

Introdução

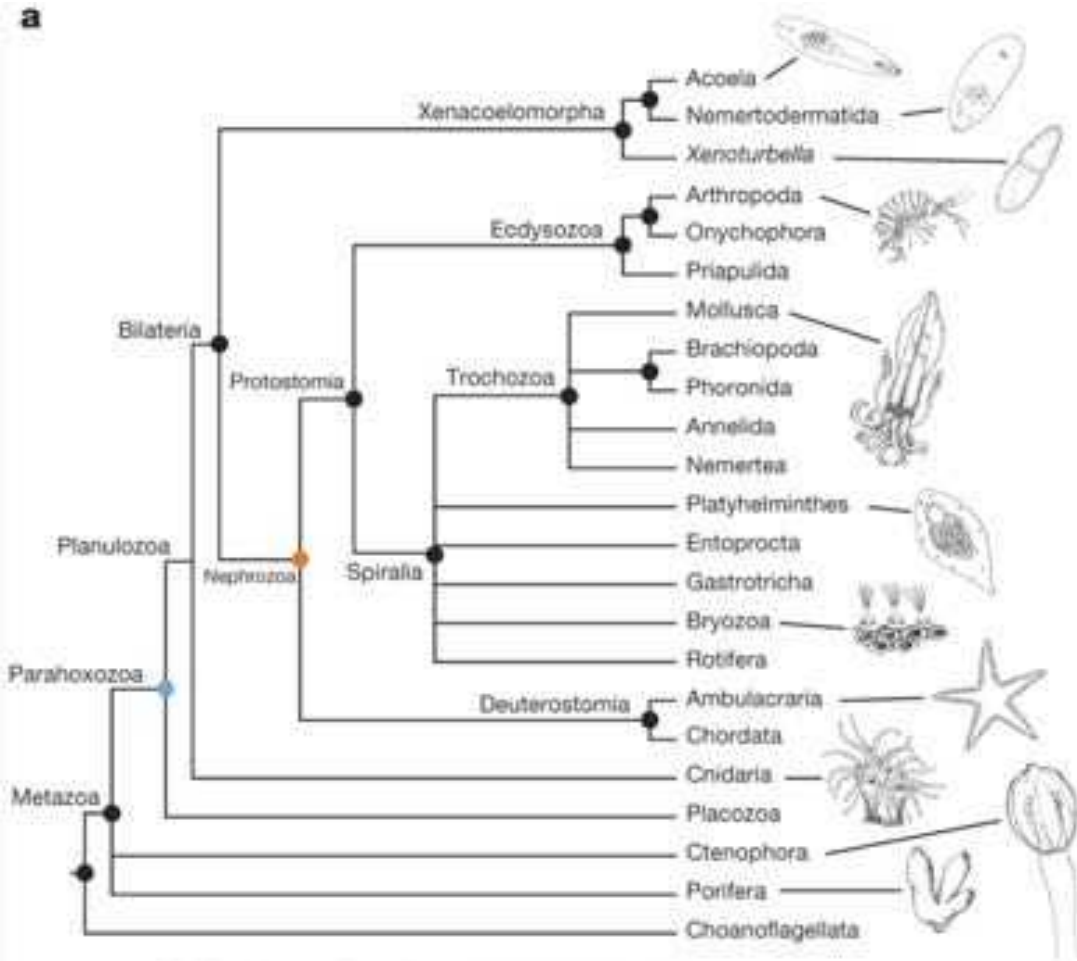
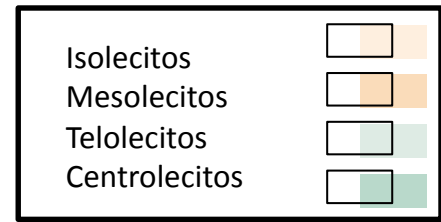
*Chordata: embriologia
comparada e mecanismos do
desenvolvimento*

Federico D. Brown

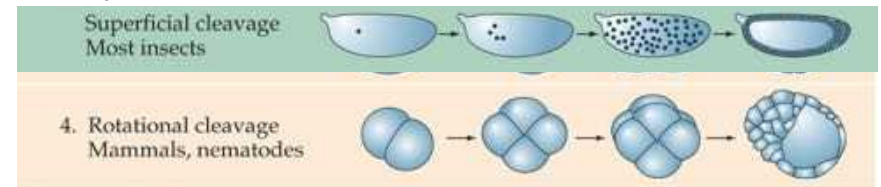
fdbrown@usp.br

Laboratório de EvoDevo
Sala 166 Zoologia IB-USP

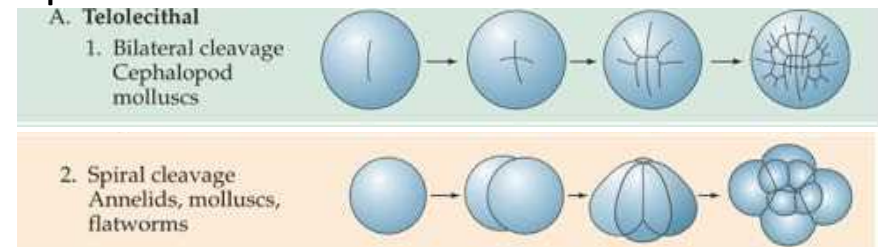
Padrões embriológicos:



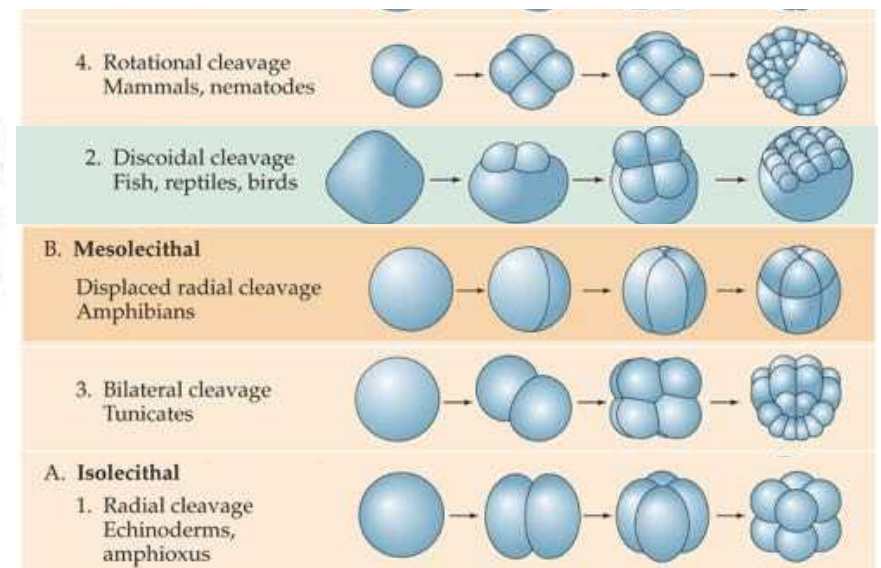
Ecdysozoa:



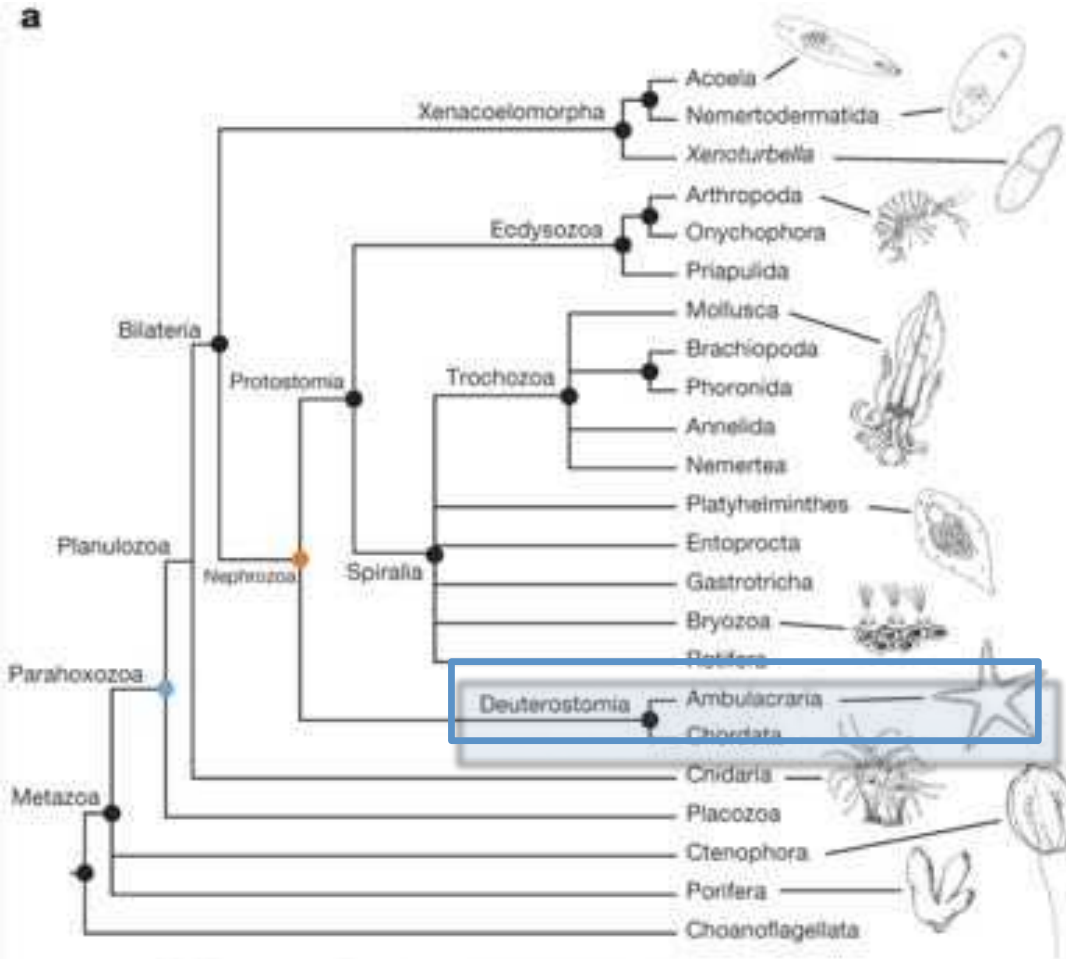
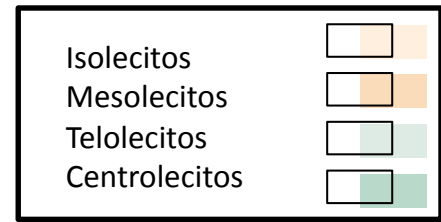
Spiralia:



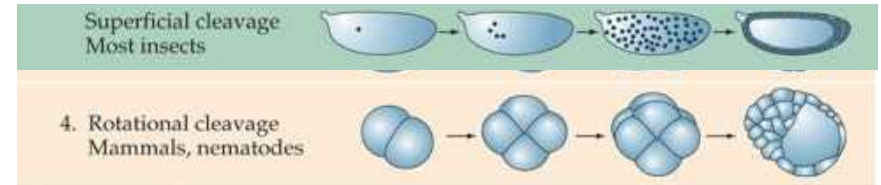
Deuterostomia:



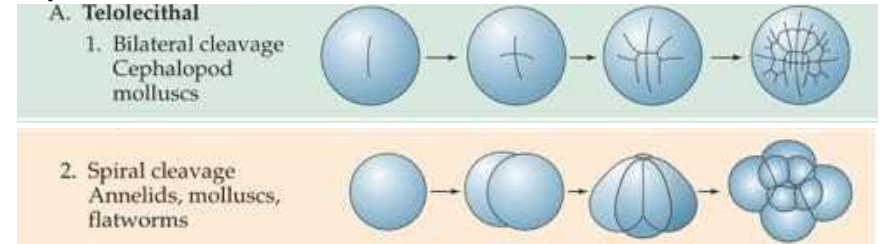
Padrões embriológicos nos deuterostomios:



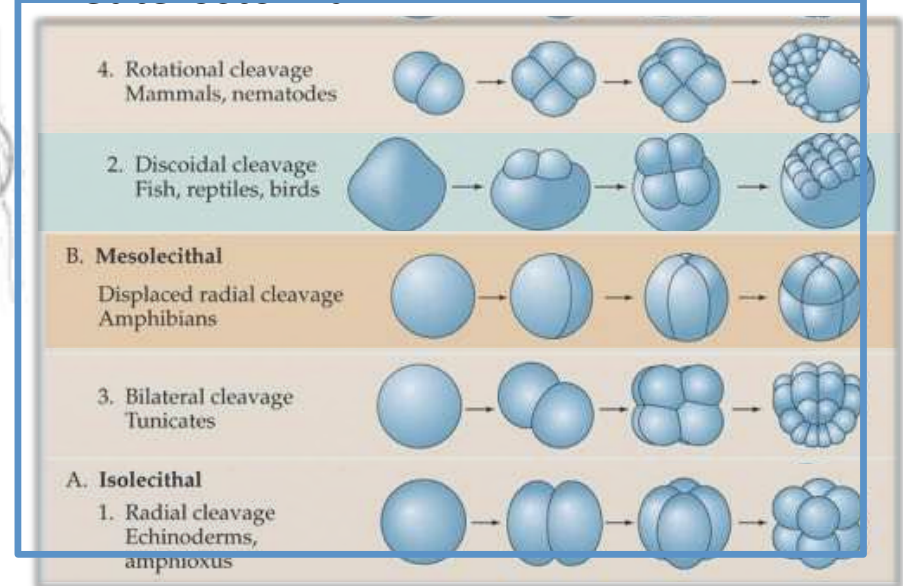
Ecdysozoa:



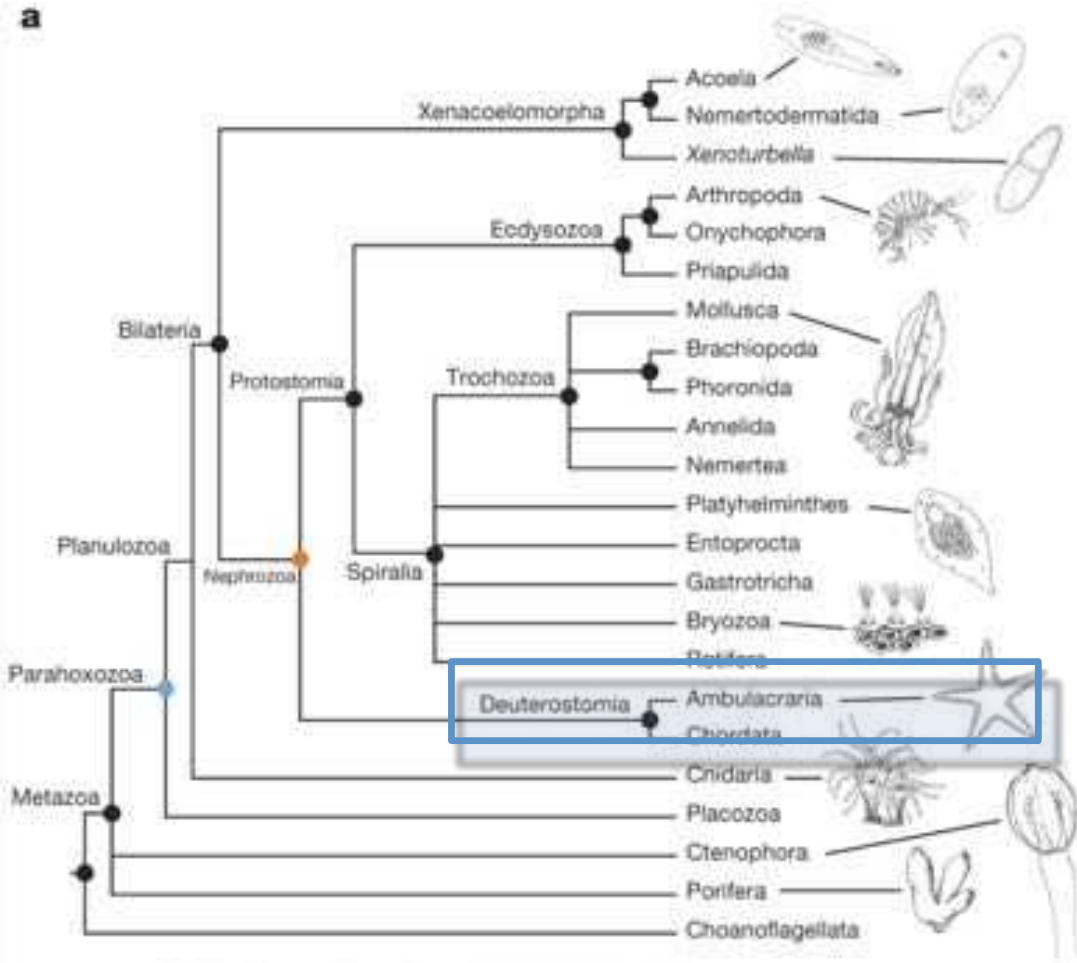
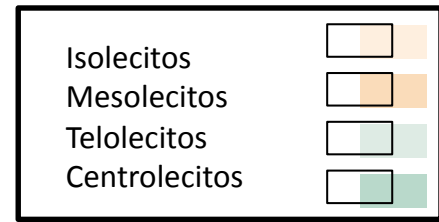
Spiralia:



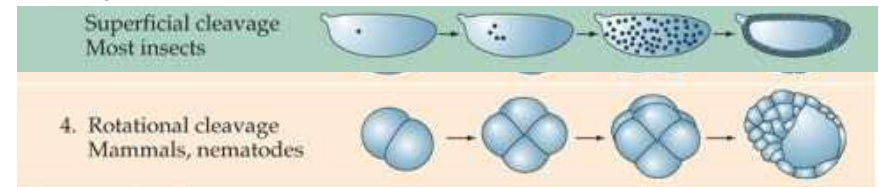
Deuterostomia:



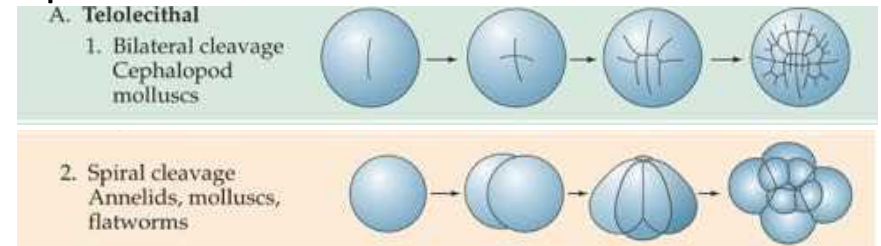
Padrões embriológicos nos deuterostomios:



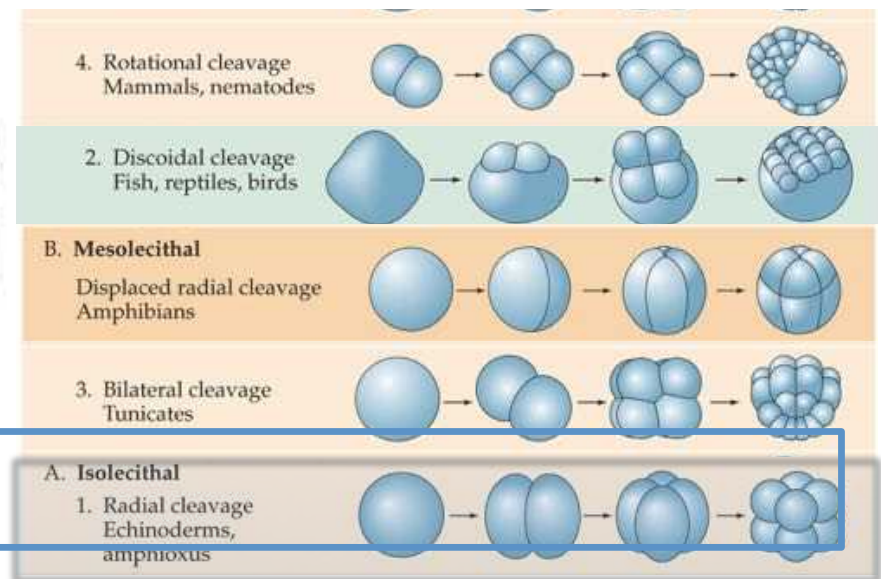
Ecdysozoa:



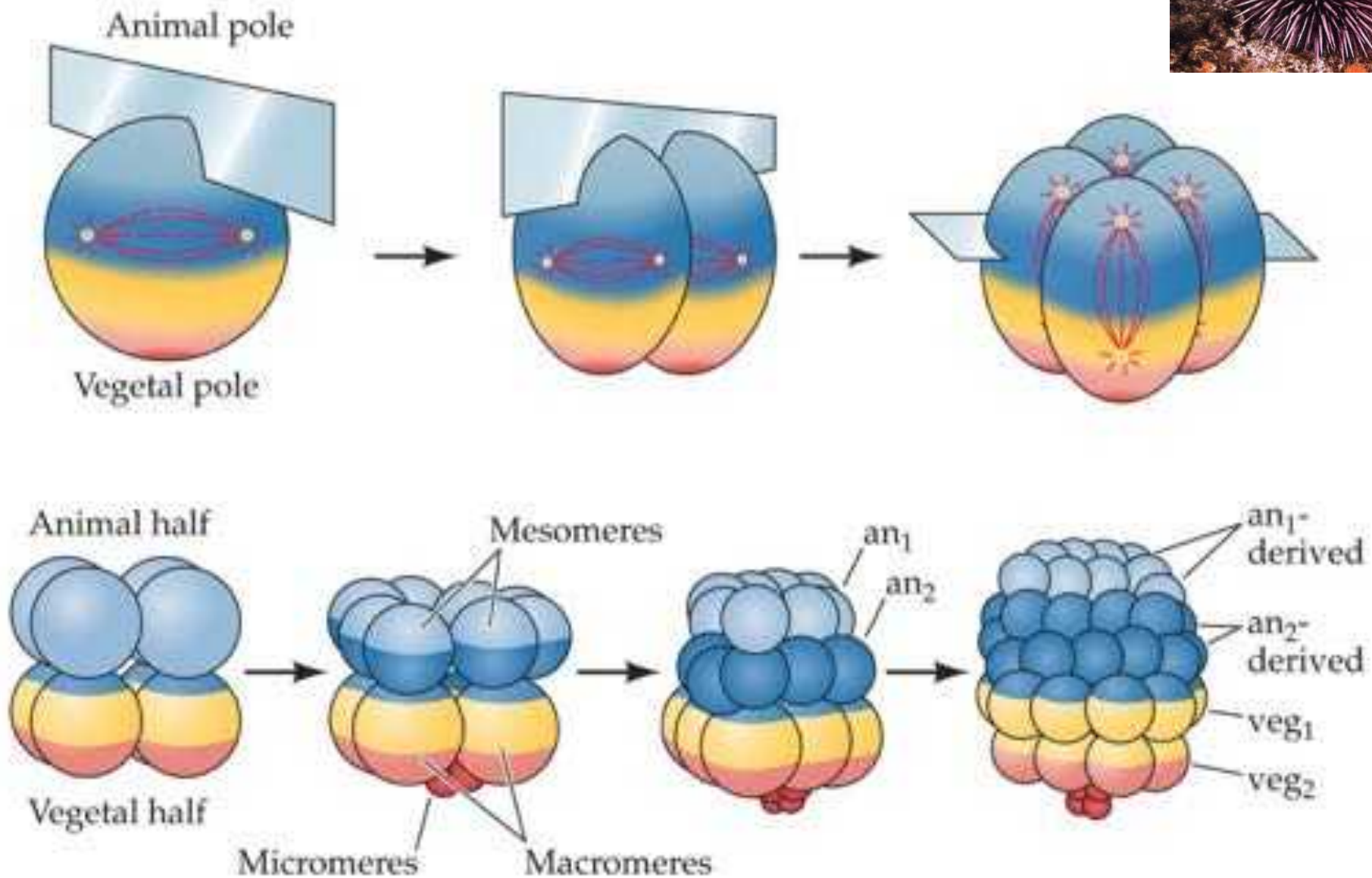
Spiralia:



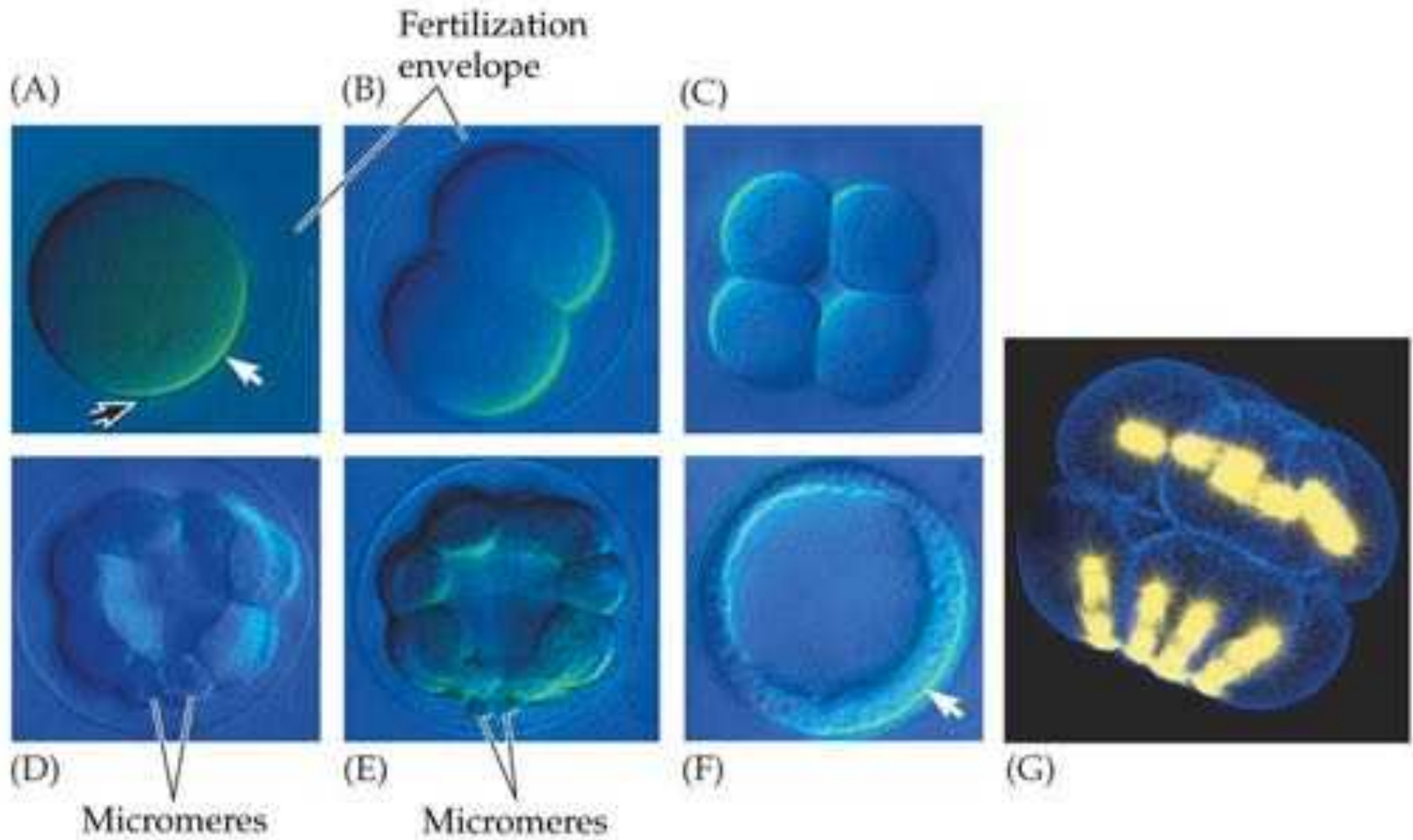
Deuterostomia:



