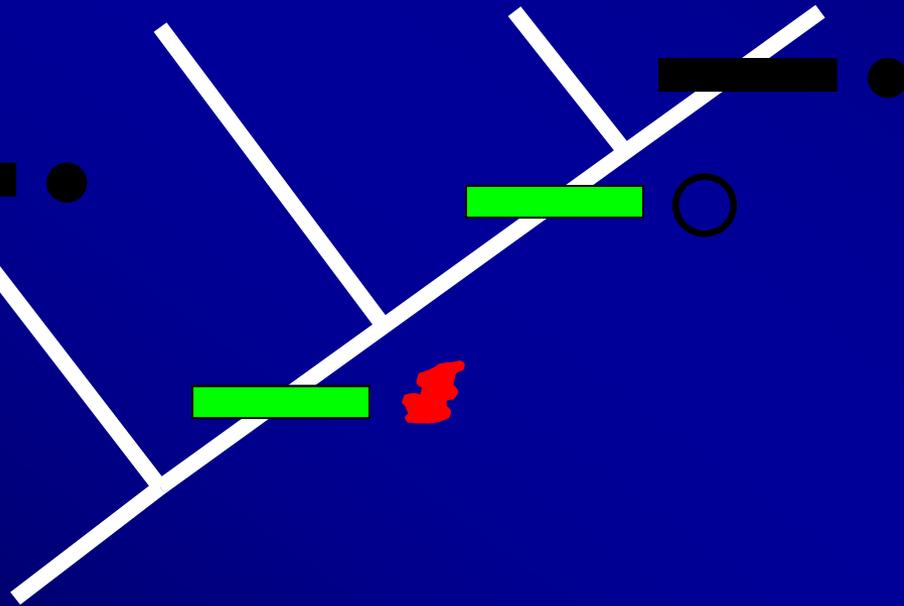
B

C

D



- Sinapomorfia

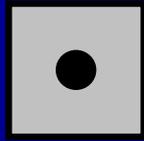


# Sistemática Filogenética

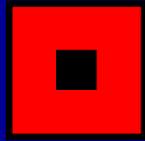
Cor



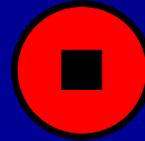
A



B



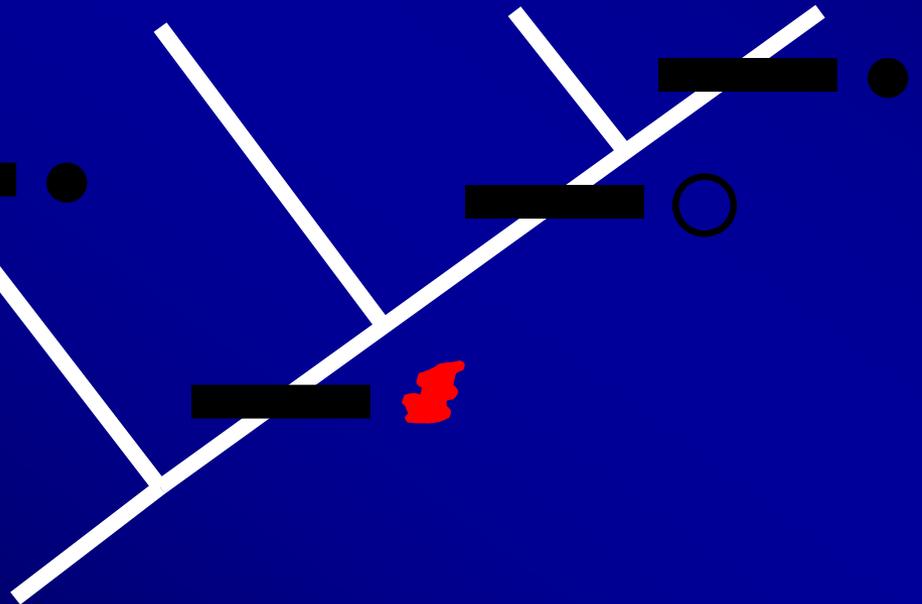
C



D



- *Simplesiomorfia*





# Sistemática Filogenética

- Grupos monofiléticos