Clivagem em ouriços (mapas de destino):



Desenvolvimento cado de *Lytechinus variegatus*

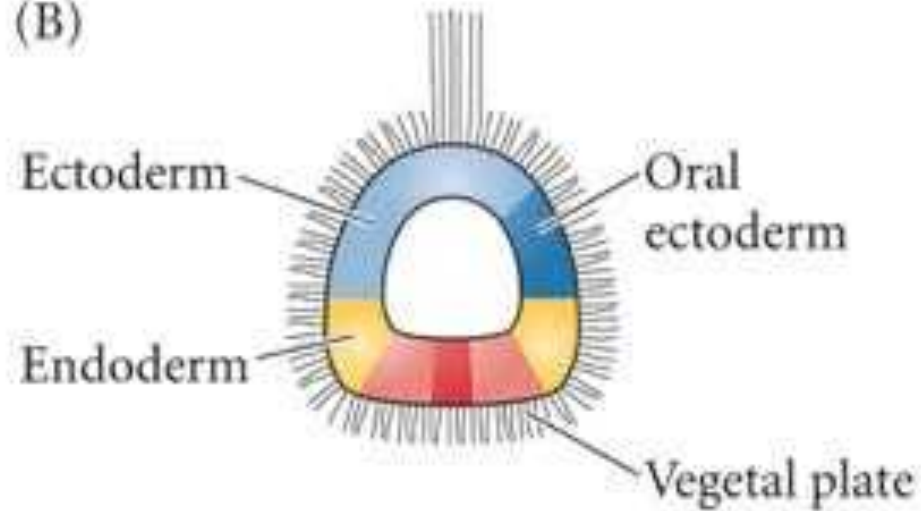


Gastrulação e destino celular

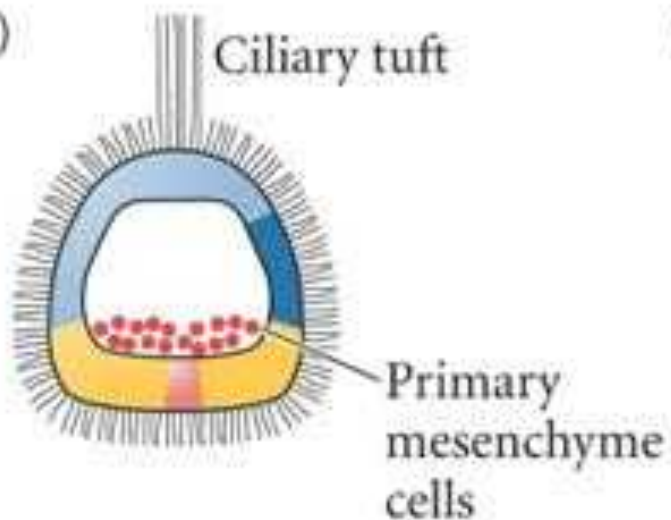
(A)



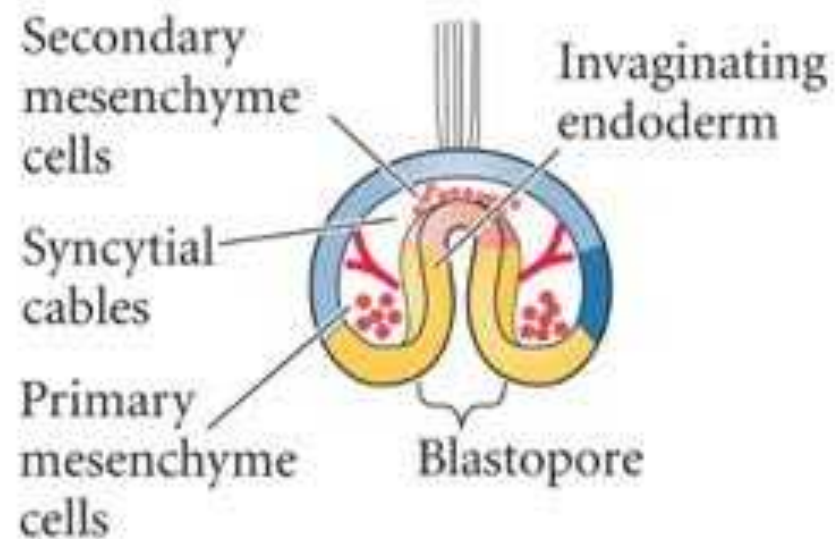
(B)



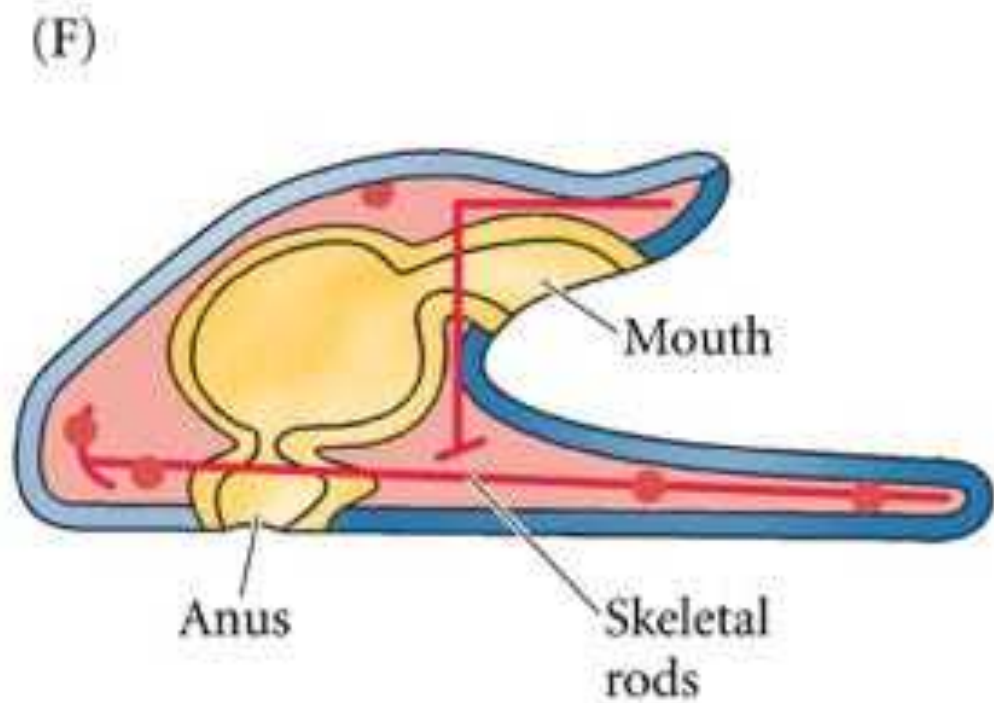
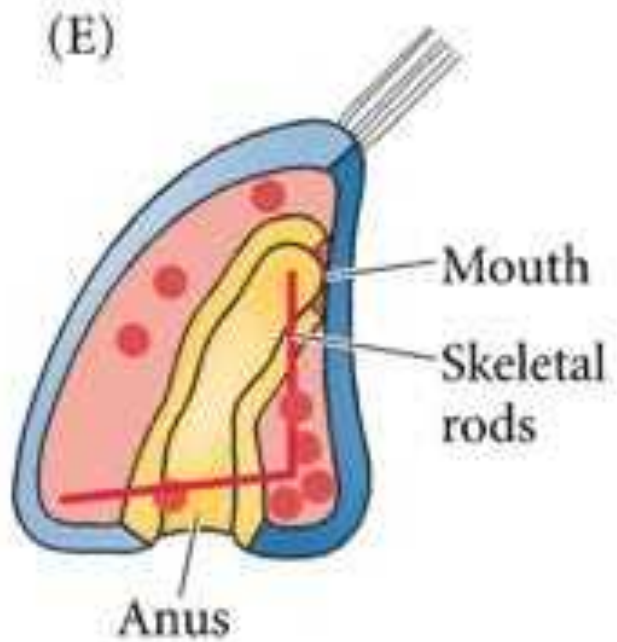
(C)



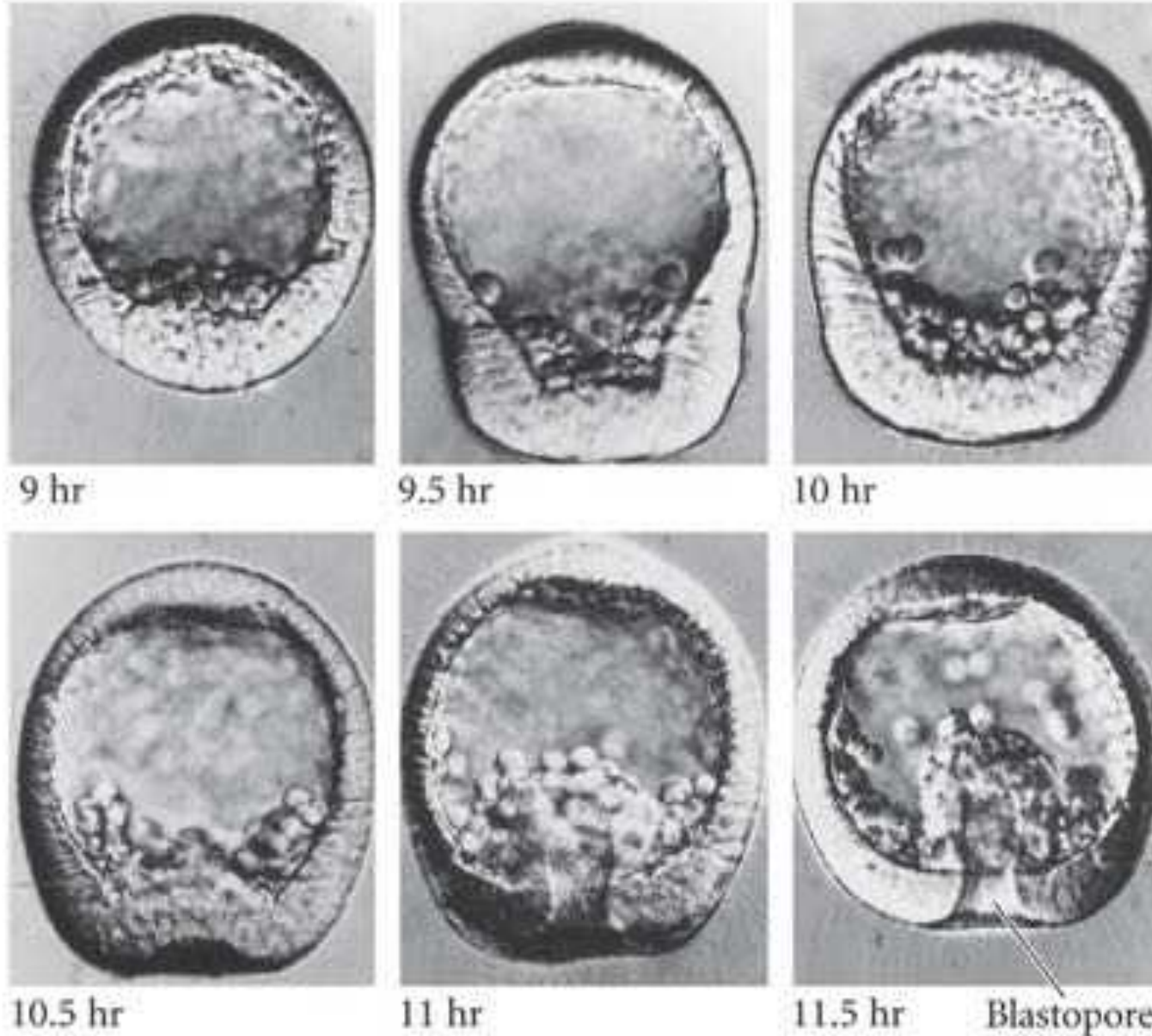
(D)



Gastrulação e destino celular



Gastrulação em *Lytechinus variegatus*



Gastrulação em *Lytechinus variegatus*



12 hr



13 hr



13.5 hr

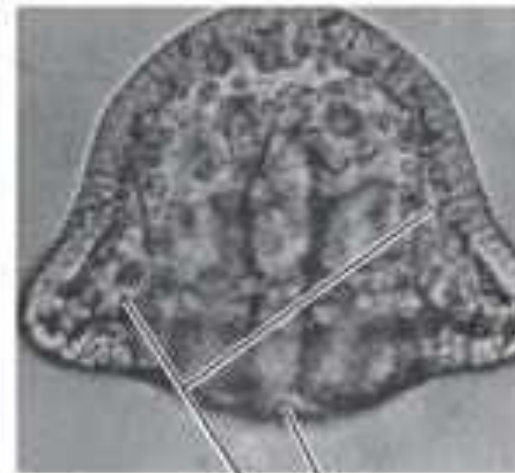
Syncytial cables



15 hr



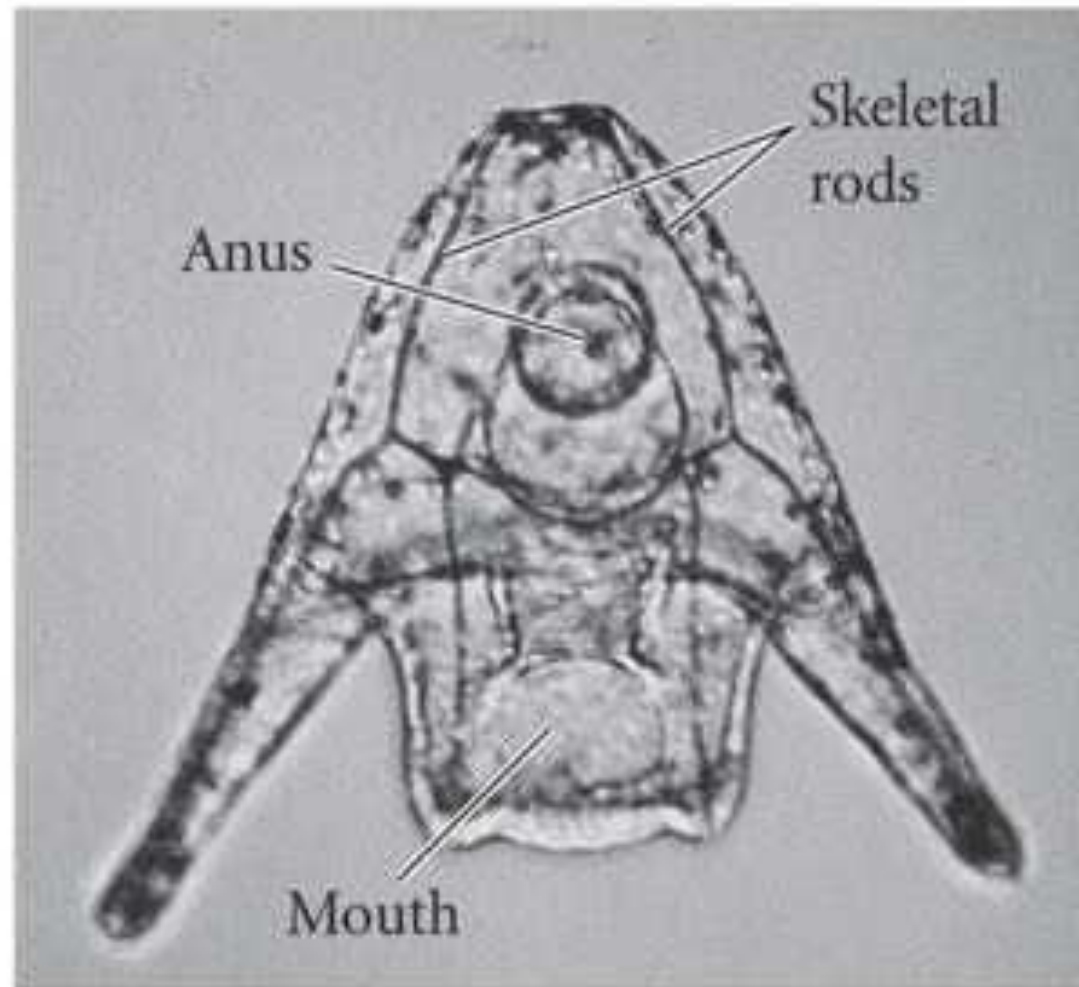
17 hr



18 hr

Blastopore
Syncytial cables

Gastrulação em *Lytechinus variegatus*



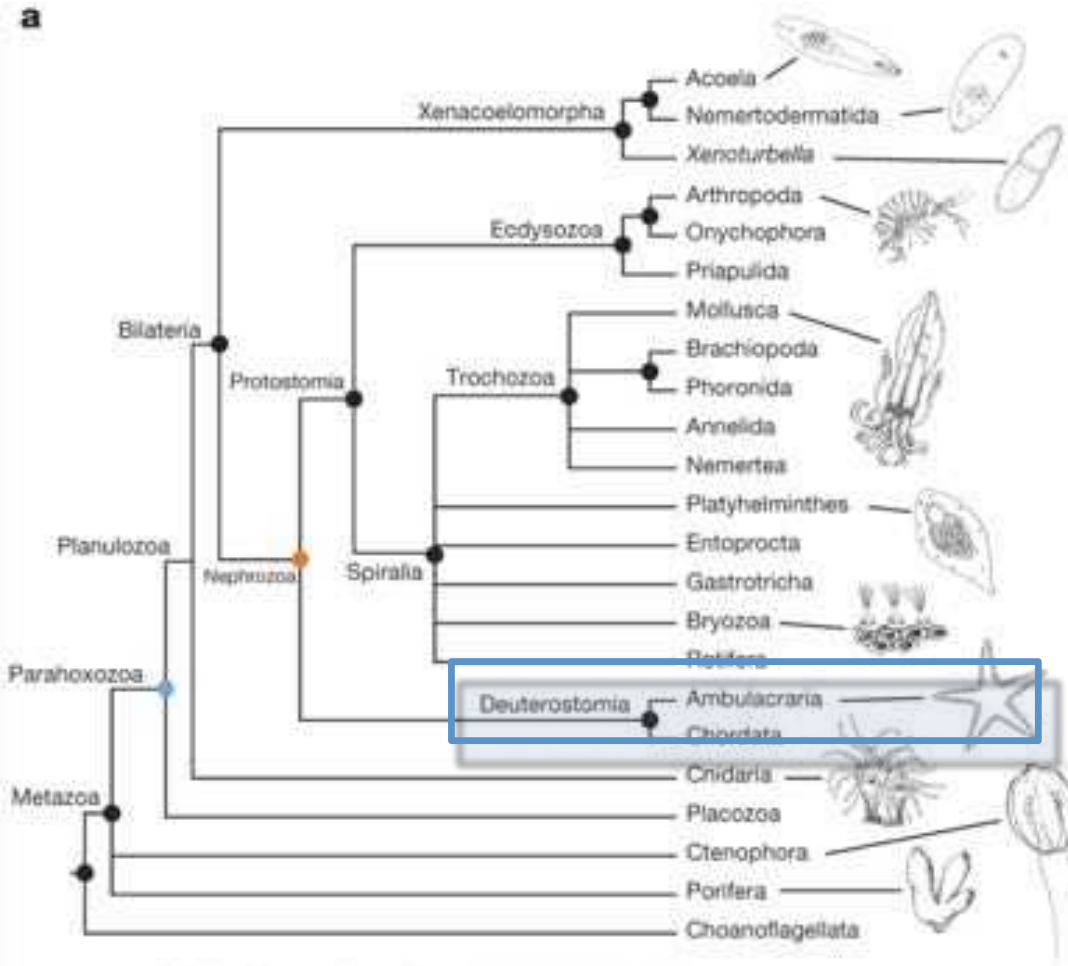
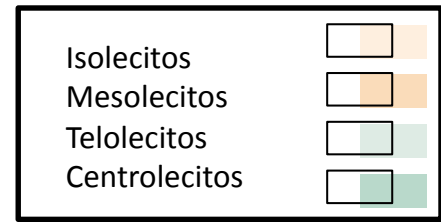
24 hr

O rudimento imaginal crescendo no lado esquerdo da larva pluteus do ouriço

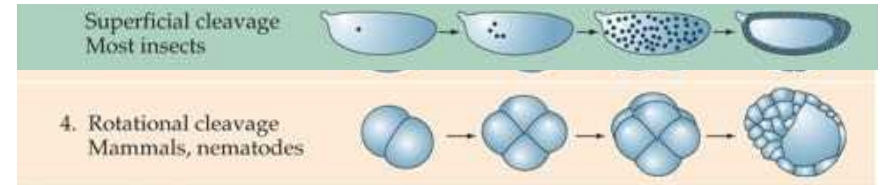


Imaginal
rudiment

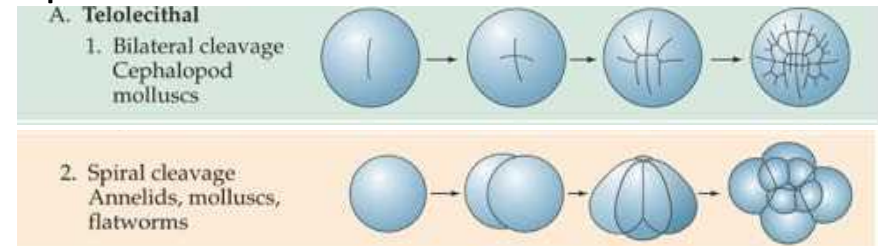
Padrões embriológicos nos deuterostomios:



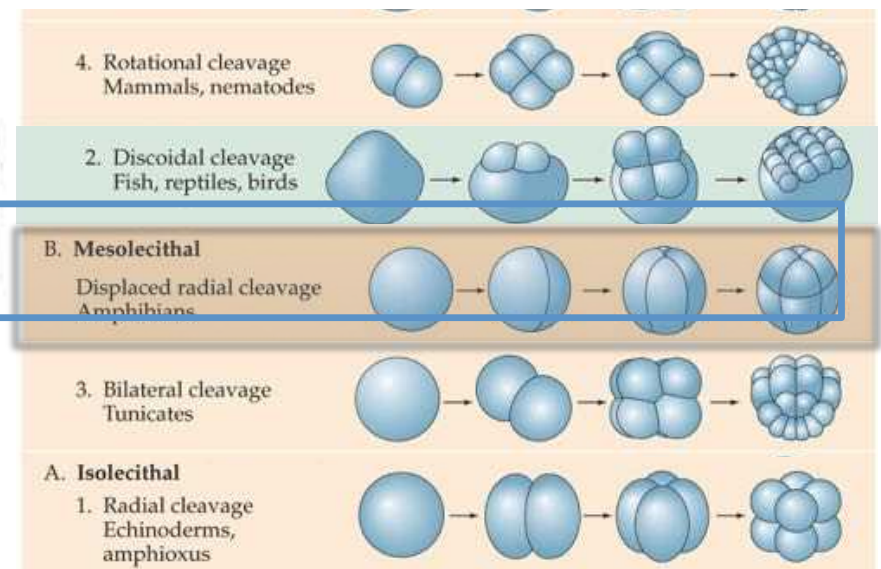
Ecdysozoa:



Spiralia:



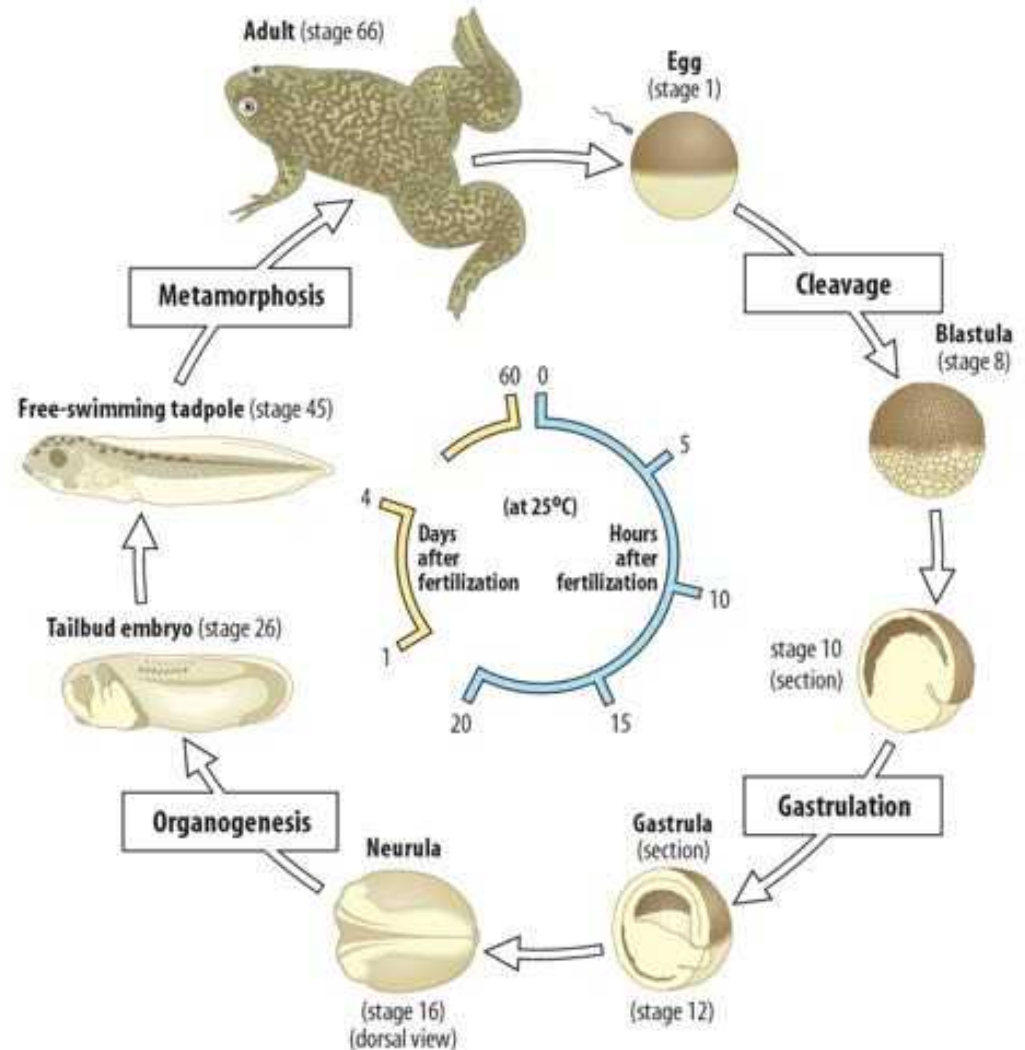
Deuterostomia:



Desenvolvimento de *Xenopus laevis*



Photo credit:
University of Rochester –
X. laevis Research Resource for Immunobiology



Videos:

<https://www.youtube.com/watch?v=dXpAbezDoho>

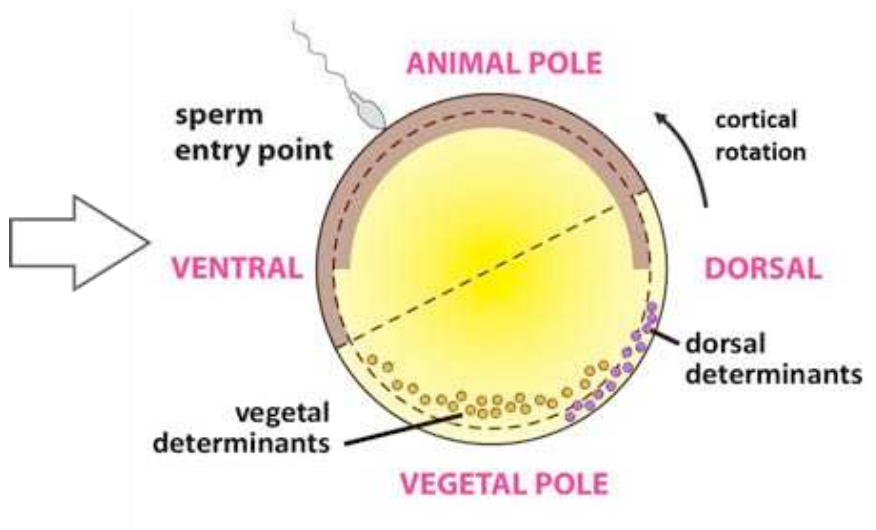
Ovo de *Xenopus*



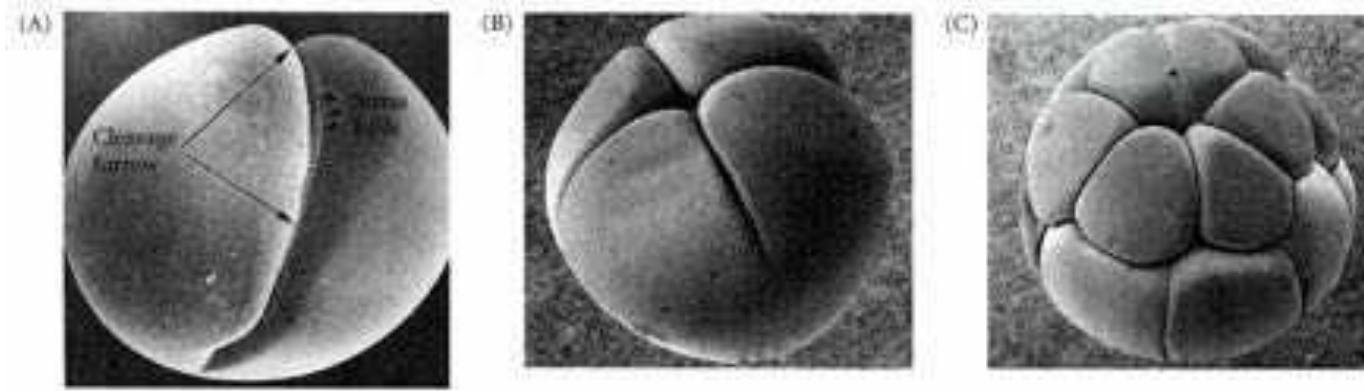
Photo credit: Steven D. Buckingham

Perguntas (para não dormir!):

- Distribuição vitelo?
- Entrada do espermatozoide?
- Simetria do ovo fertilizado?
- Eixos?

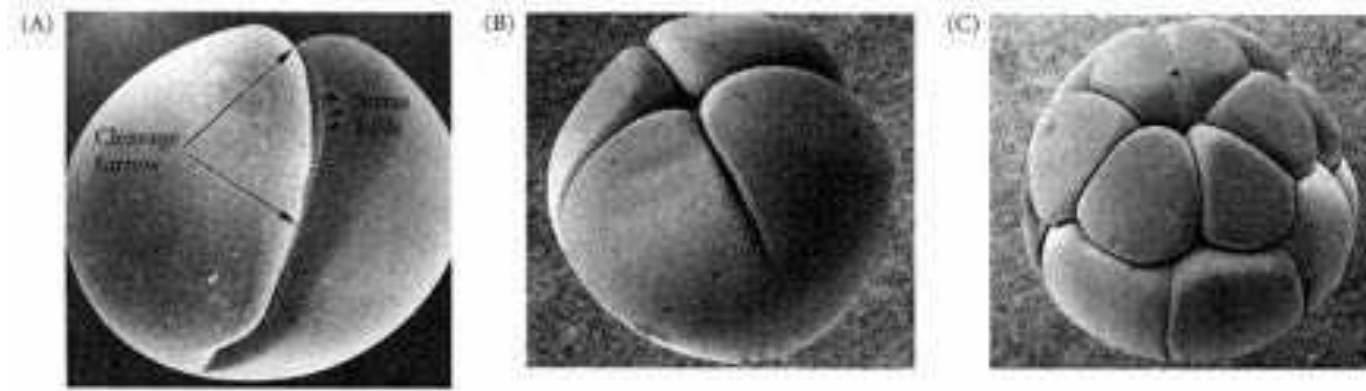


Desenvolvimento cedo de *Xenopus laevis*

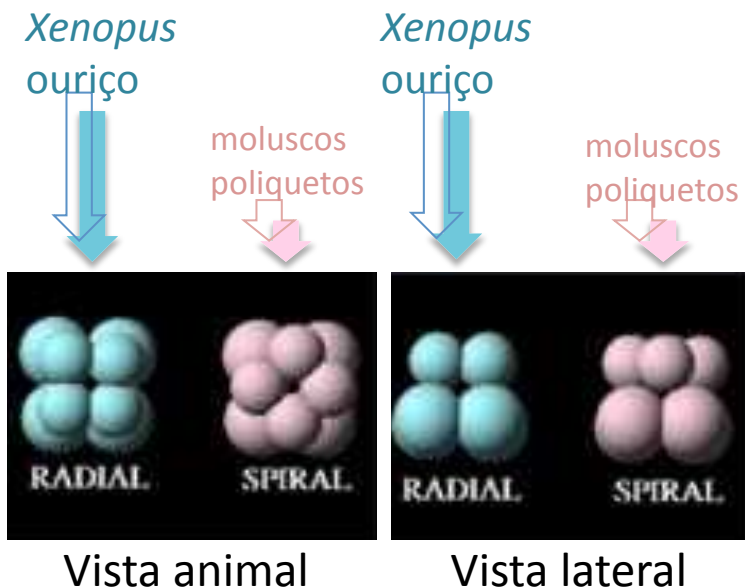


- O que ocorre depois da fertilização?
- Qual é a orientação do terçer clivajem?

Desenvolvimento cedo de *Xenopus laevis*

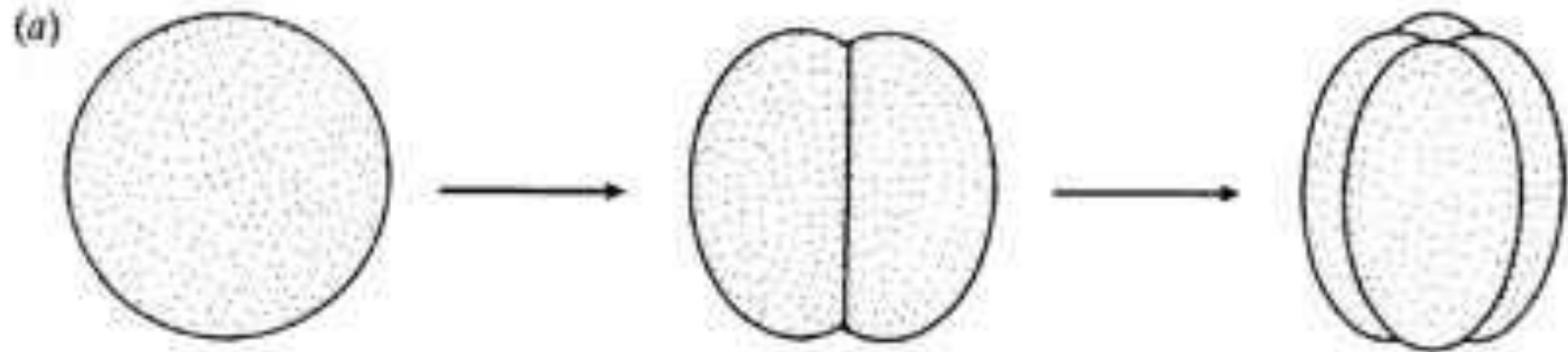


Segmentação holoblastica, radial, mesolécita, e formação da morula

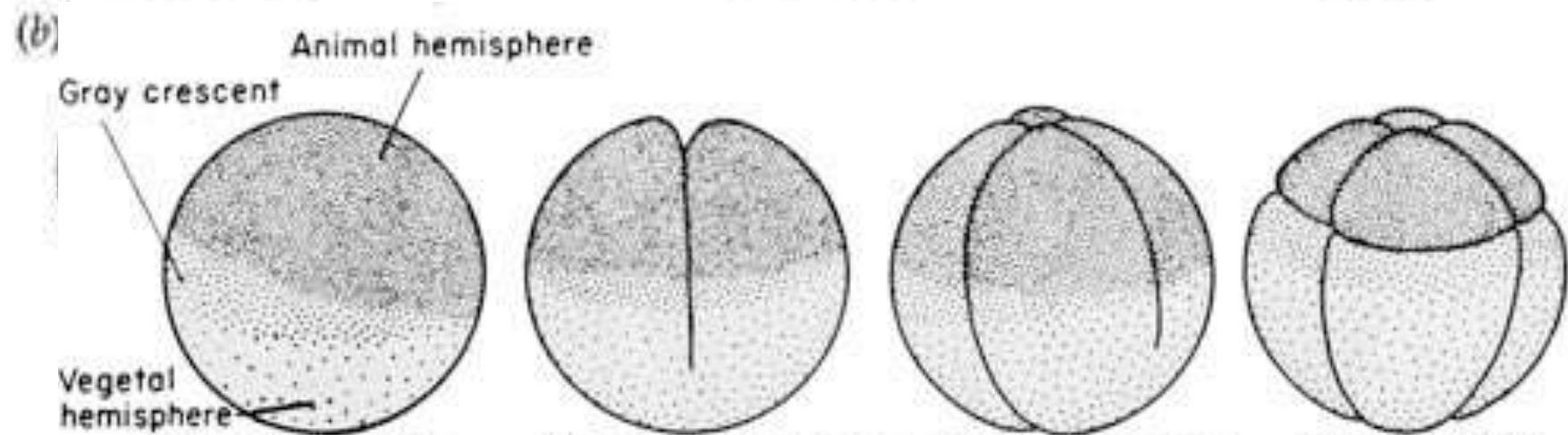


Desenvolvimento cedo de *Xenopus laevis*

O que tipo de clivagem caracteriza aos anfíbios?



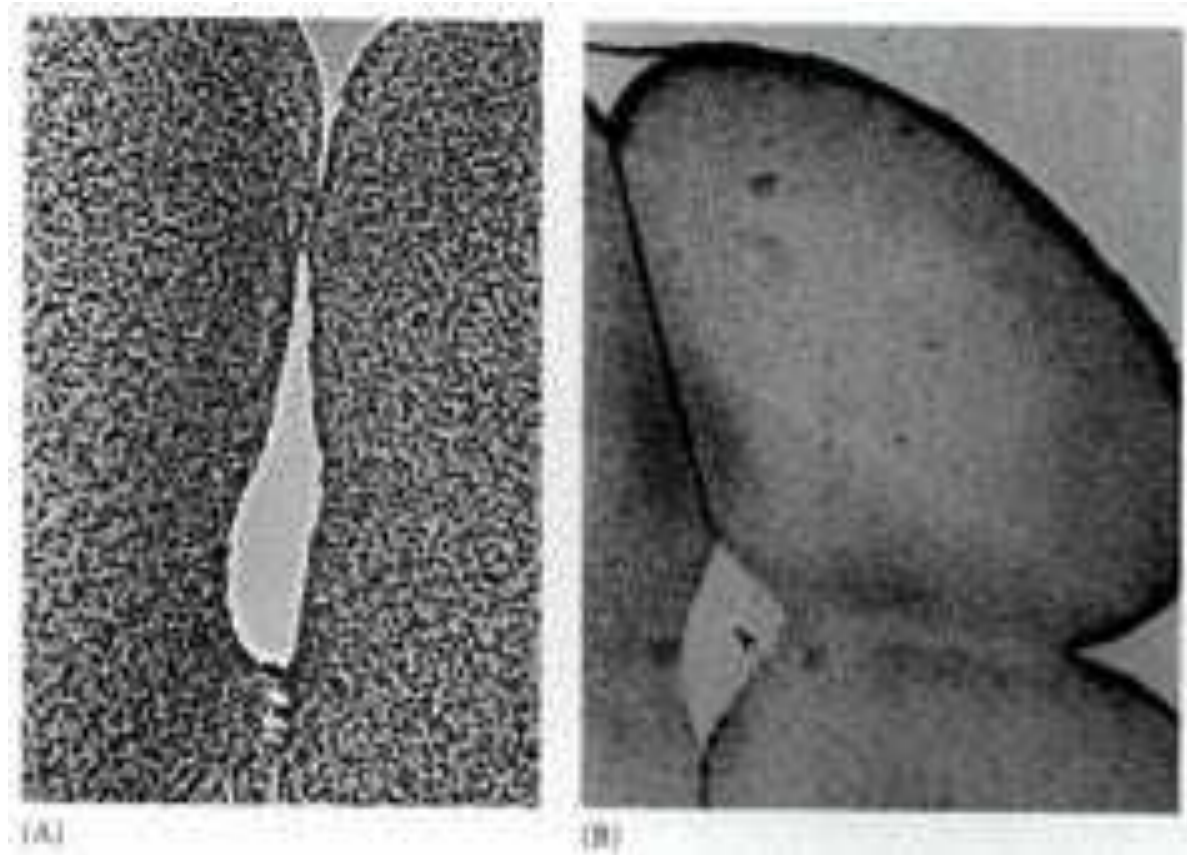
Clivagem holoblastica isolécita: ouriço



Clivagem holoblastica desigual, mesolécita: Rã

Desenvolvimento cedo de *Xenopus laevis*

O embrião continua dividendo. O que ocorre no interior?

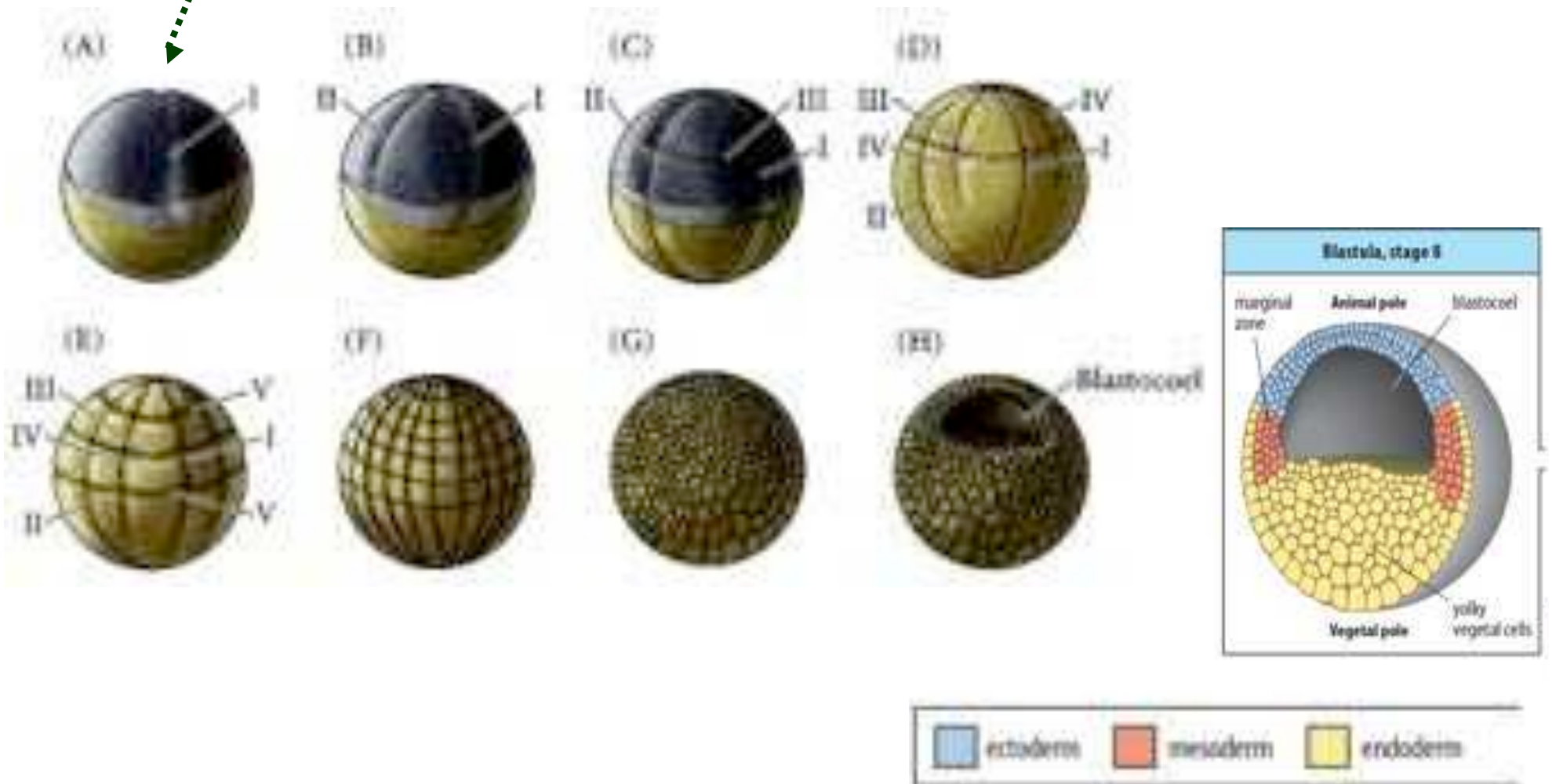


blastula-blastocoele

Desenvolvimento cedo de *Xenopus laevis*

clivagem, morula, blastula (mapas de destino)

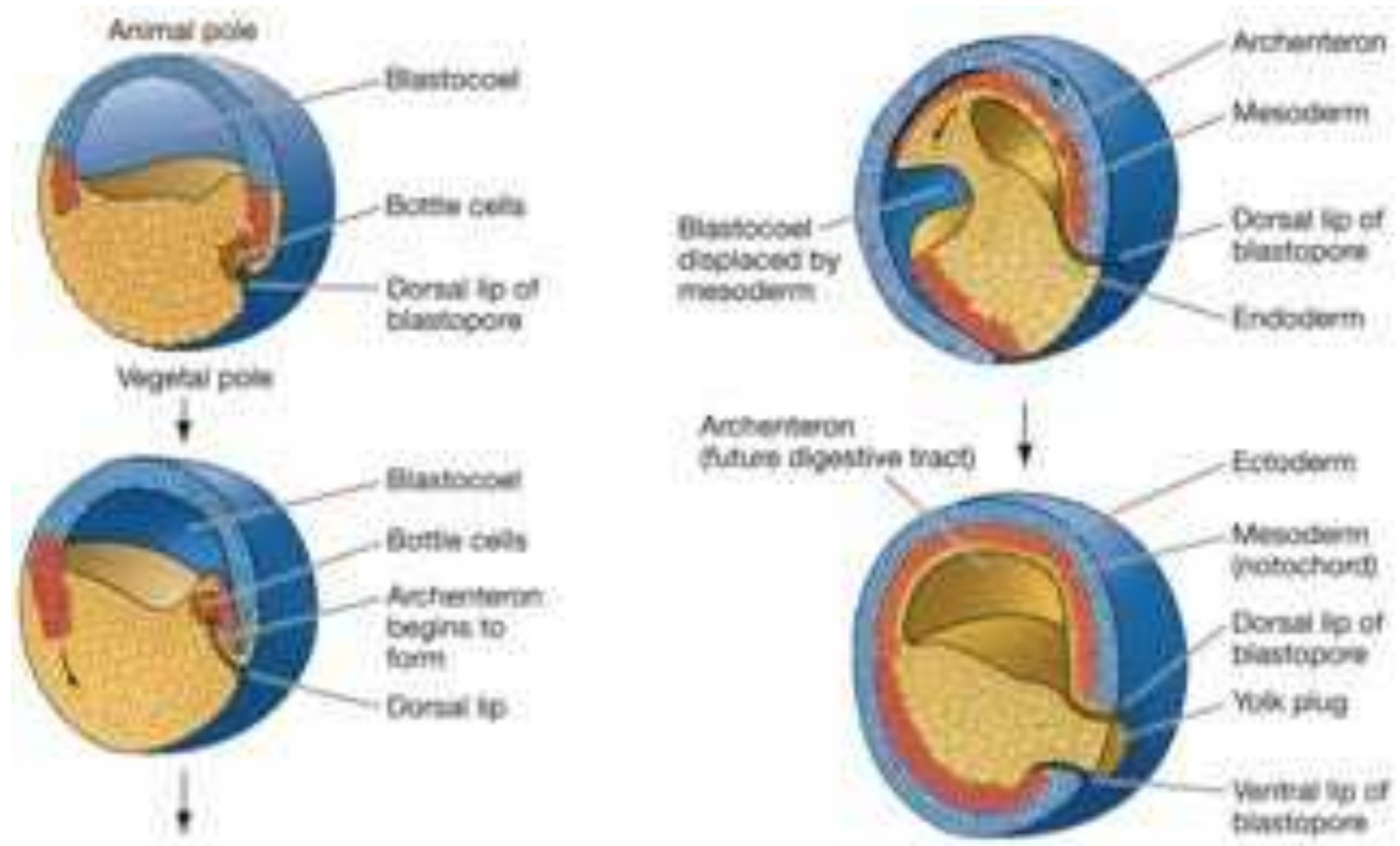
primera divisão



Perguntas (para não dormir!):

- Quando começa a gastrulação?
- A gastrulação dá origem a alguns tecidos muito importantes para o desenvolvimento dos animais? Quais são eles?
- Em muitos animais a gastrulação ocorre em paralelo aos processos iniciais da neurulação. Qual é a principal função da neurulação?

Gastrulação em *Xenopus laevis*

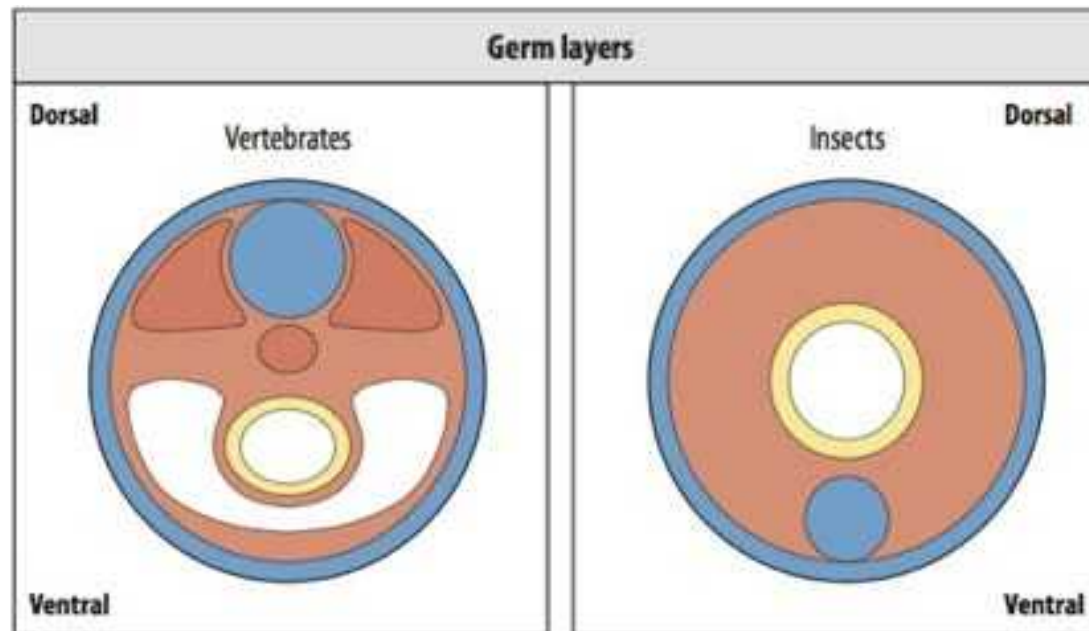


Videos:

<https://www.youtube.com/watch?v=YIUsUH9G1Mo>

Gastrulação em *Xenopus laevis*

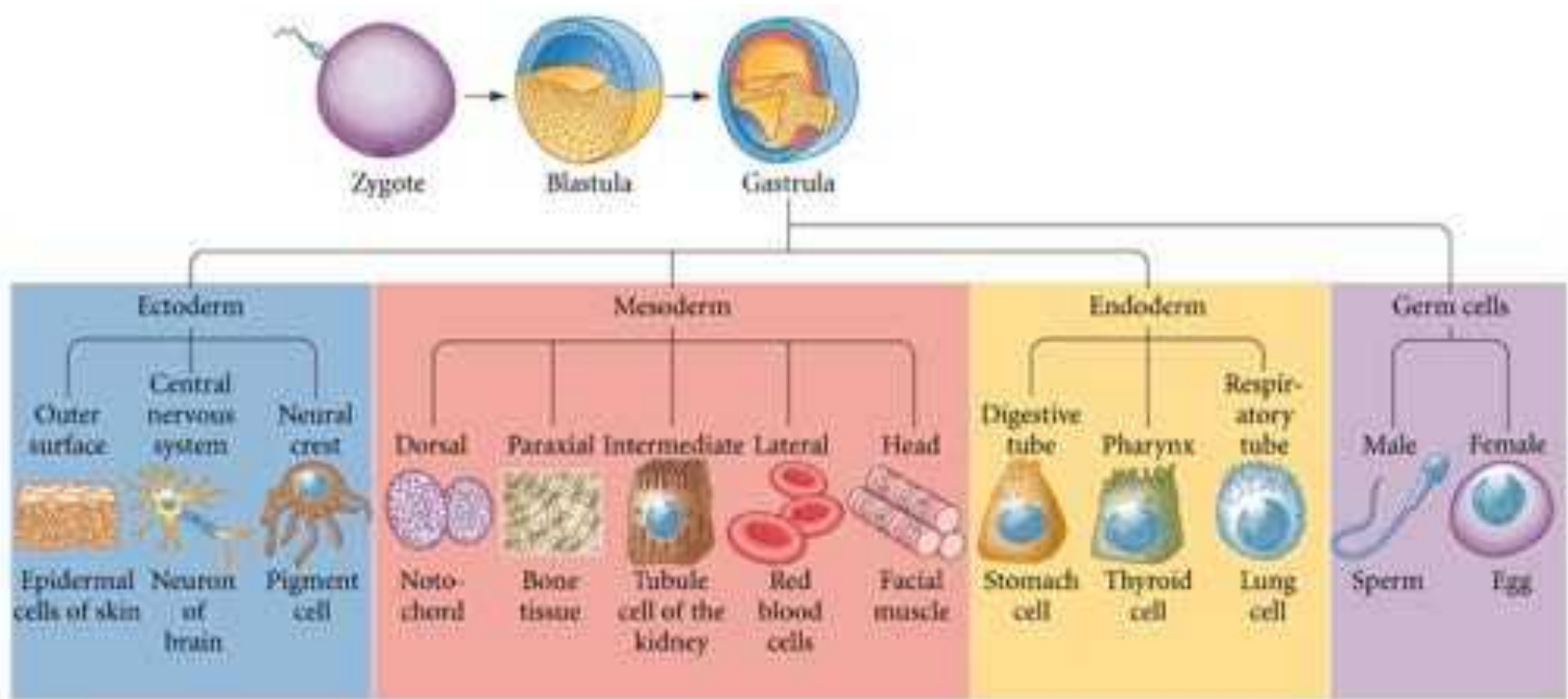
Camadas germinativas



Germ layers	Organs	
Endoderm	gut, liver, lungs	gut
Mesoderm	skeleton, muscle, kidney, heart, blood	muscle, heart, blood
Ectoderm	skin, nervous system	cuticle, nervous system

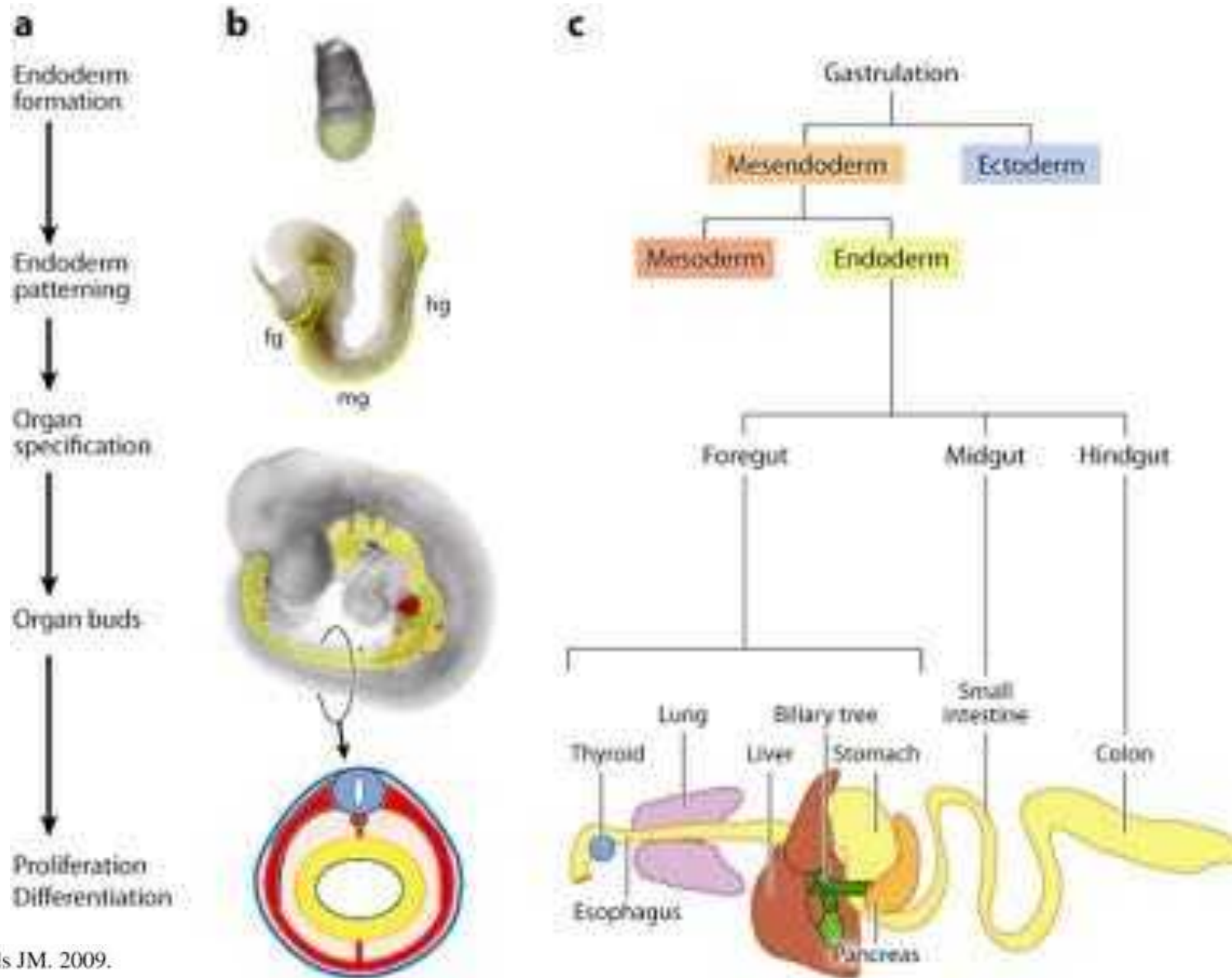
Gastrulação em *Xenopus laevis*

Camadas germinativas



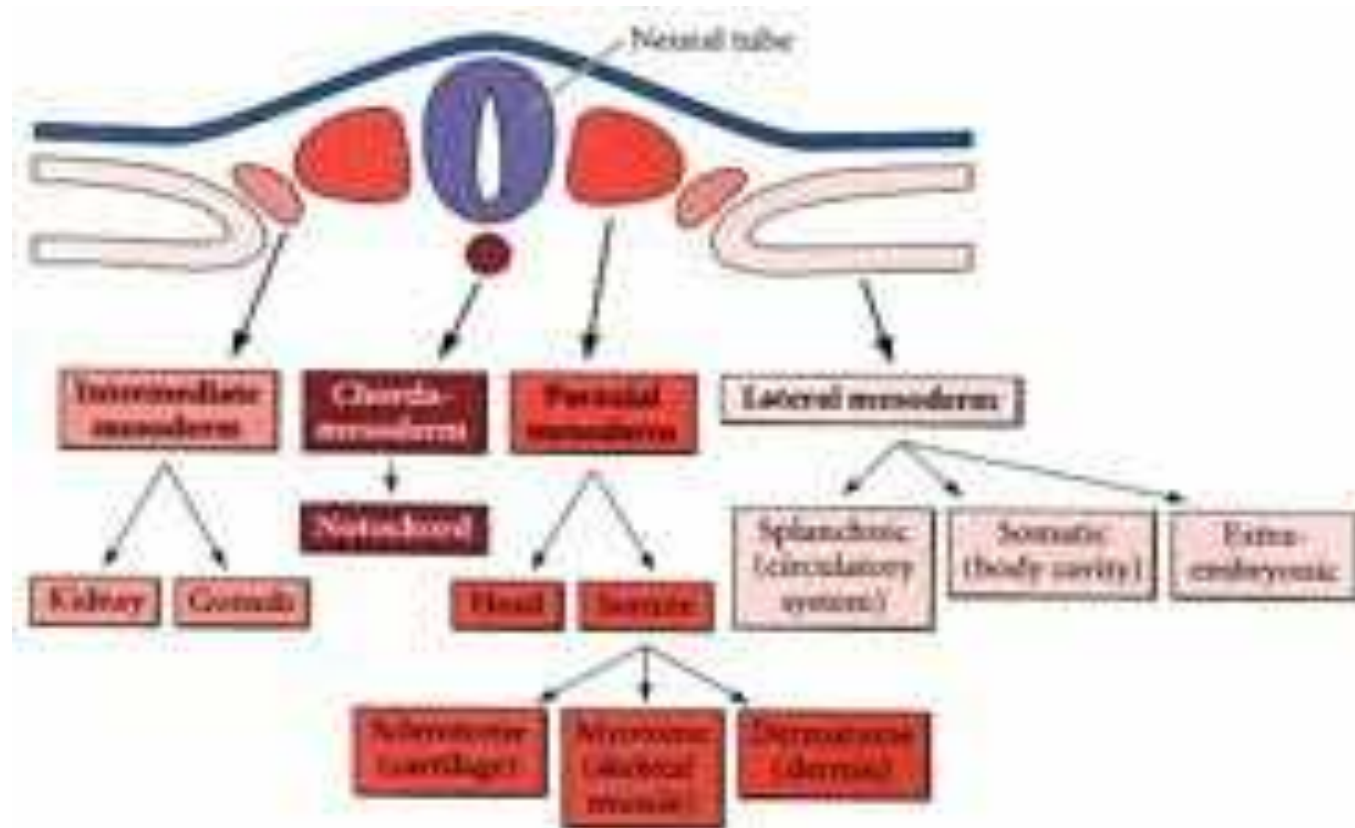
Camadas germinativas em *Xenopus laevis*

(1) endoderme



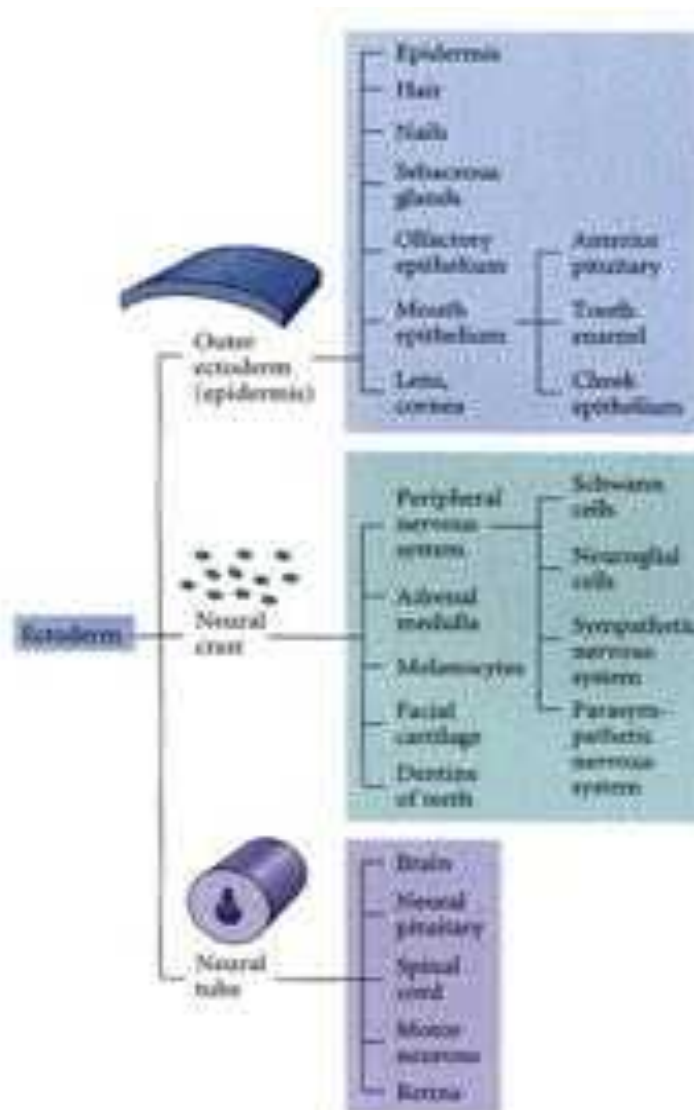
Camadas germinativas em *Xenopus laevis*

(2) mesoderme

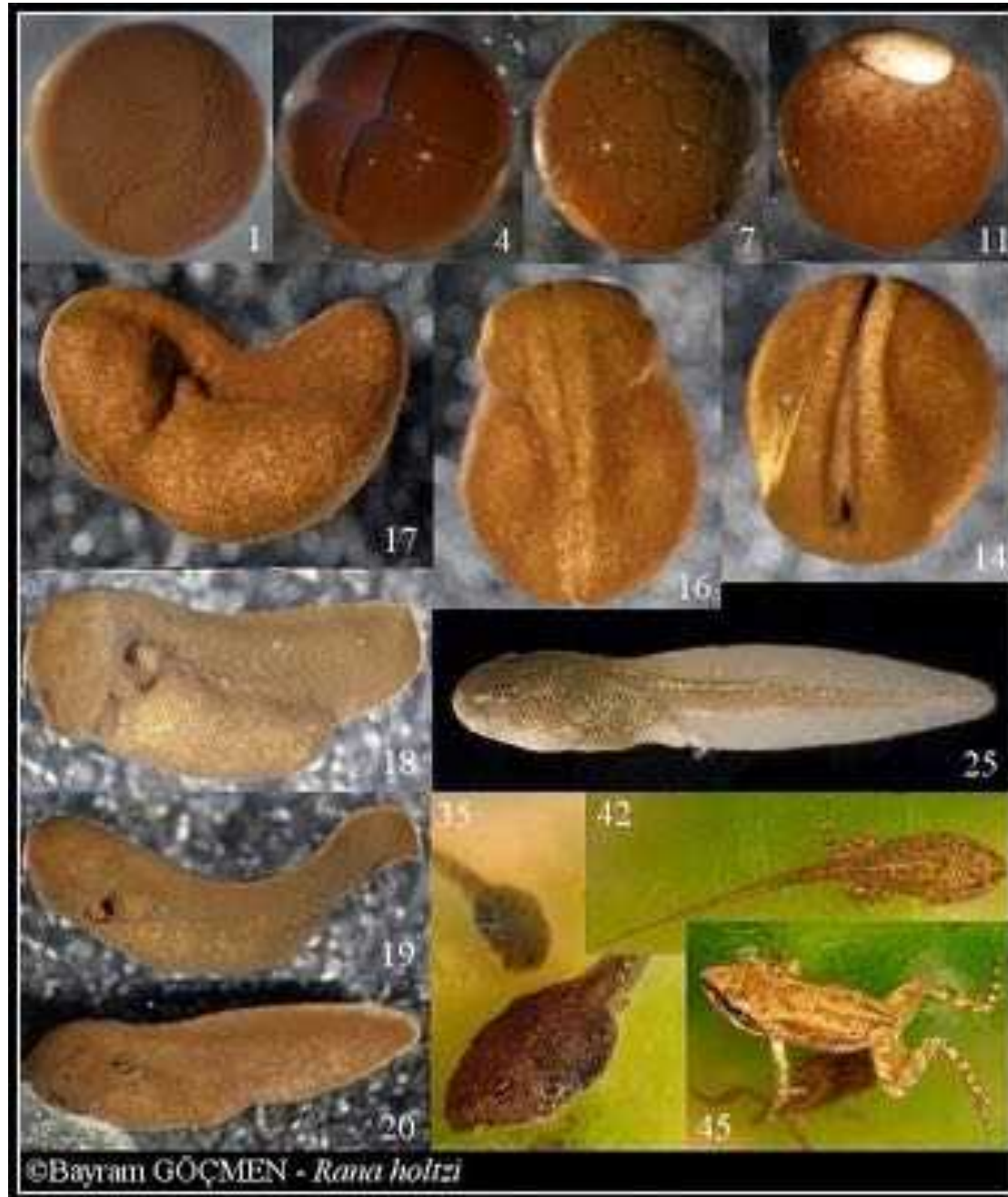


Camadas germinativas em *Xenopus laevis*

(3) ectoderme

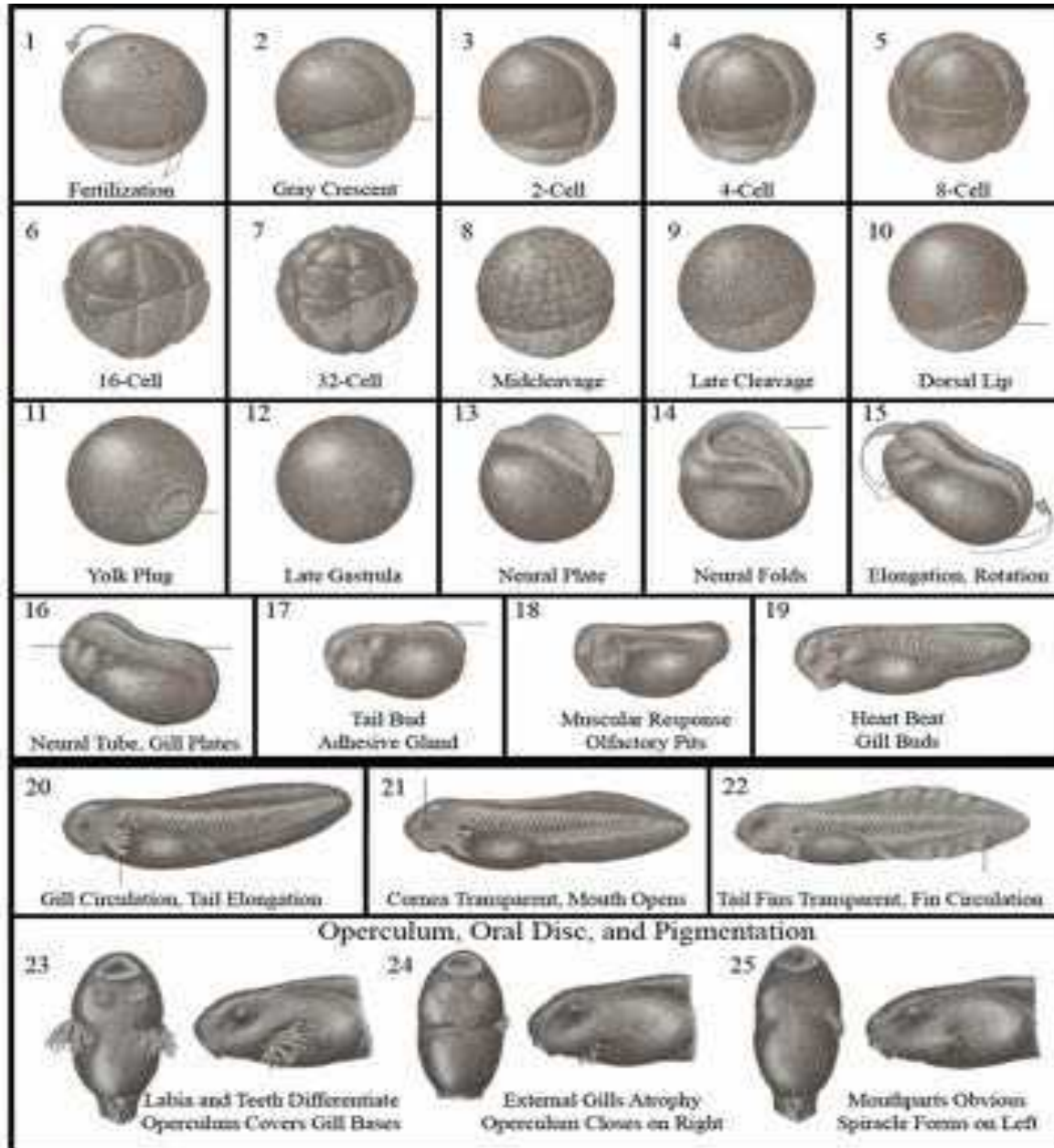


Desenvolvimento padronizado em sapos e rãs



Desenvolvimento padronizado em sapos e rãs

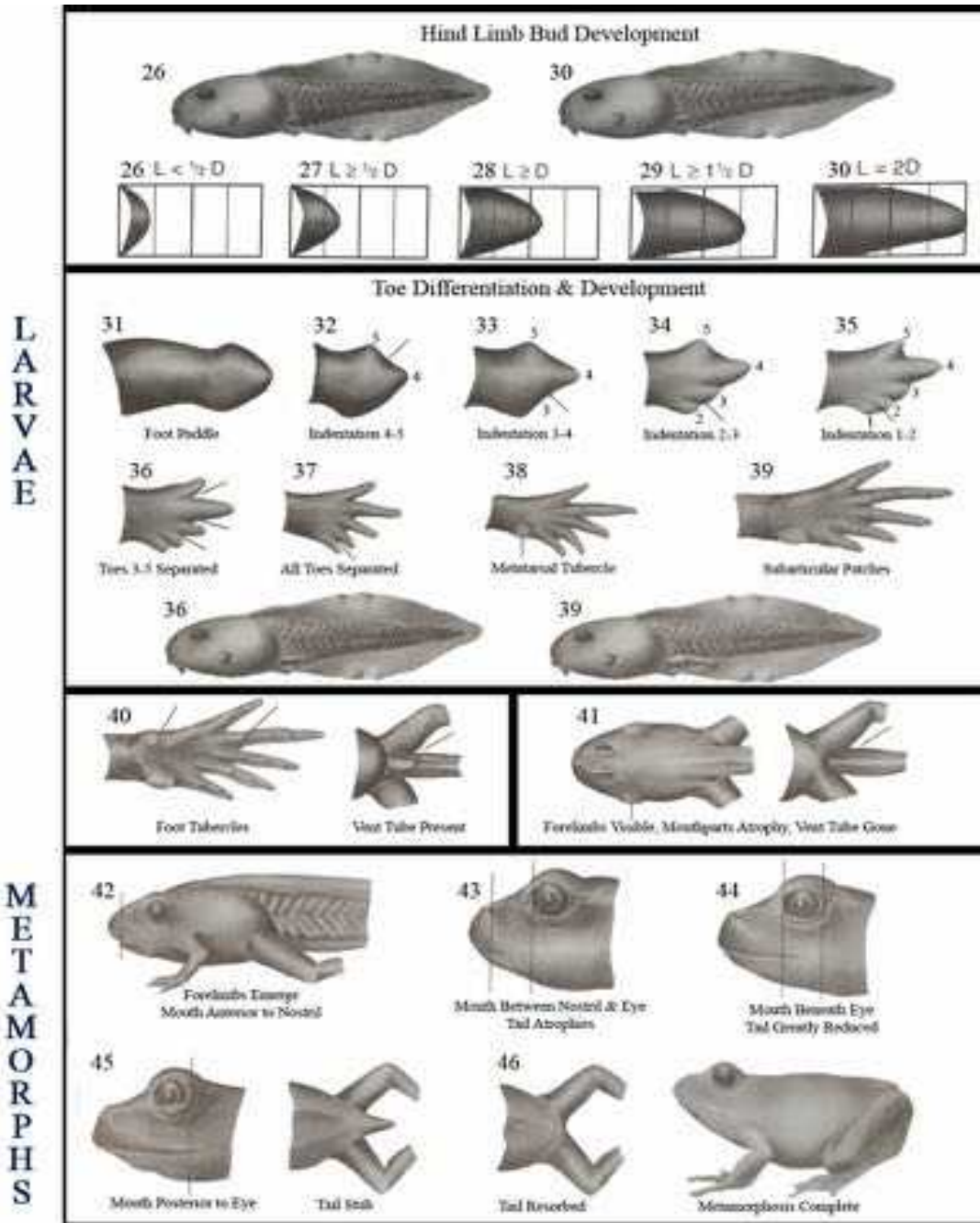
E M B R Y O S



H A T C H L I N G S

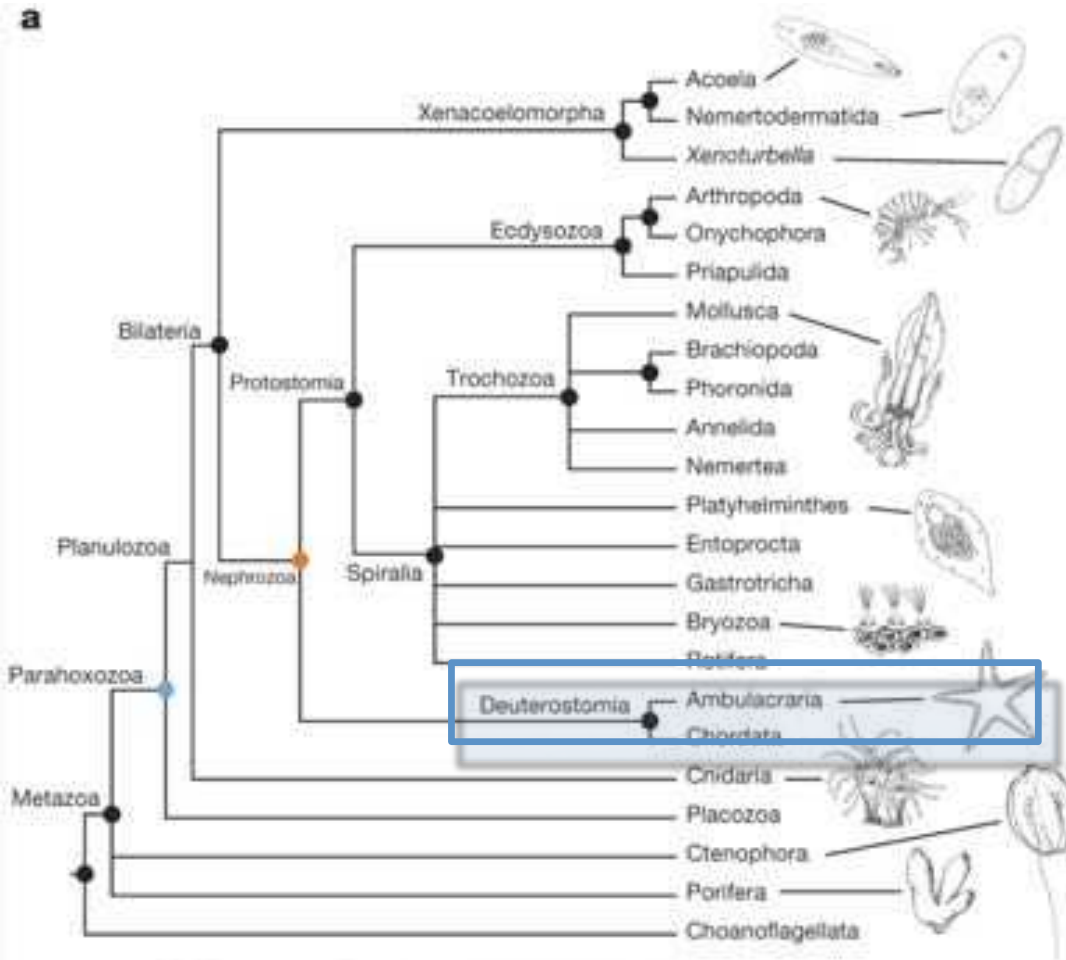
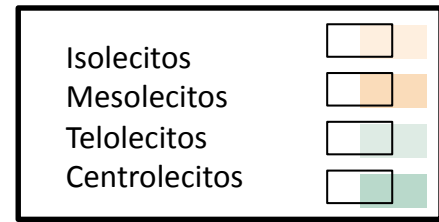
Estágios do desenvolvimento de Gosner 1960

Desenvolvimento padronizado em sapos e rãs

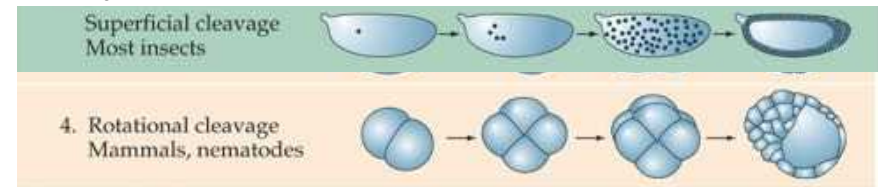


Estágios do desenvolvimento de Gosner 1960

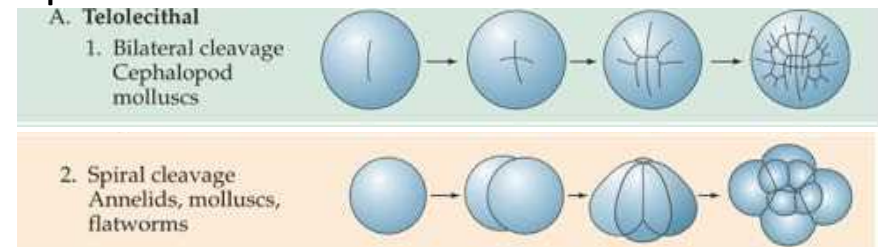
Padrões embriológicos nos deuterostomios:



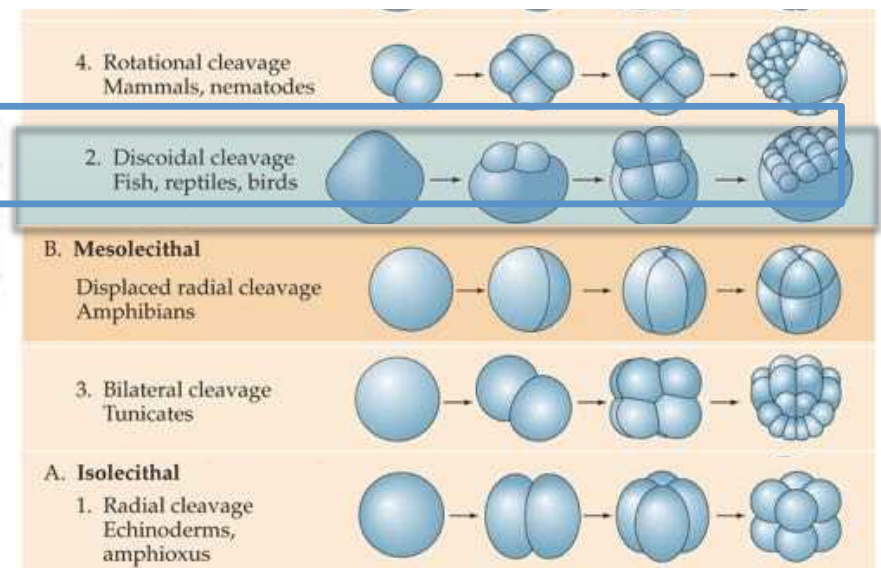
Ecdysozoa:



Spiralia:

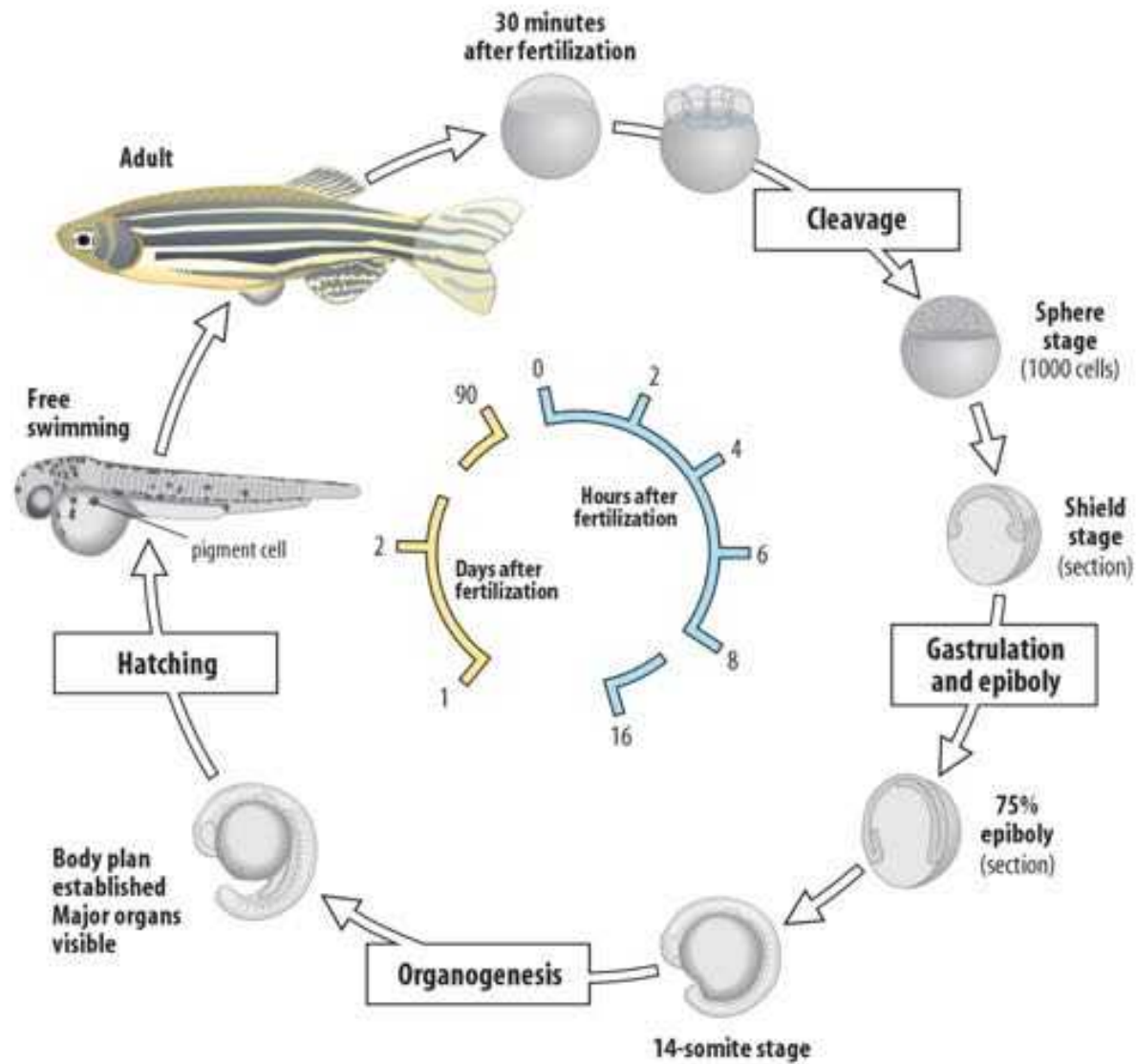


Deuterostomia:



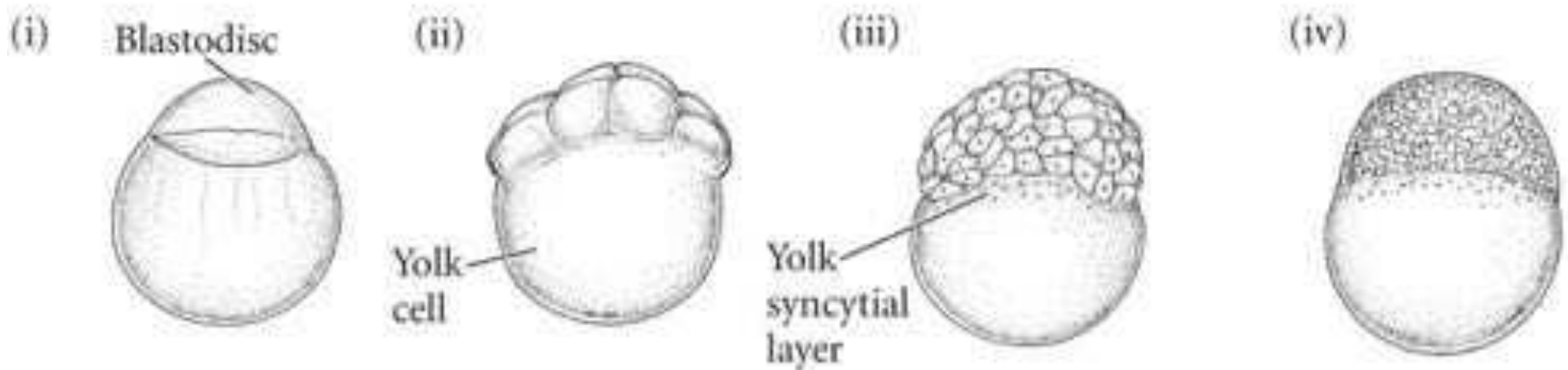
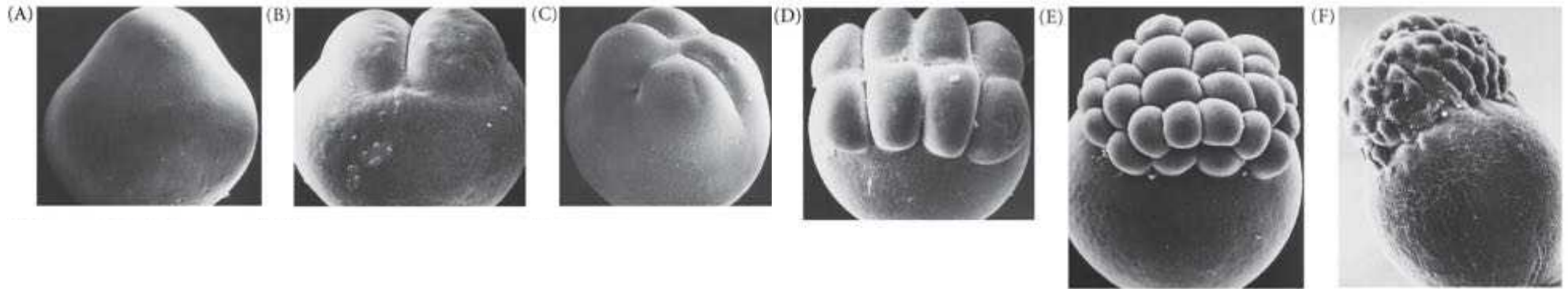
Desenvolvimento de *Danio rerio*

Zebrafish development occurs very rapidly



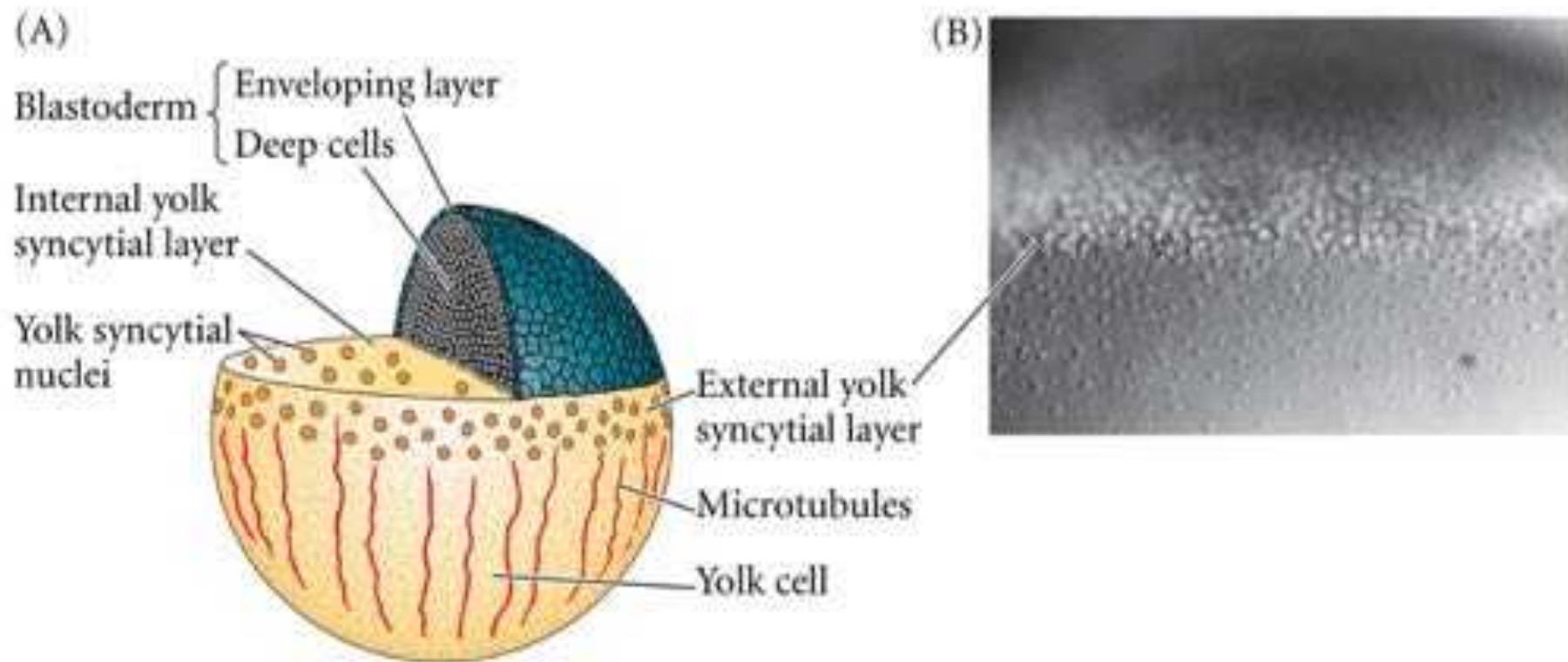
Desenvolvimento cego de *Danio rerio*

Clivagem discoidal meroblastico no “zebrafish”



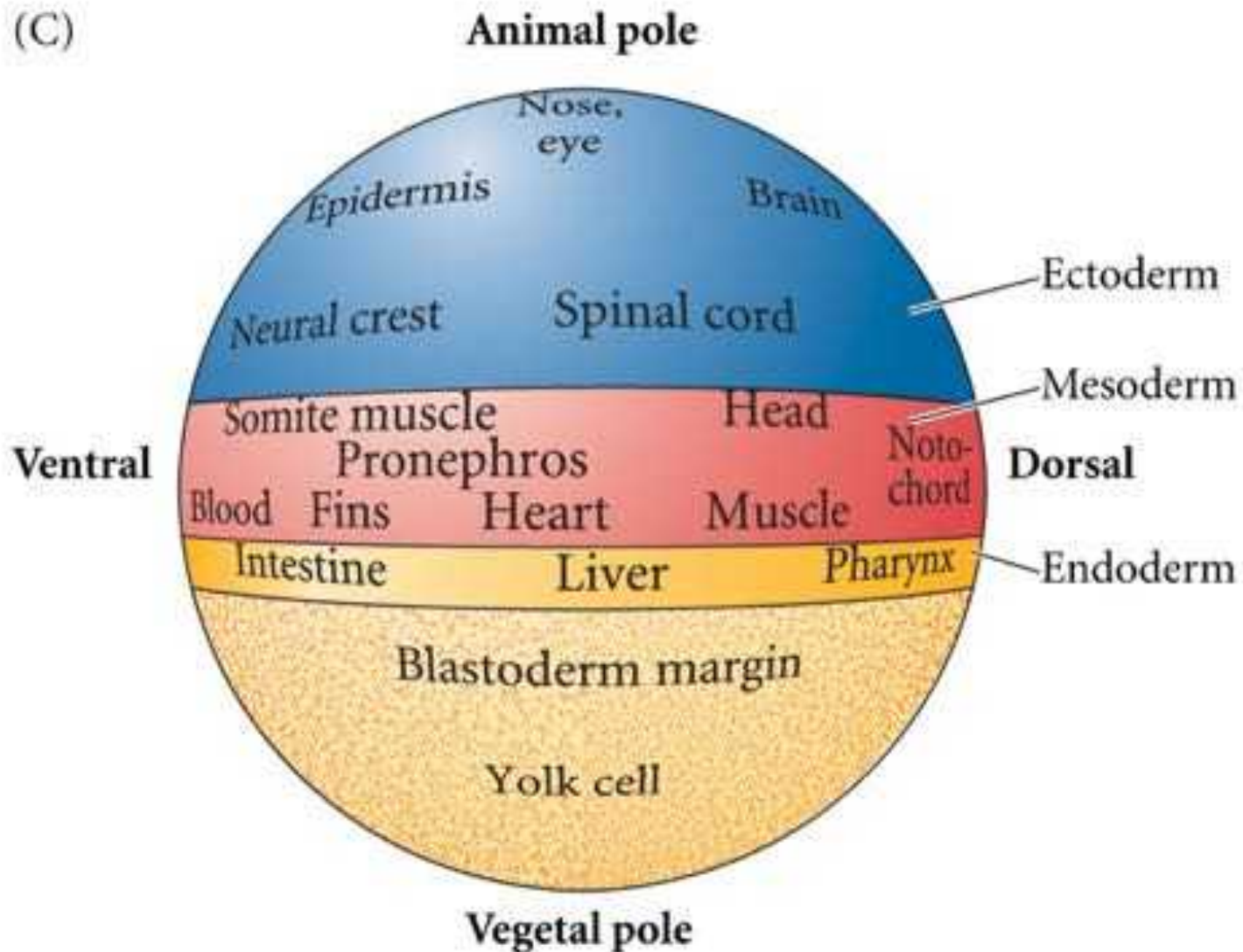
Desenvolvimento cado de *Danio rerio*

Fish “blastula”

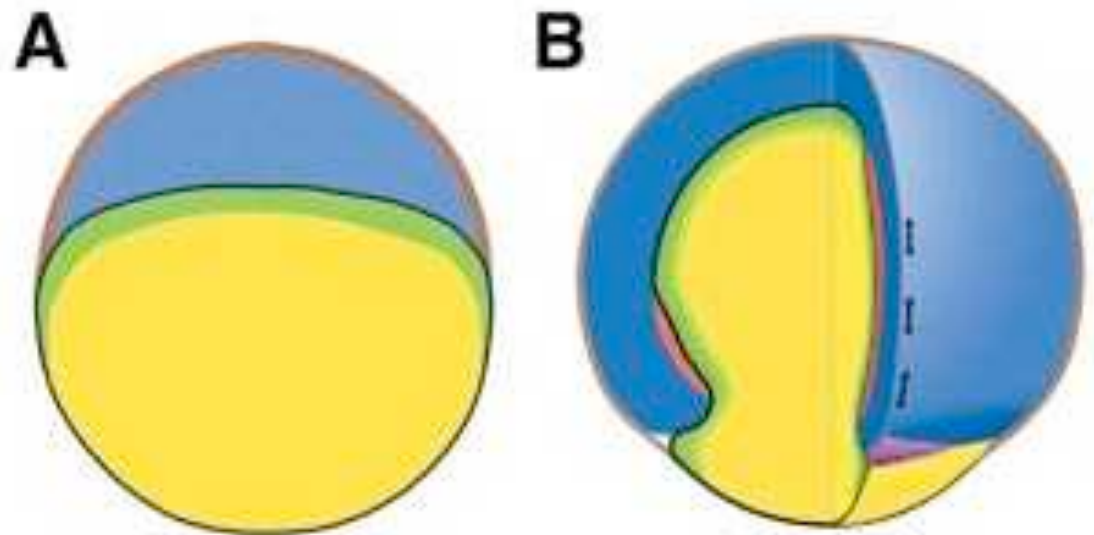
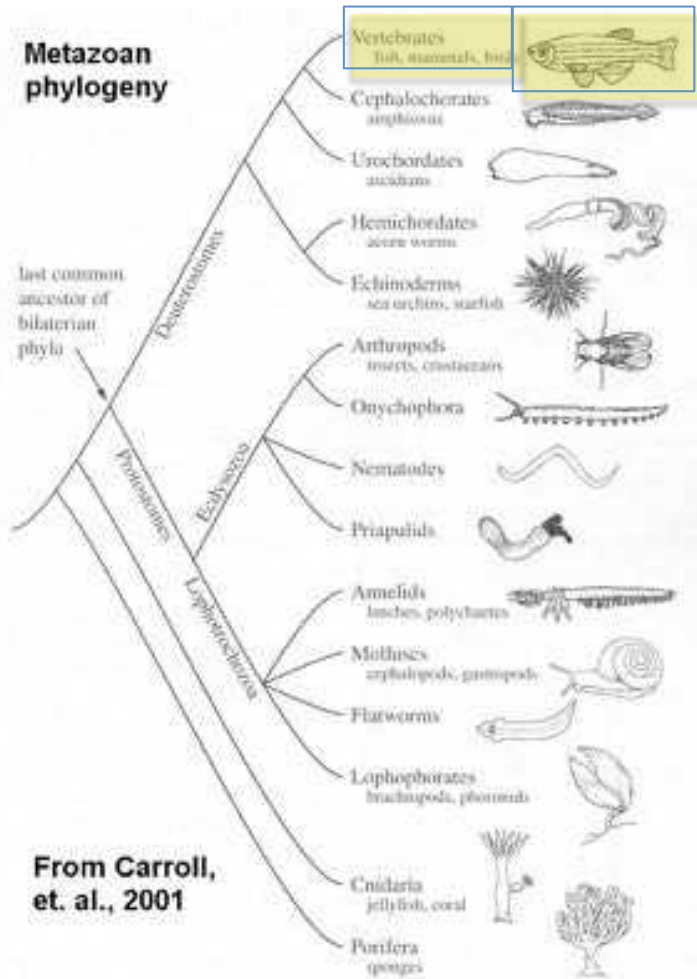


Desenvolvimento cego de *Danio rerio*

Mapa de destino celular

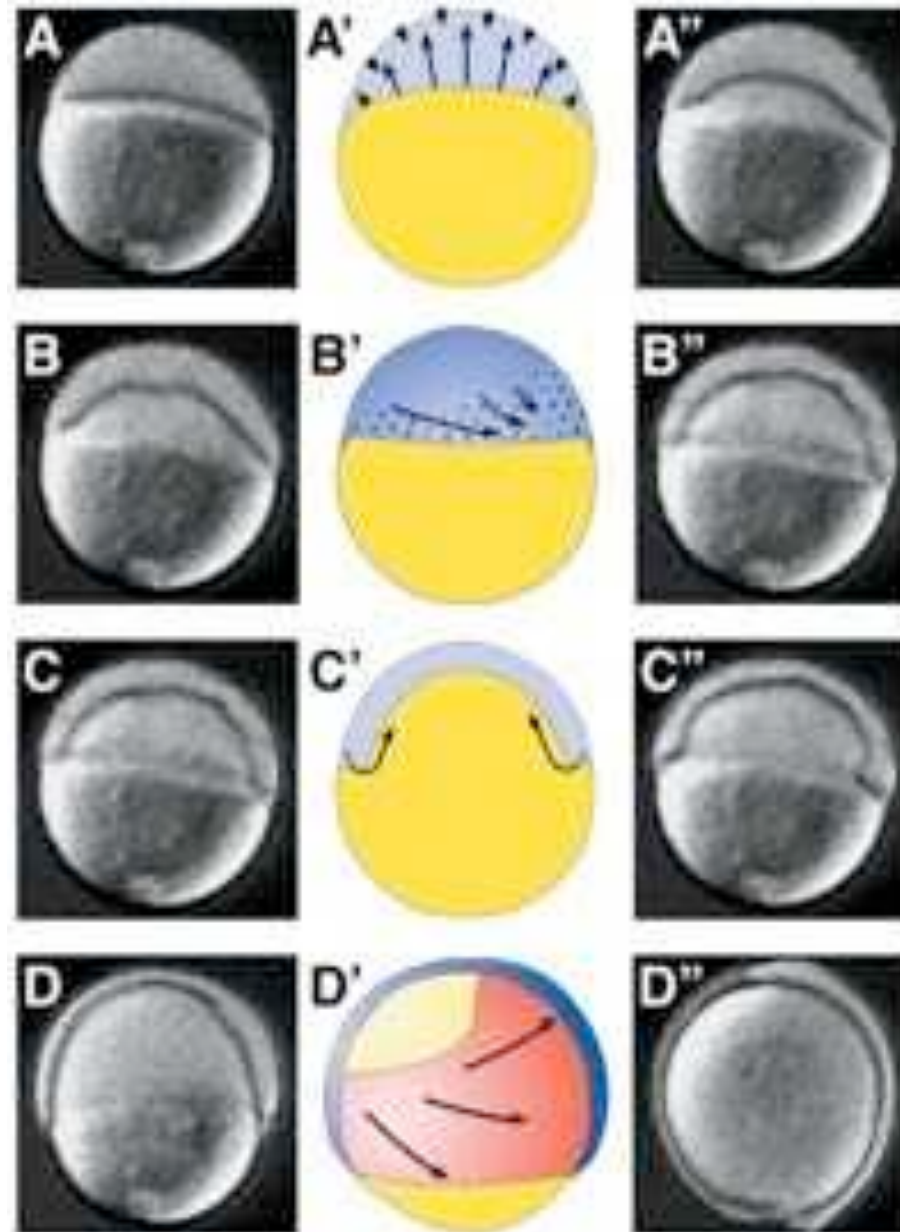


Gastrulação em “zebrafish”



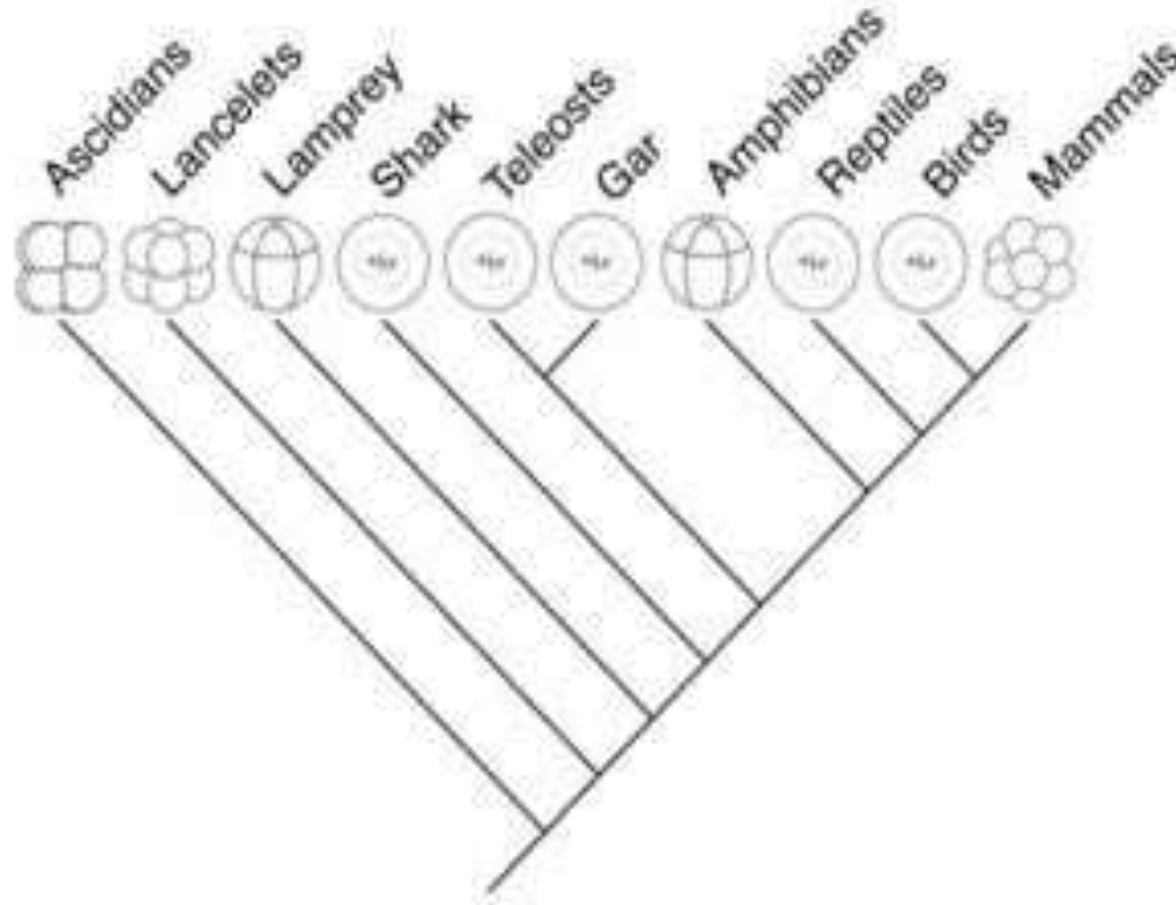
© Donald A. Kane and Rachel M. Warga
 From *Gastrulation: From Cells to Embryo*
 © 2004 Cold Spring Harbor Laboratory Press
 Chapter 12, Figure 1

Gastrulação em “zebrafish”



Padrões evolutivos de clivagens nos cordados:

Padrões de clivagens são muito variáveis

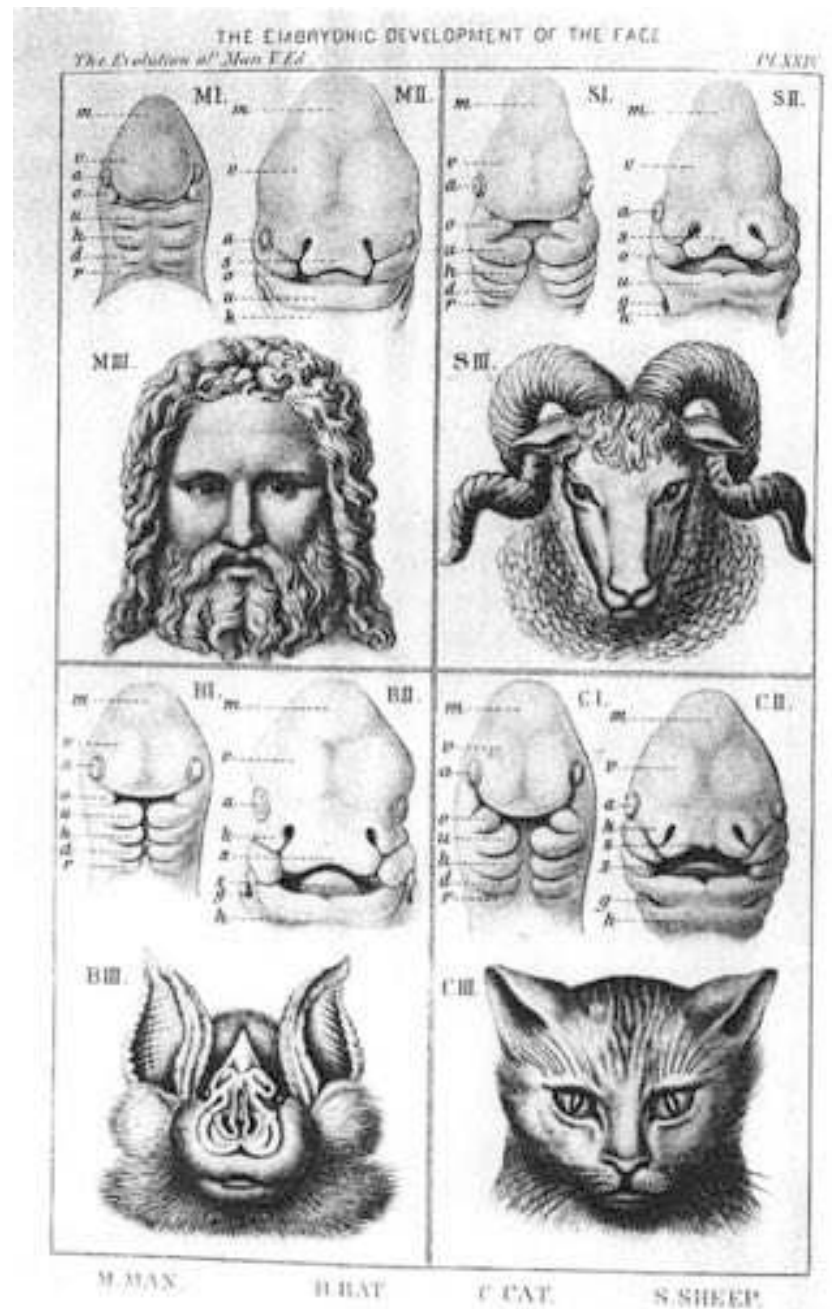


Modo ancestral provavelmente foi holoblástico

(Chea, et al., 2005)

Mecanismos do desenvolvimento e evolução

Reconstruindo
estágios ancestrais
do desenvolvimento:

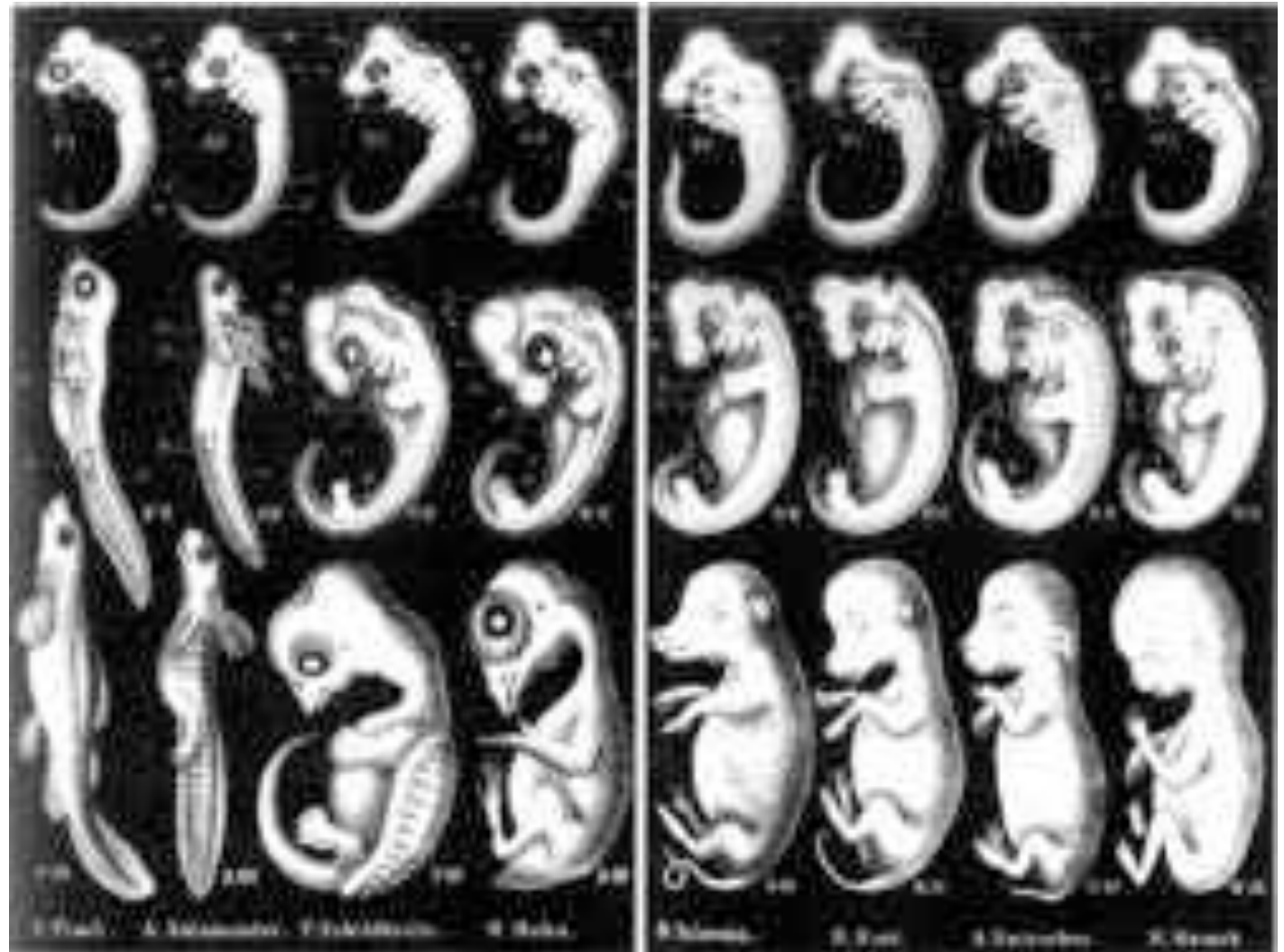


Mecanismos do desenvolvimento e evolução

Contribuições de Haeckel na sistemática

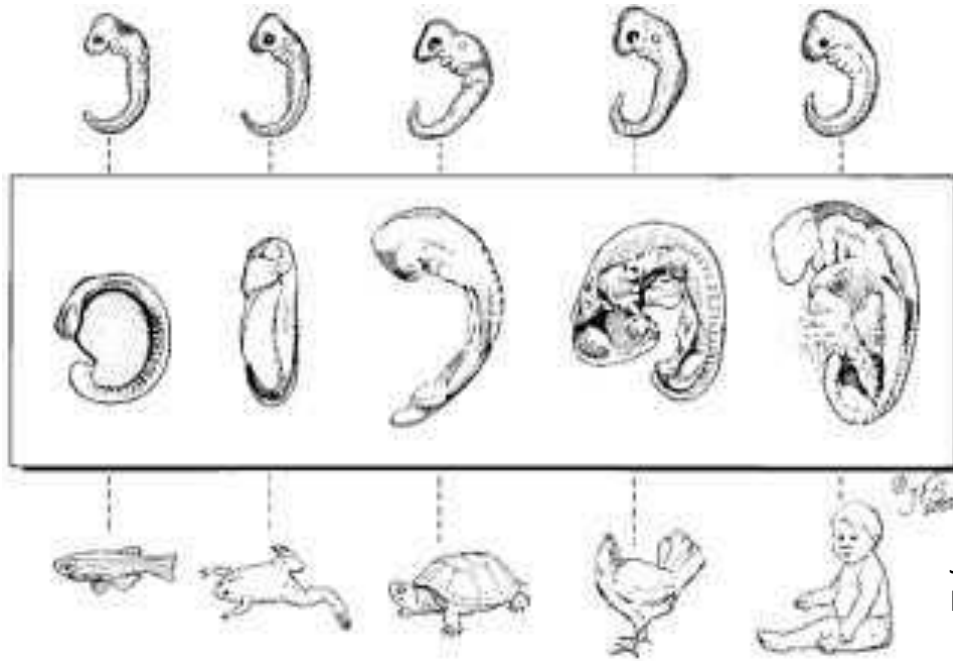
Ele integró embriologia e evolução, e propôs a teoria da recapitulação

“A ontogenia recapitula a filogenia”



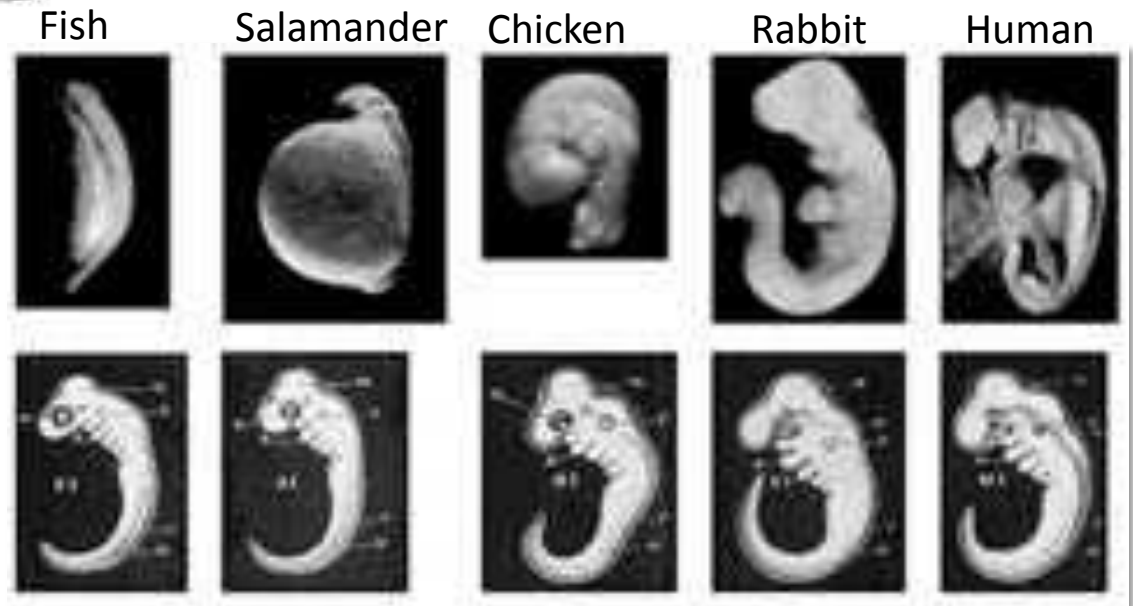
Mecanismos do desenvolvimento e evolução

Teoria da recapitulação: ciência o mito?



Desenhos do Haeckel comparados com embriões verdadeiros...

J. Wells, 'Icons of Evolution: Science or myth?'
Regnery Publishing, Washington DC, 2000

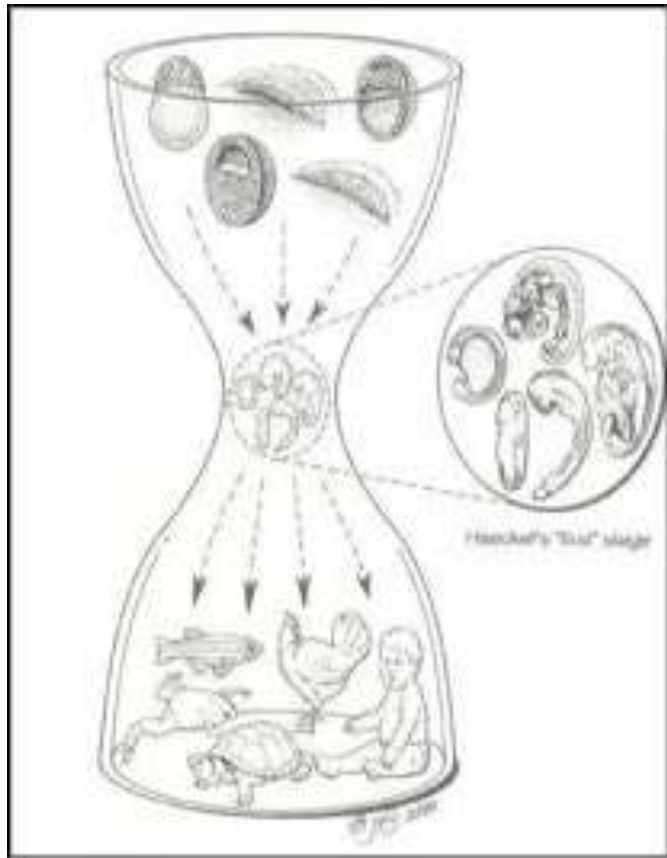


Cortesy Marcela Guzman

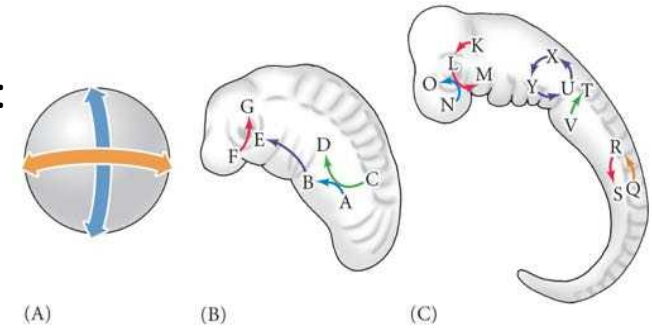
Mecanismos do desenvolvimento e evolução

Teoria da recapitulação: ciência o mito?

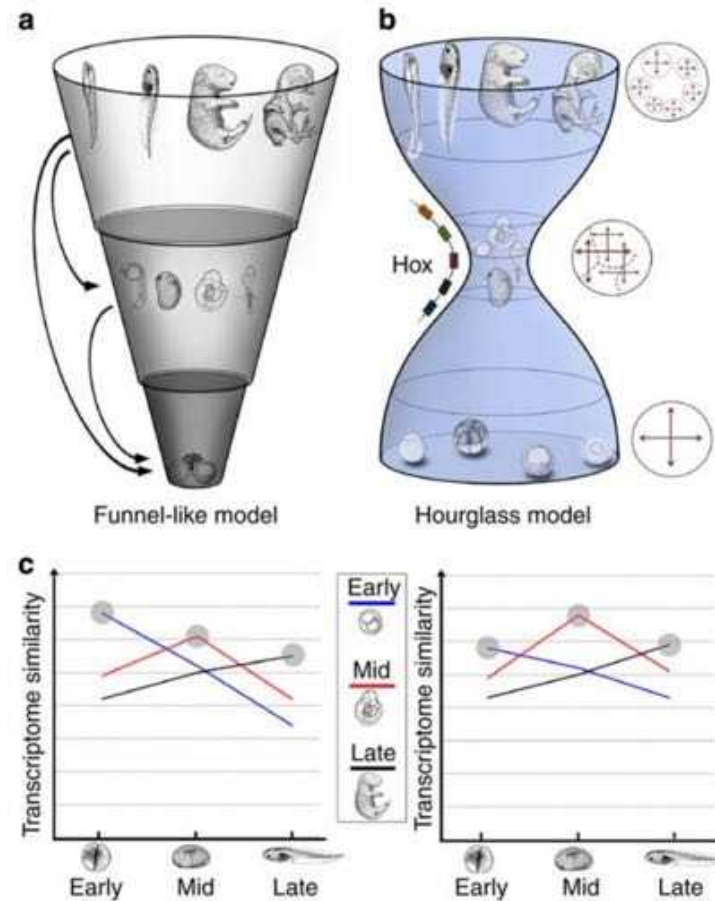
A ampulheta ou gargalo da ontogenia (Richardson, 1997)



Faringula (Gilbert, 1991):



Análisis transcriptómico do estágio filotípico (Irie & Kuratani, 2011):



FORMAS NA NATUREZA: COMO SE *GERAM*, *MANTEM* OU *PERDEM*?

- ORIGEM DAS NOVEDADES EVOLUTIVAS
 - **Restrições no desenvolvimento**
 - Alometria e campos morfogenéticos
- “TOOLKIT GENICO” E MODULARIDADE
 - Genes Hox
 - Modularidade em formas animais
- MODIFICACOES CELULARES
 - Apoptose

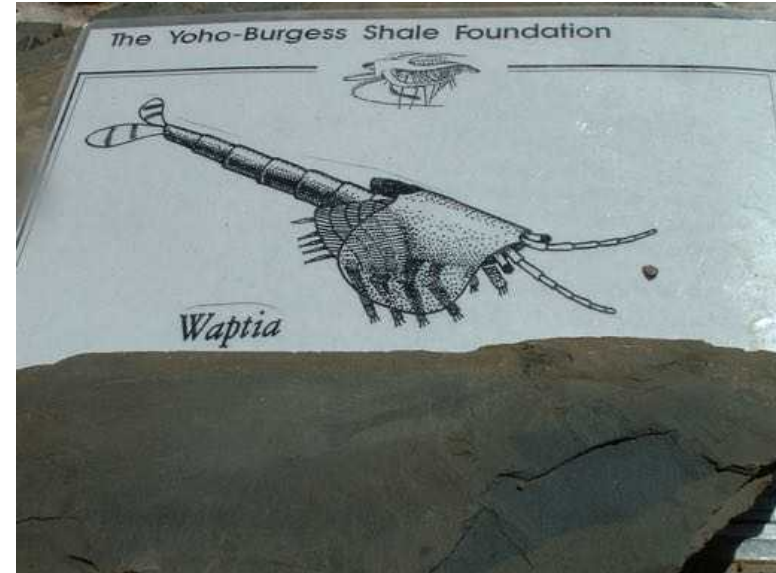
RESTRIÇÕES NO DESENVOLVIMENTO

Evolução de planos corpóreos: padrões e tempos evolutivos (paleontologia)



RESTRIÇÕES NO DESENVOLVIMENTO

Evolução de planos corpóreos: padrões e tempos evolutivos (paleontologia)



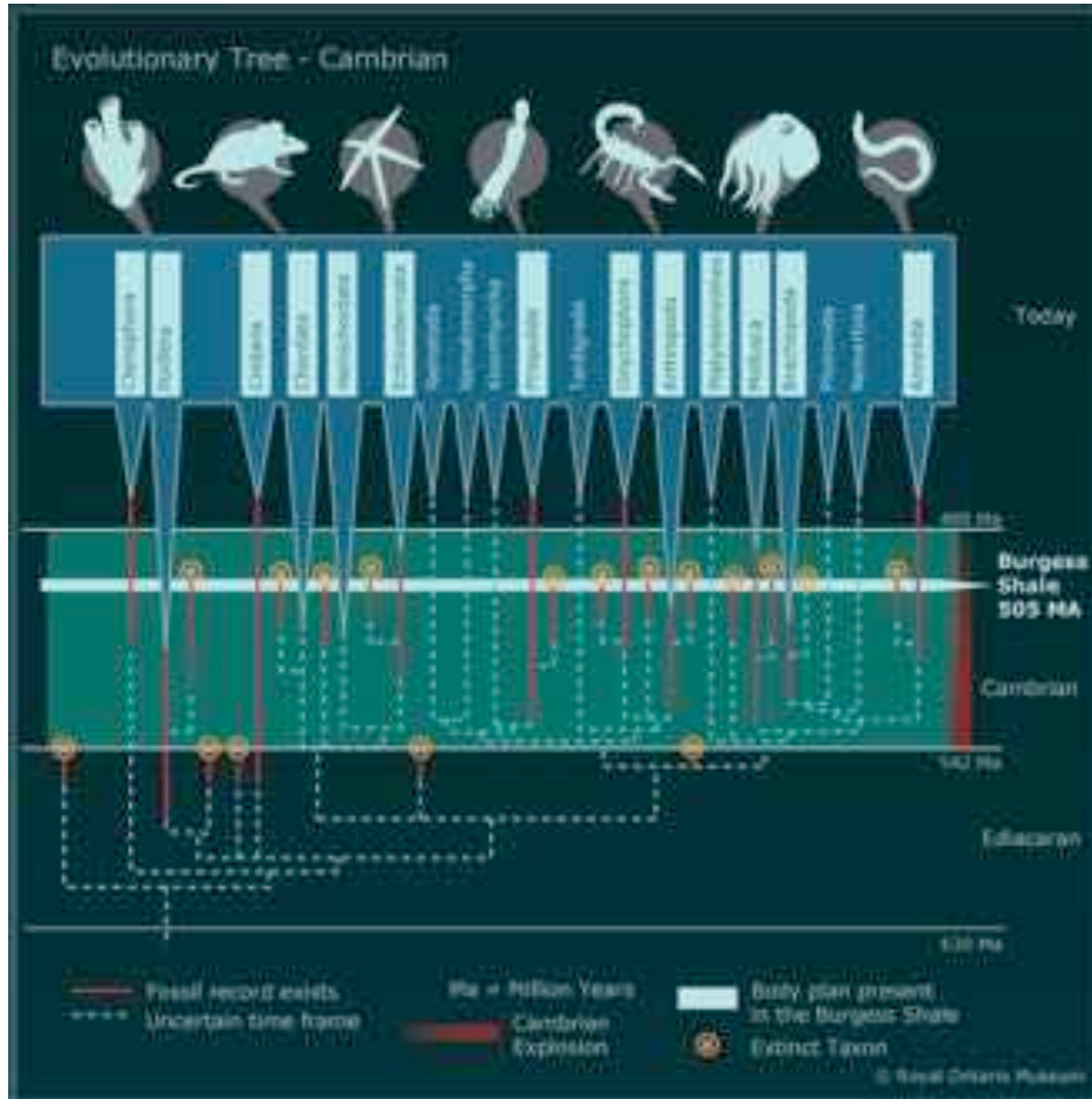
RESTRIÇÕES NO DESENVOLVIMENTO

Evolução de planos corpóreos: padrões e tempos evolutivos (paleontologia)



RESTRIÇÕES NO DESENVOLVIMENTO

Evolução de planos corpóreos: padrões e tempos evolutivos (paleontologia)



FORMAS NA NATUREZA: COMO SE *GERAM*, *MANTEM* OU *PERDEM*?

- ORIGEM DAS NOVEDADES EVOLUTIVAS
 - Restrições no desenvolvimento
 - **Alometria e campos morfogenéticos**
- “TOOLKIT GENICO” E MODULARIDADE
 - Genes Hox
 - Modularidade em formas animais
- MODIFICACOES CELULARES
 - Apoptose

ALOMETRIA E CAMPOS MORFOGENETICOS



Sand lizard



Chicken



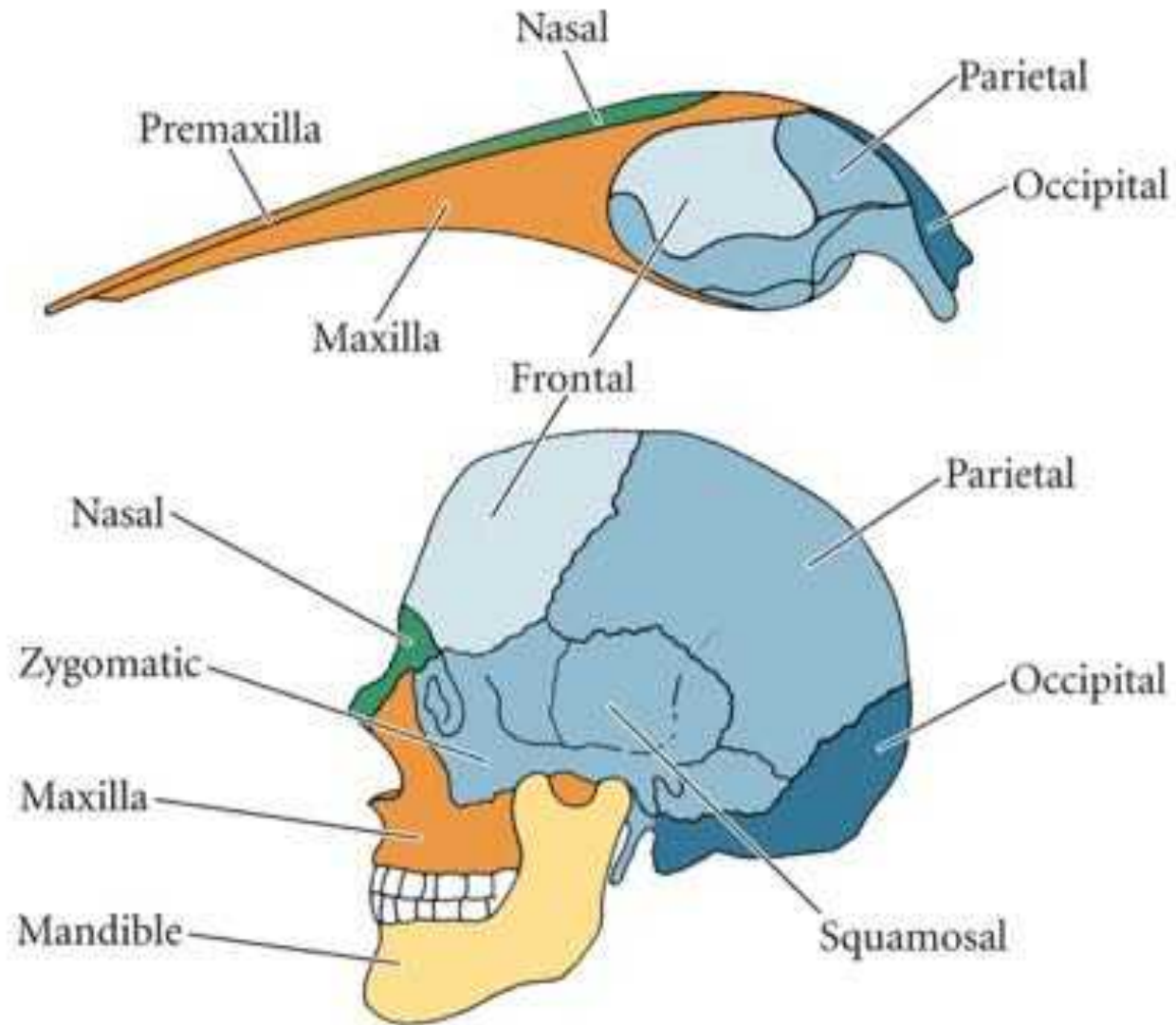
Roe deer



Spectral tarsier

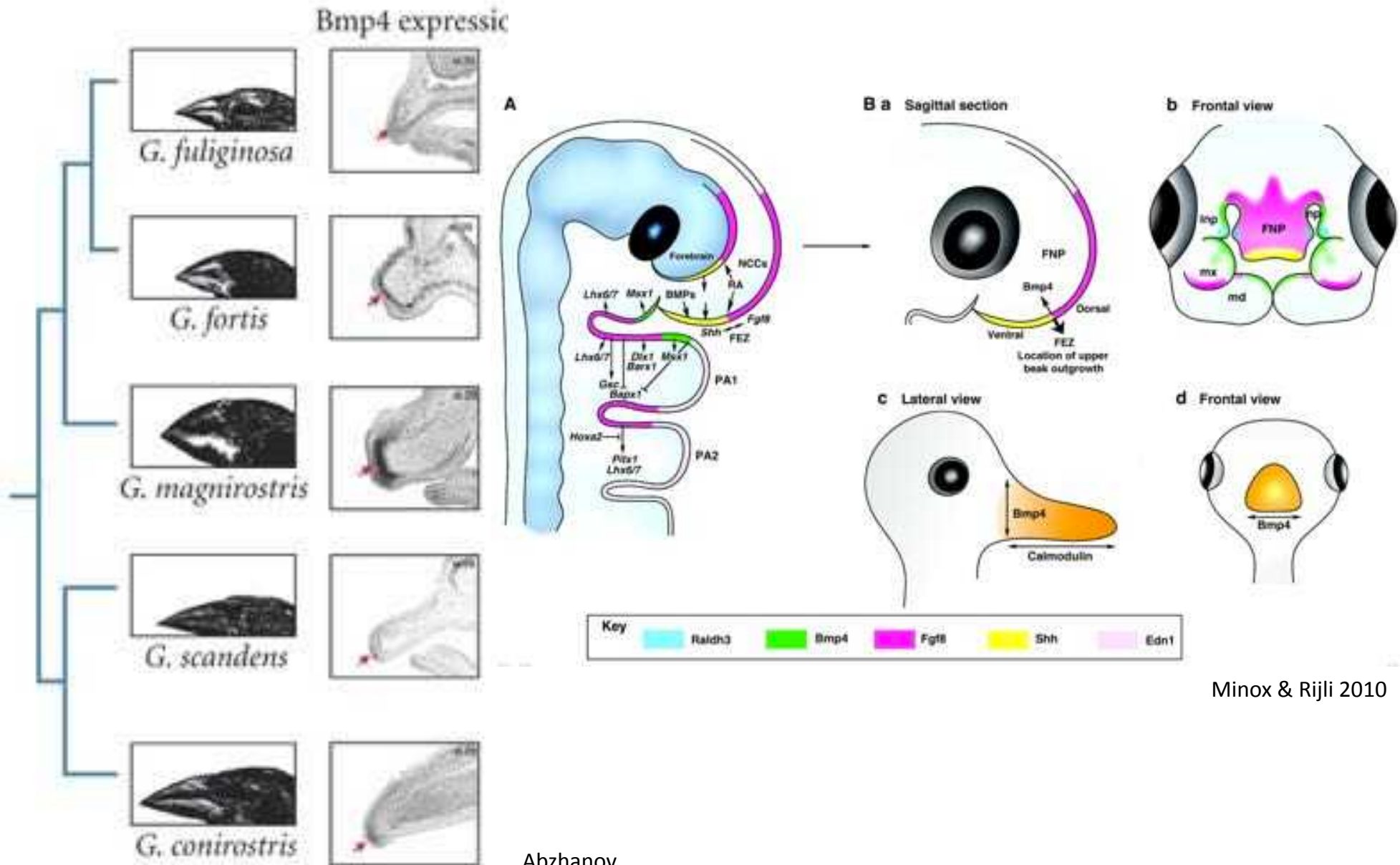


ALOMETRIA E CAMPOS MORFOGENETICOS



ALOMETRIA E CAMPOS MORFOGENETICOS

Forma de bico e expressão de *Bmp4* e Calmodulina em aves

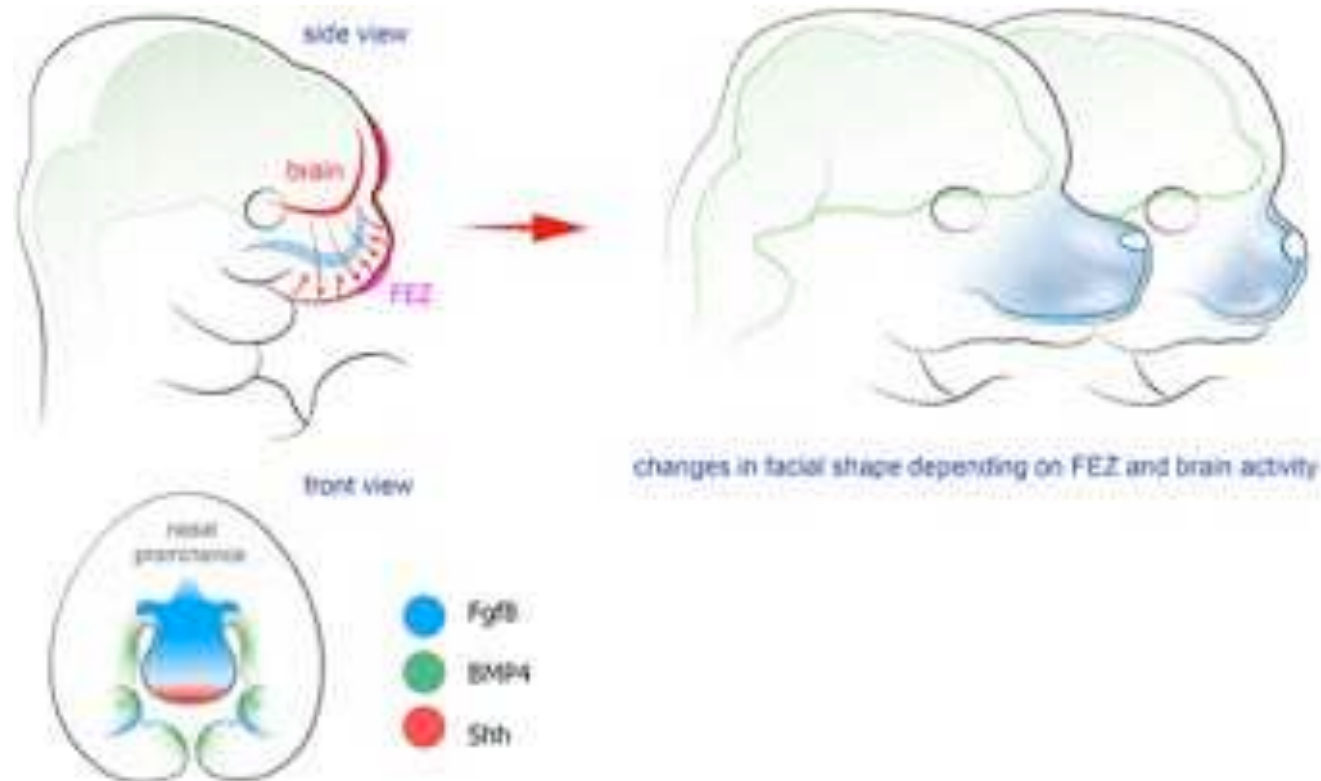


Minox & Rijli 2010

Abzhanov

ALOMETRIA E CAMPOS MORFOGENETICOS

Cerebro anterior e cara frontal (FEZ) intercambiam sinais na formação do compartimento facial



FORMAS NA NATUREZA: COMO SE *GERAM*, *MANTEM* OU *PERDEM*?

- ORIGEM DAS NOVEDADES EVOLUTIVAS
 - Restrições no desenvolvimento
 - Alometria e campos morfogenéticos
- “TOOLKIT GENICO” E MODULARIDADE
 - **Genes Hox**
 - Modularidade em formas animais
- MODIFICACOES CELULARES
 - Apoptose

Genes Hox

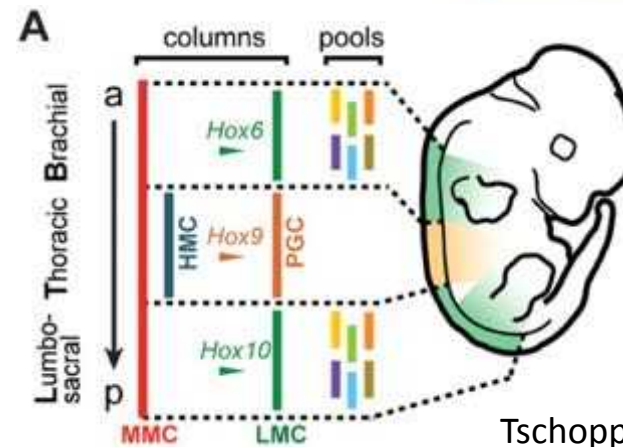
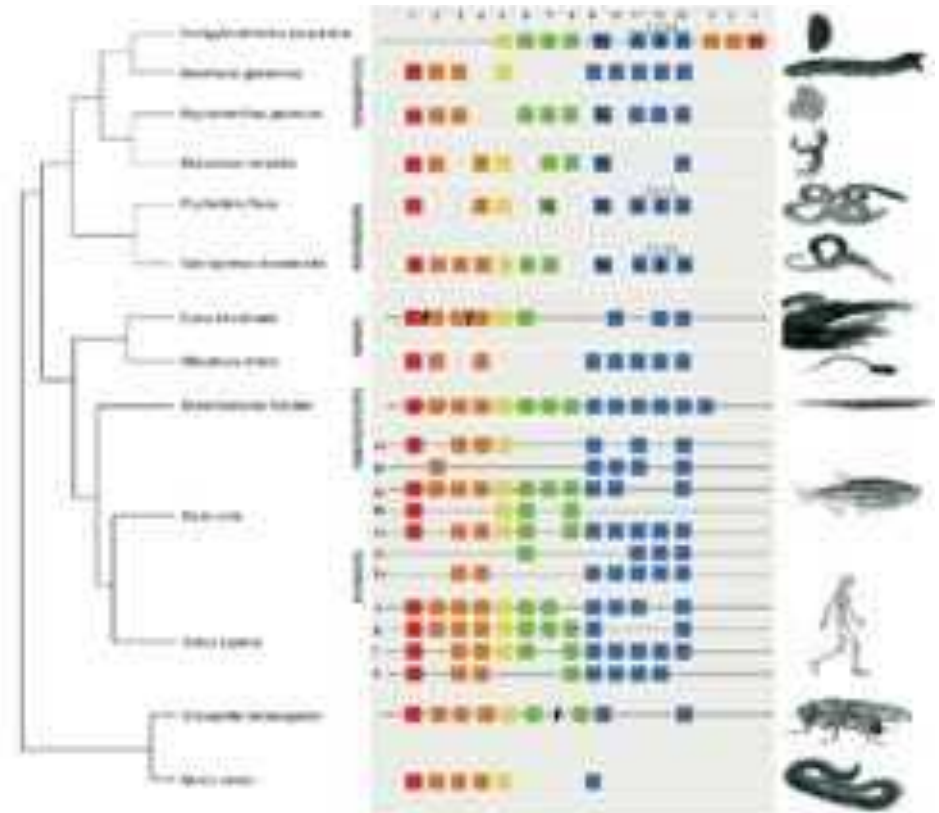
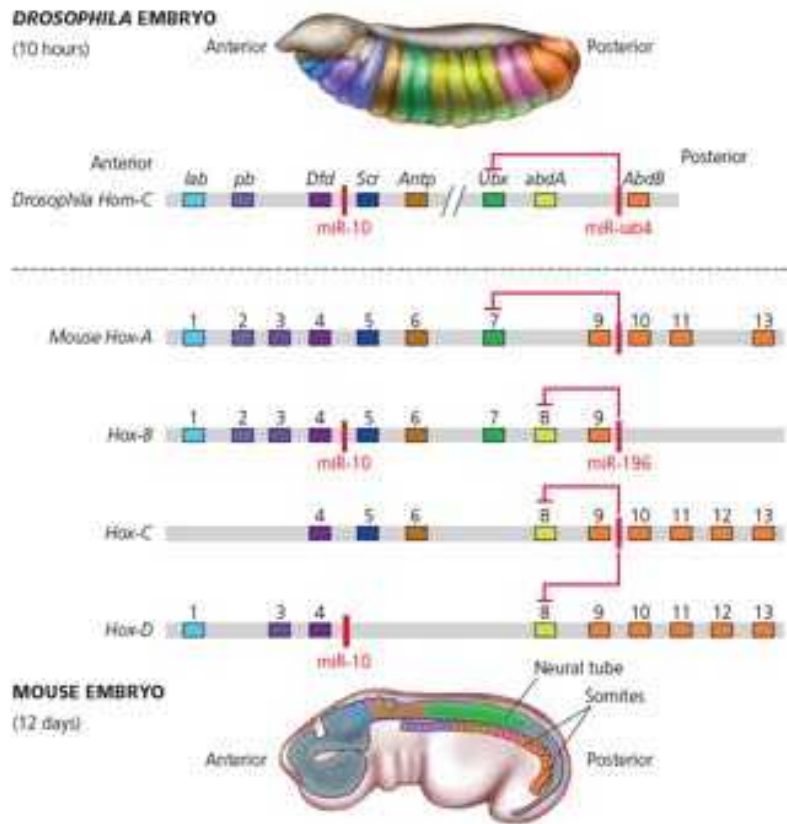
Descobertas importantes no estabelecimento do eixo anteroposterior dos animais

- Bateson (1894) encontrou variantes naturais com alterações na identidade dos segmentos: homeose. Morgan descobriu a homeose pode ser herdada
- Calvin Bridges descreve a mutação Bithorax (1915).
- Ed Lewis estuda BX-C e a define como uma colinearidade espacial consequência de uma gradiente (regulação gênica ântero-posterior).
- Scott por um lado, e McGinnis, Levine e Gehring por outro descobrem o domínio homeobox (1984)
- Duboule, Dollé e Krumlauf (1989) encontram os genes compartilhados espacial e funcionalmente em ratos e moscas, e descobrem a colinearidade temporal da expressão, assim como a expressão dos genes Hox na mesma ordem que aparecem nos cromossomas



Genes Hox

Evolução de planos corpóreos: colinearidade, ganancia e perdas

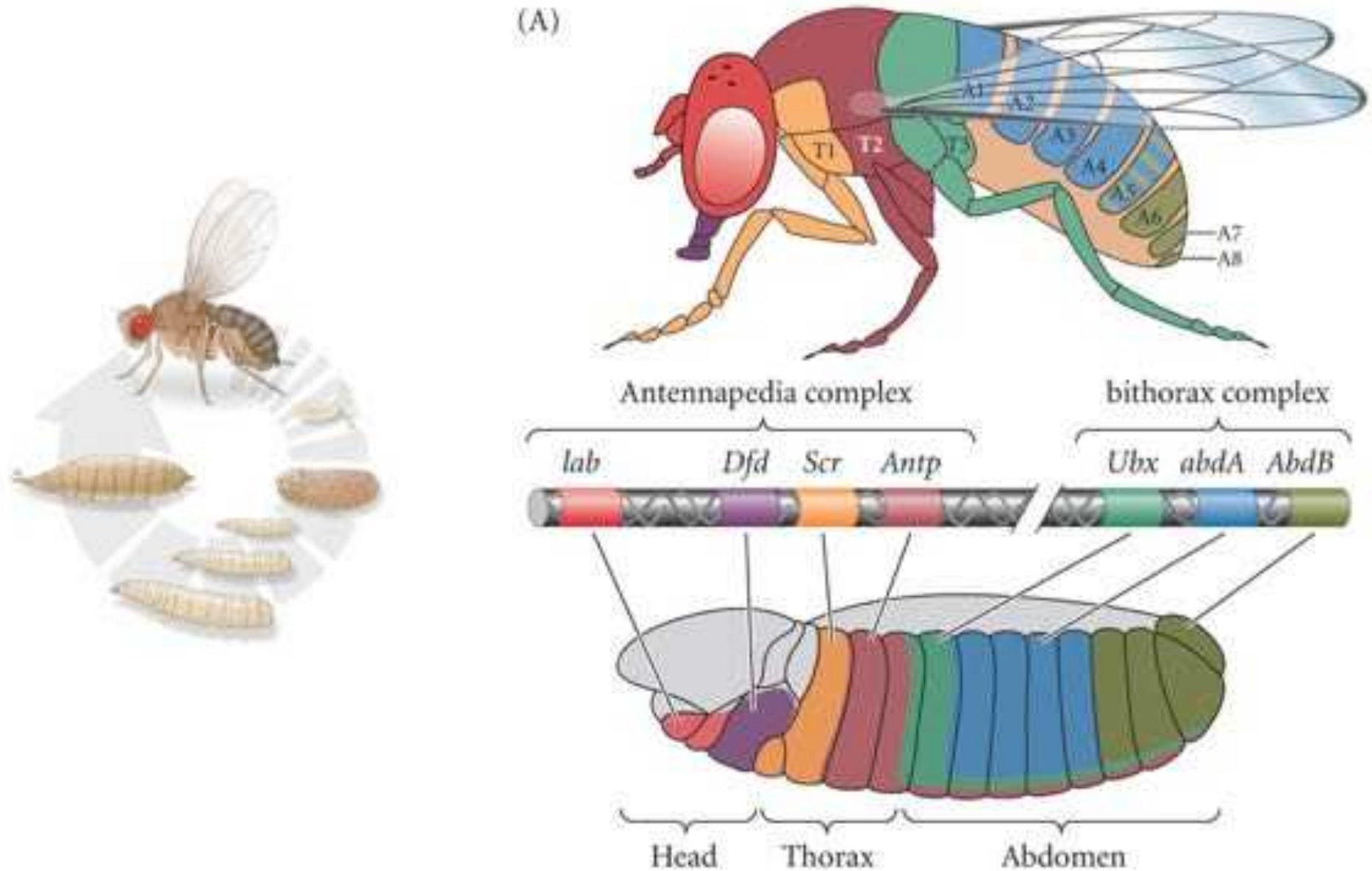


Brown et al. 2008

Tschopp et al. 2012

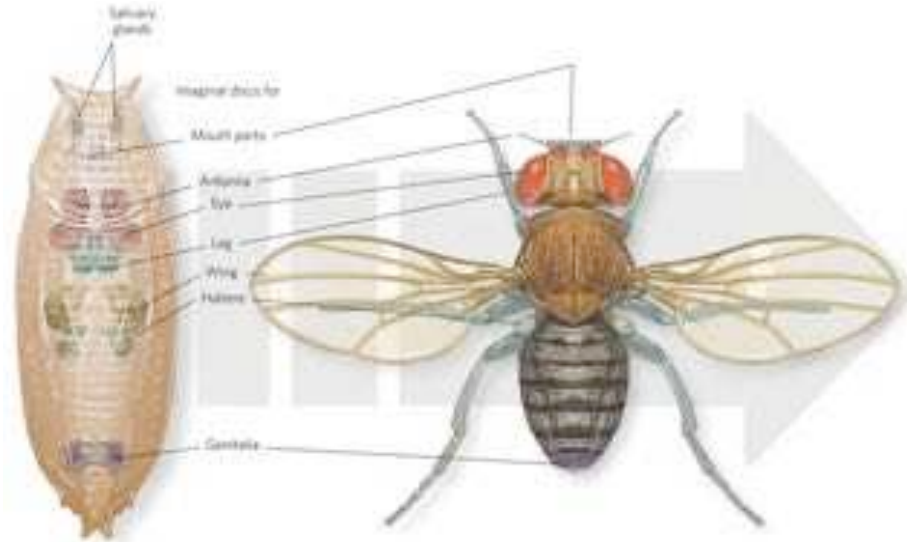
Genes Hox

Expressão de genes homeóticos em *Drosophila*



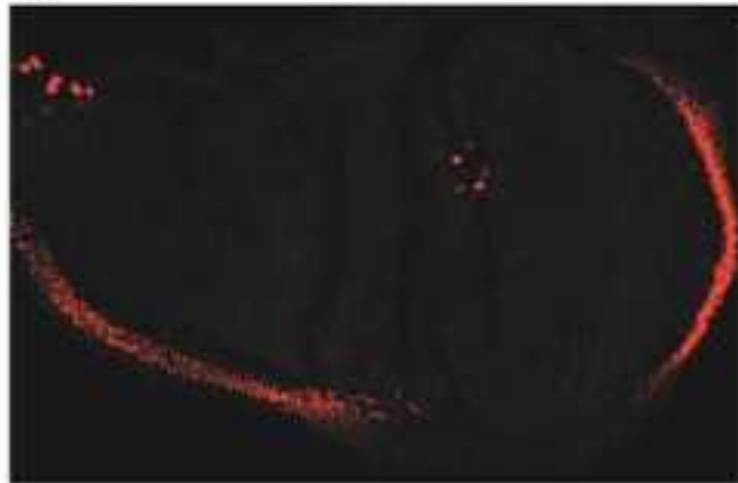
Expressão de Ubx nos discos imaginativos:

Imunocoloração com anticorpos da proteína Ultrabithorax no disco de asa (A) e no disco de haltere (B) do terceiro instar da larva de *Drosophila*



Grewal, 2013 *The Scientist*

(A)

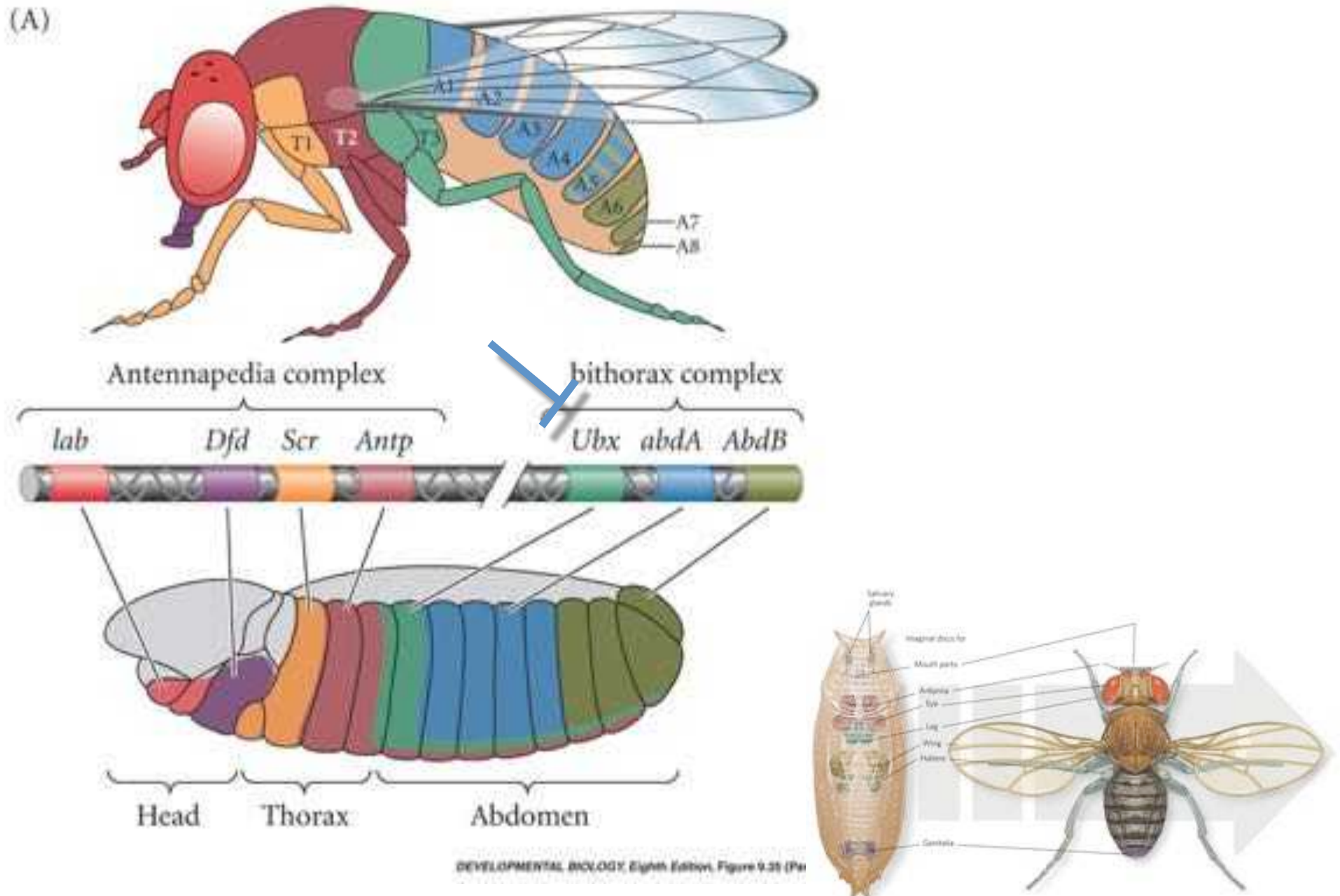


(B)



Represão de Ubx em *Drosophila*

(A)

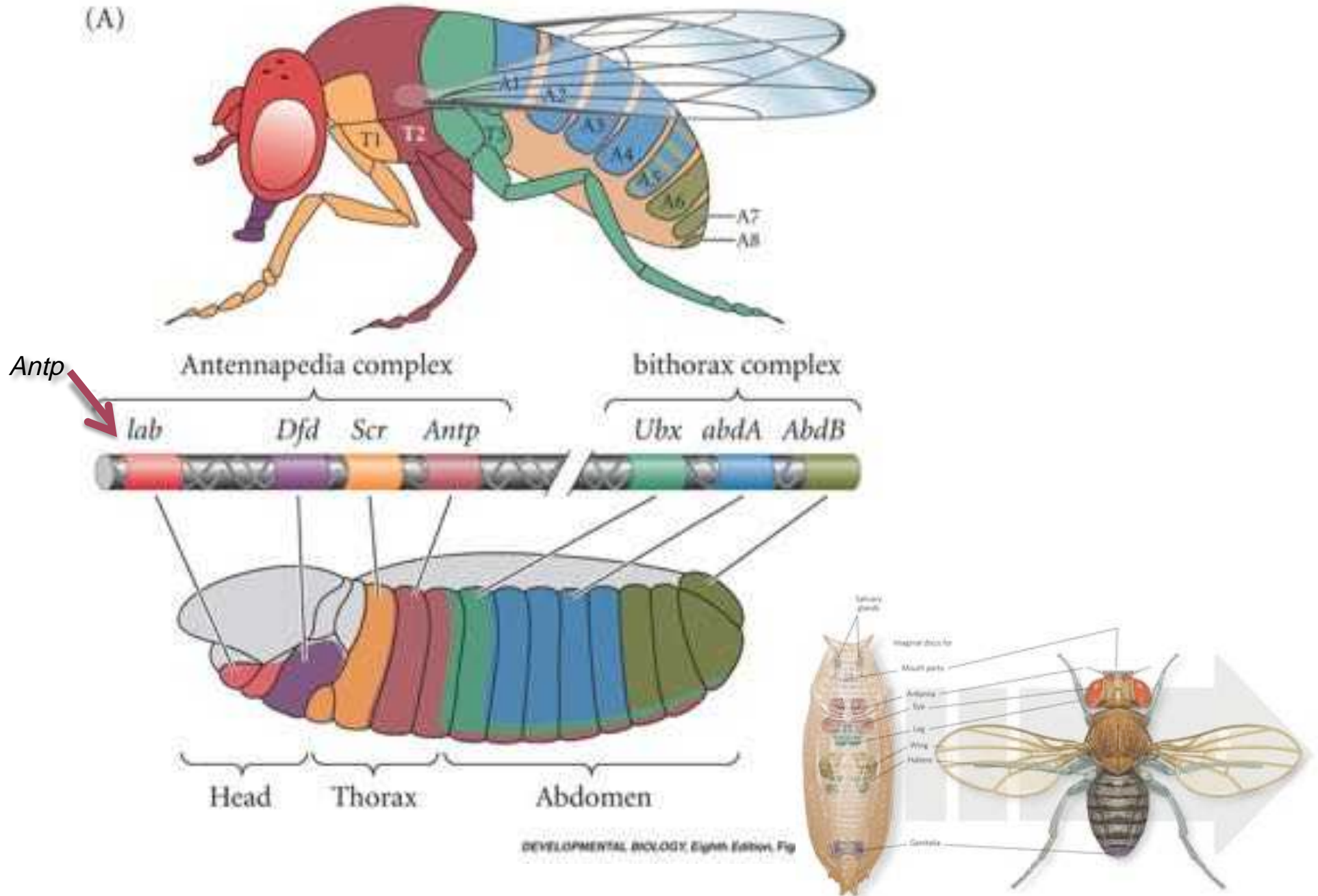


Represão de Ubx em *Drosophila*

Mosca de 4 aças geradas por mutações em reguladores cis do gene *Ultrabithorax*



Expressão ectópica de *Antp* em *Drosophila*

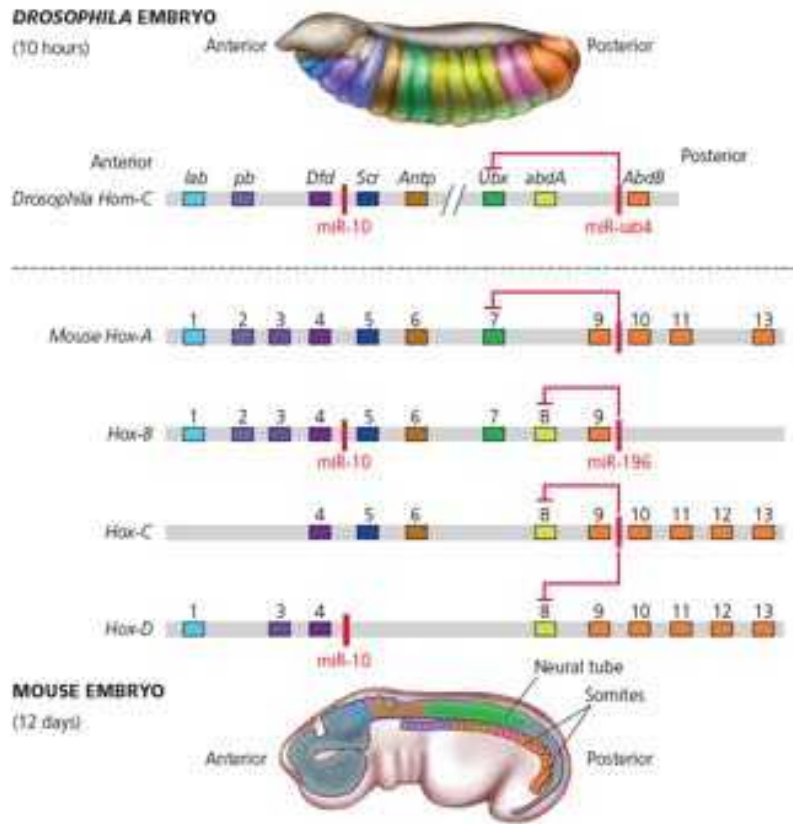


Expressão ectópica de *Antp* em *Drosophila*

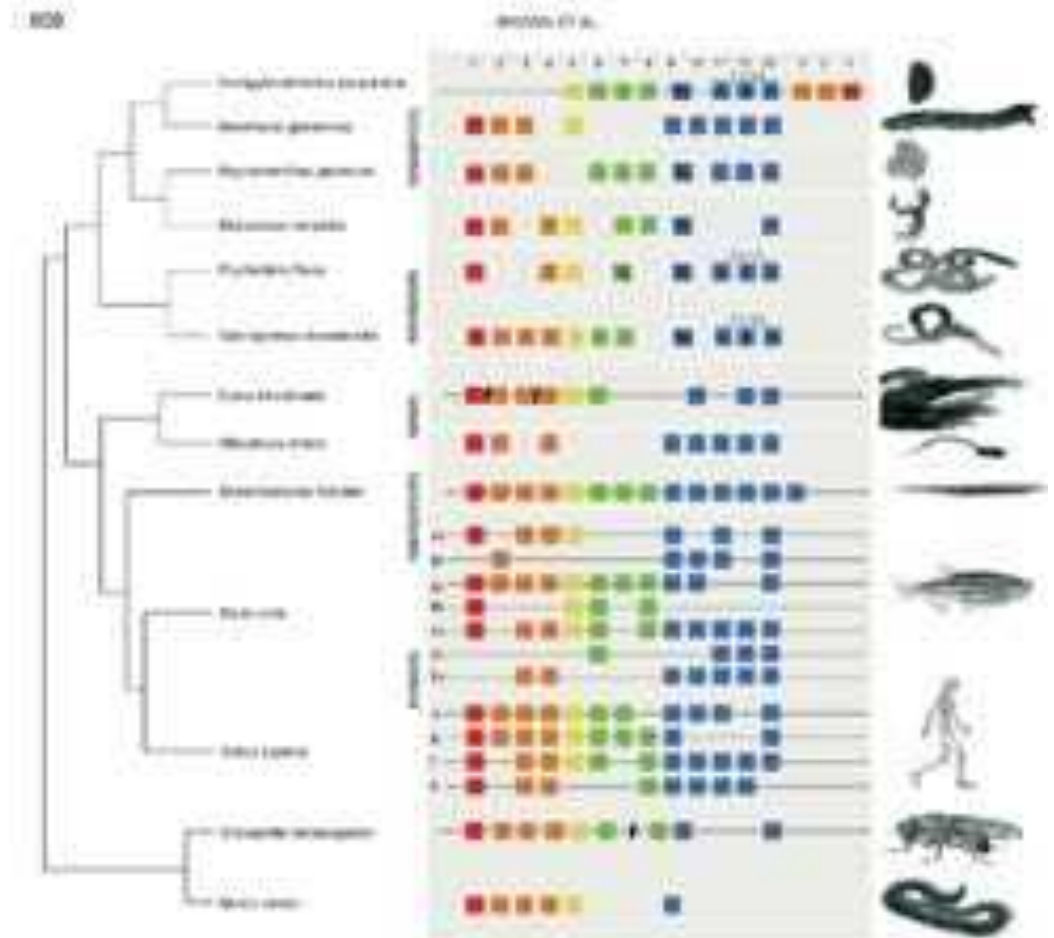
(A) Cabeça de mosca de cepa selvagem. (B) Cabeça de mosca com mutação no gene *Antennapedia* transforma antenas em pernas



Genes Hox

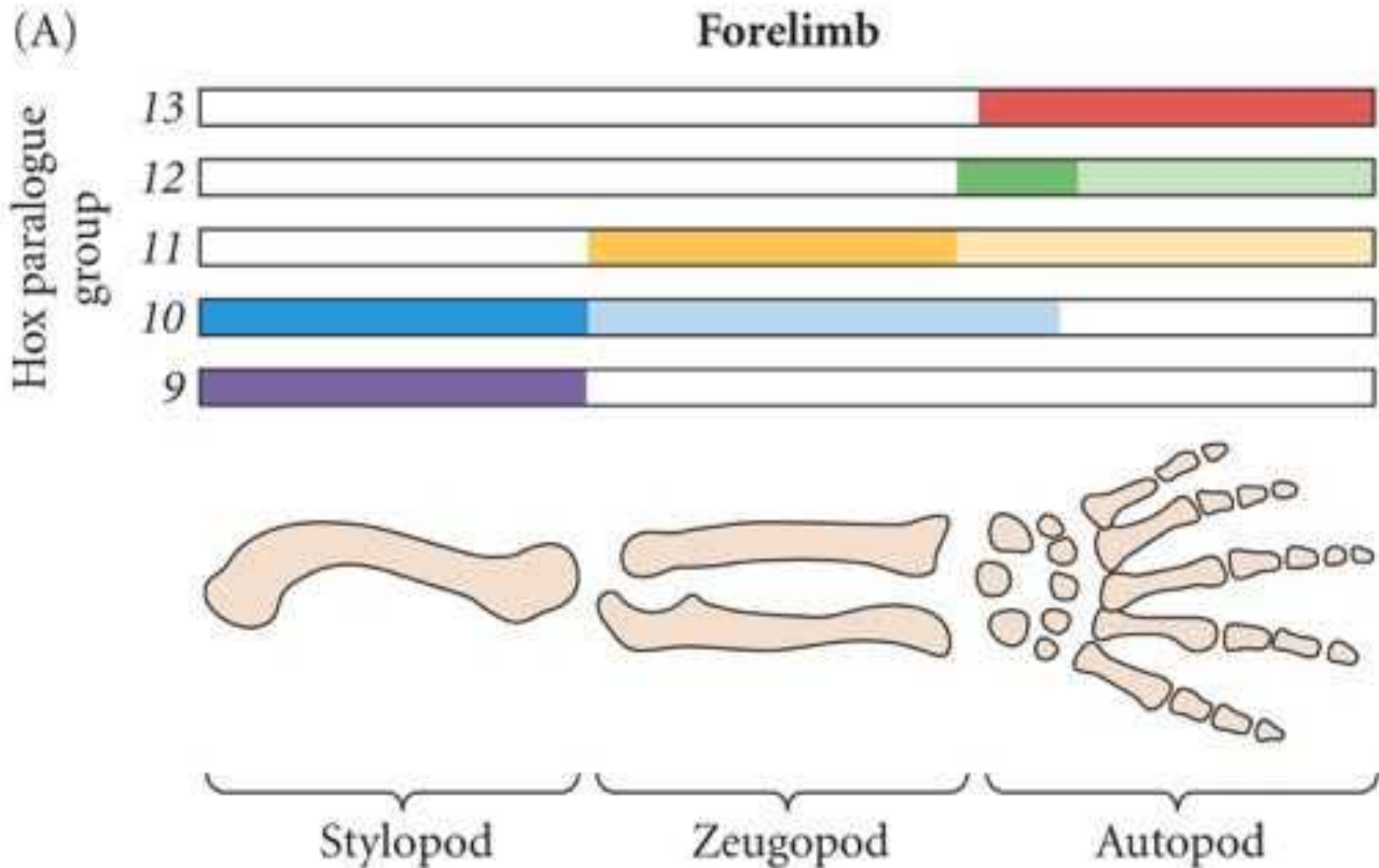


10.3 THE GENETIC TOOLKIT



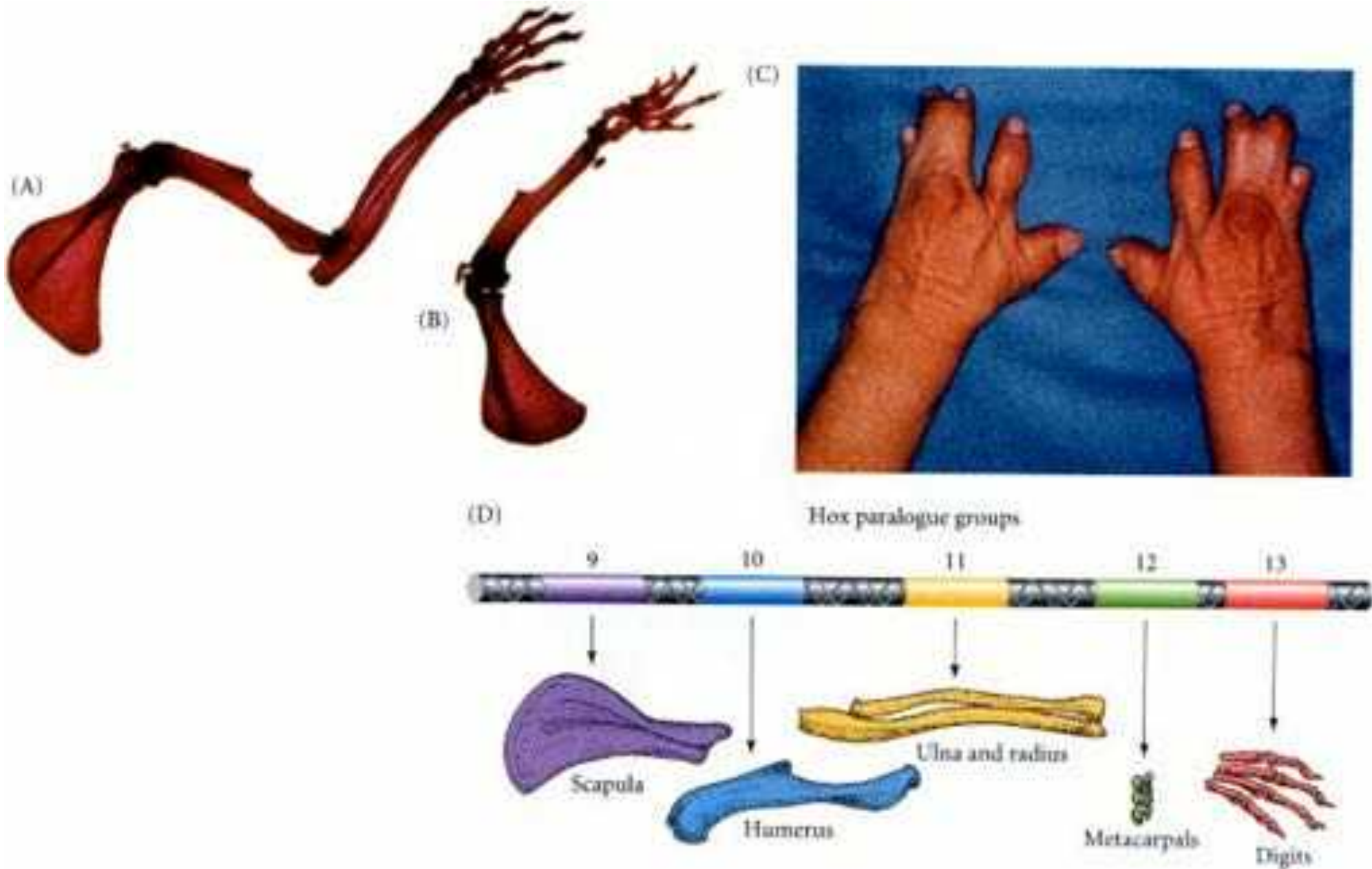
Genes Hox

Deleções em genes Hox paralogos pode gerar eliminações de elementos ósseos das extremidades



Genes Hox

Hox e desenvolvimento dos membros



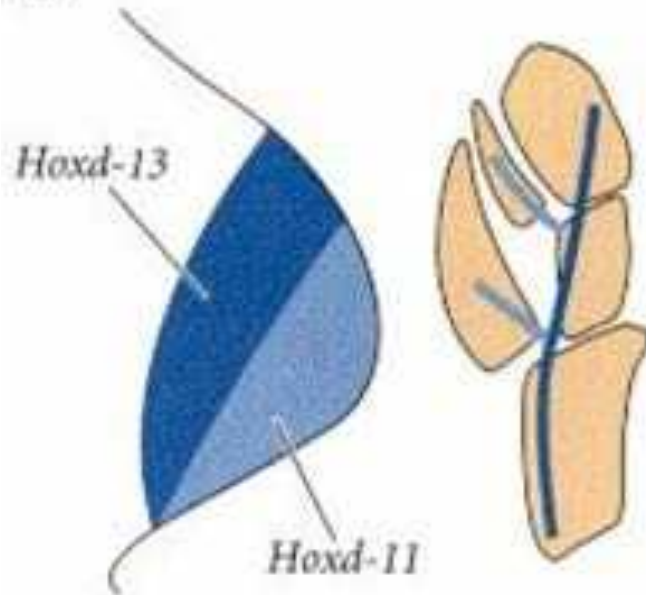
FORMAS NA NATUREZA: COMO SE *GERAM*, *MANTEM* OU *PERDEM*?

- ORIGEM DAS NOVEDADES EVOLUTIVAS
 - Restrições no desenvolvimento
 - Alometria e campos morfogenéticos
- “TOOLKIT GENICO” E MODULARIDADE
 - Genes Hox
 - **Modularidade em formas animais**
- MODIFICACOES CELULARES
 - Apoptose

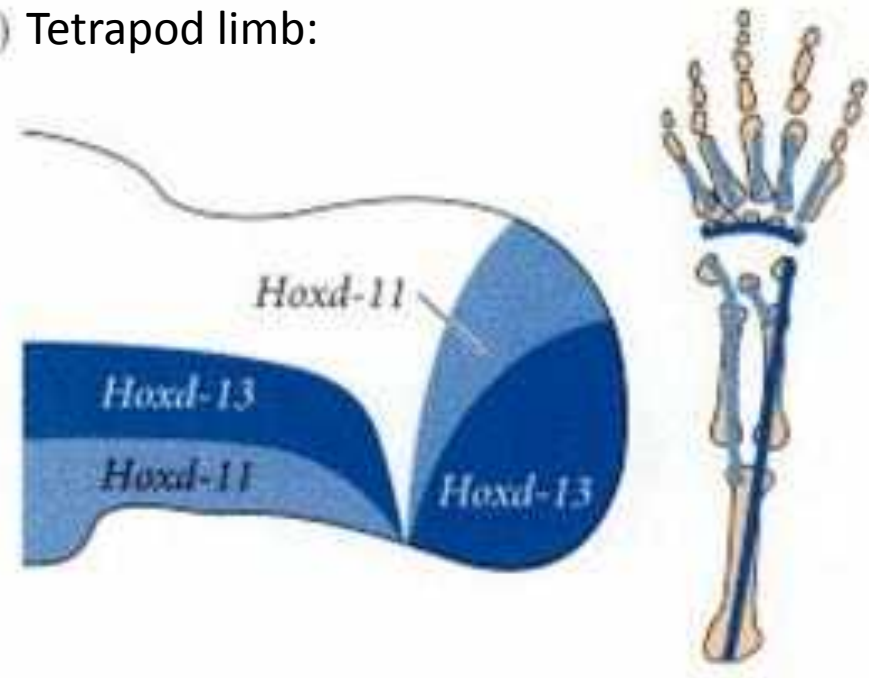
MODULARIDADE

Hox em membros de tetrapodos (co-opção e evolução modular)

(A) Fin of a fish:

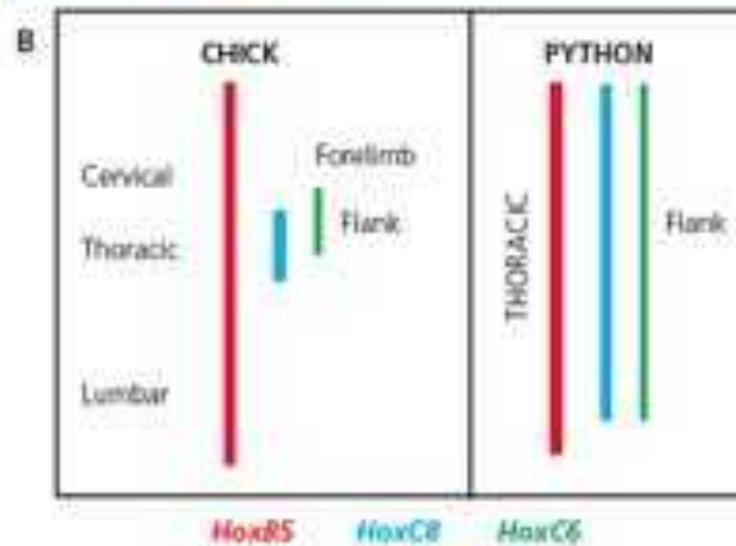
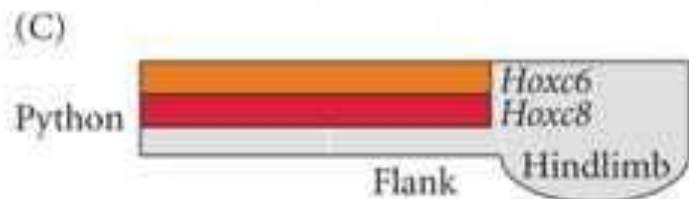
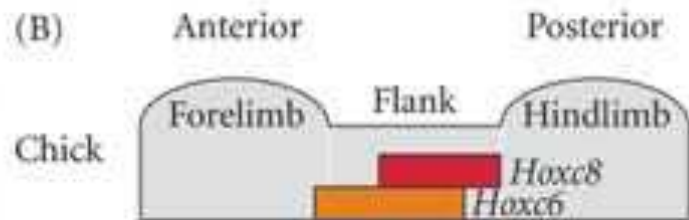
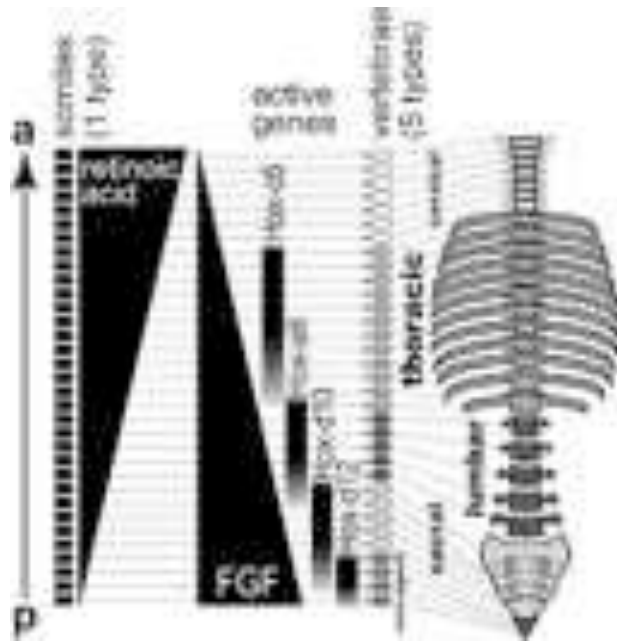


(B) Tetrapod limb:



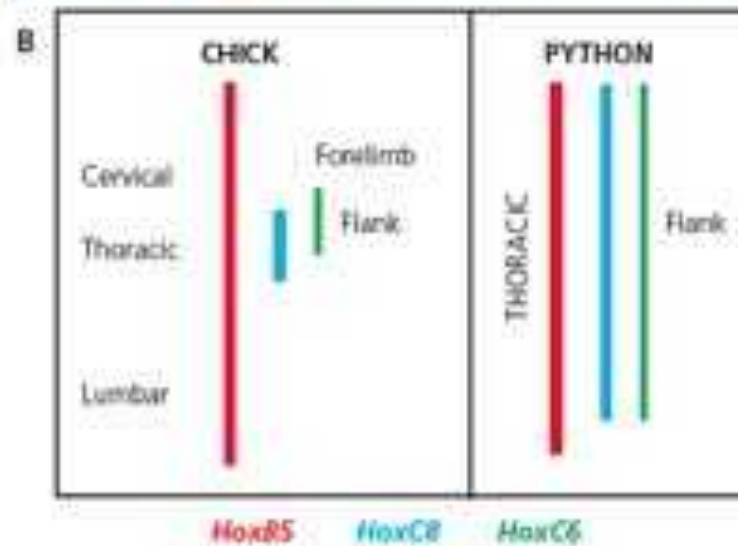
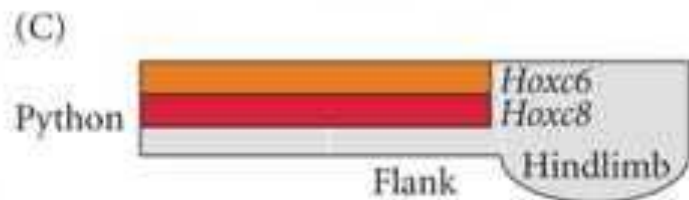
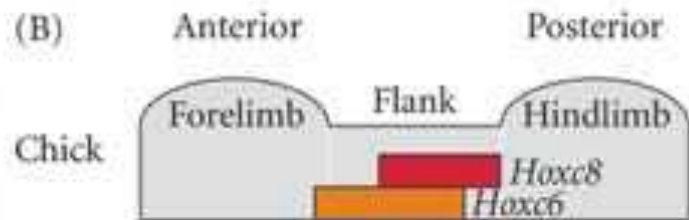
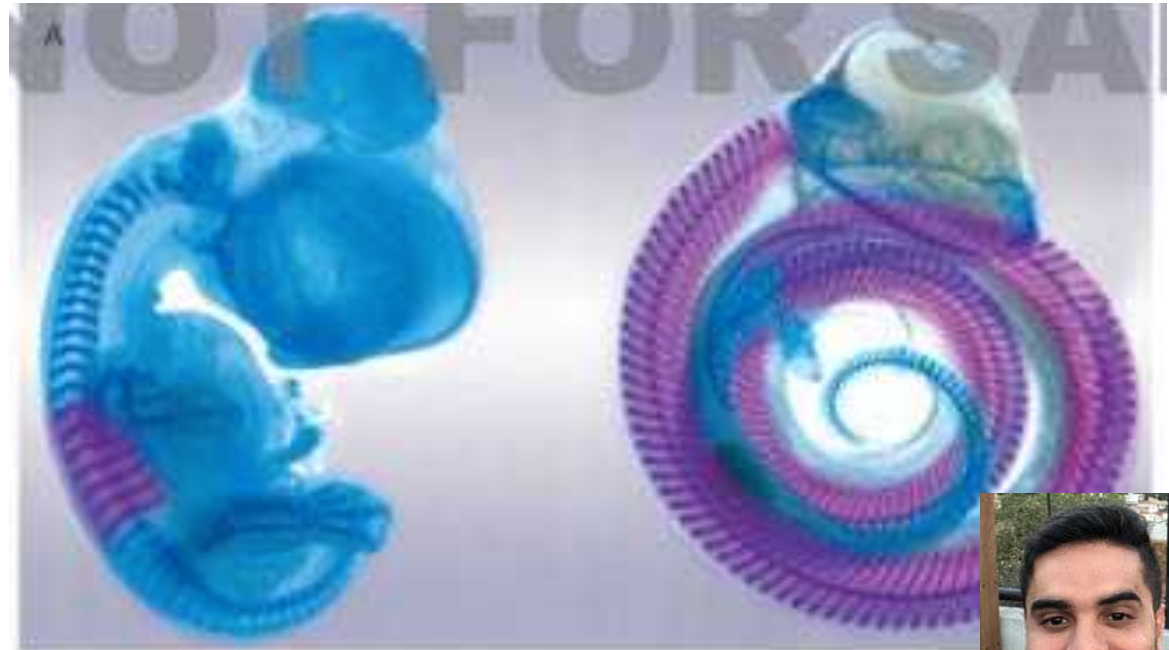
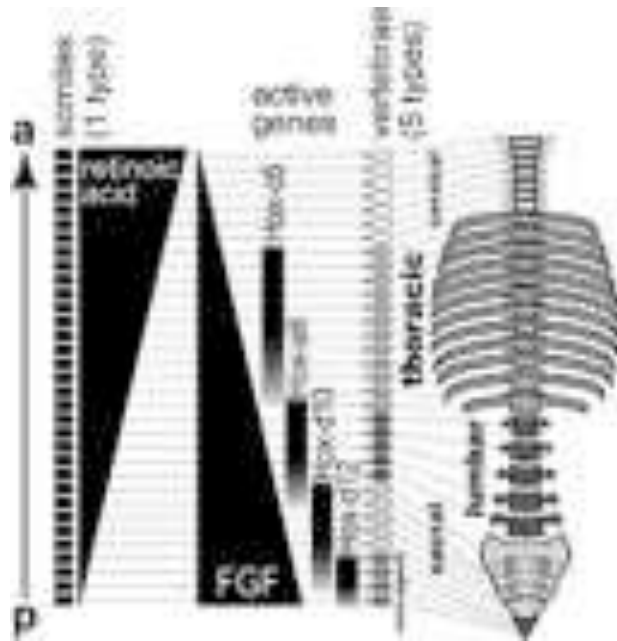
MODULARIDADE

Expansão de segmentos torácicos e perda de membros em cobras



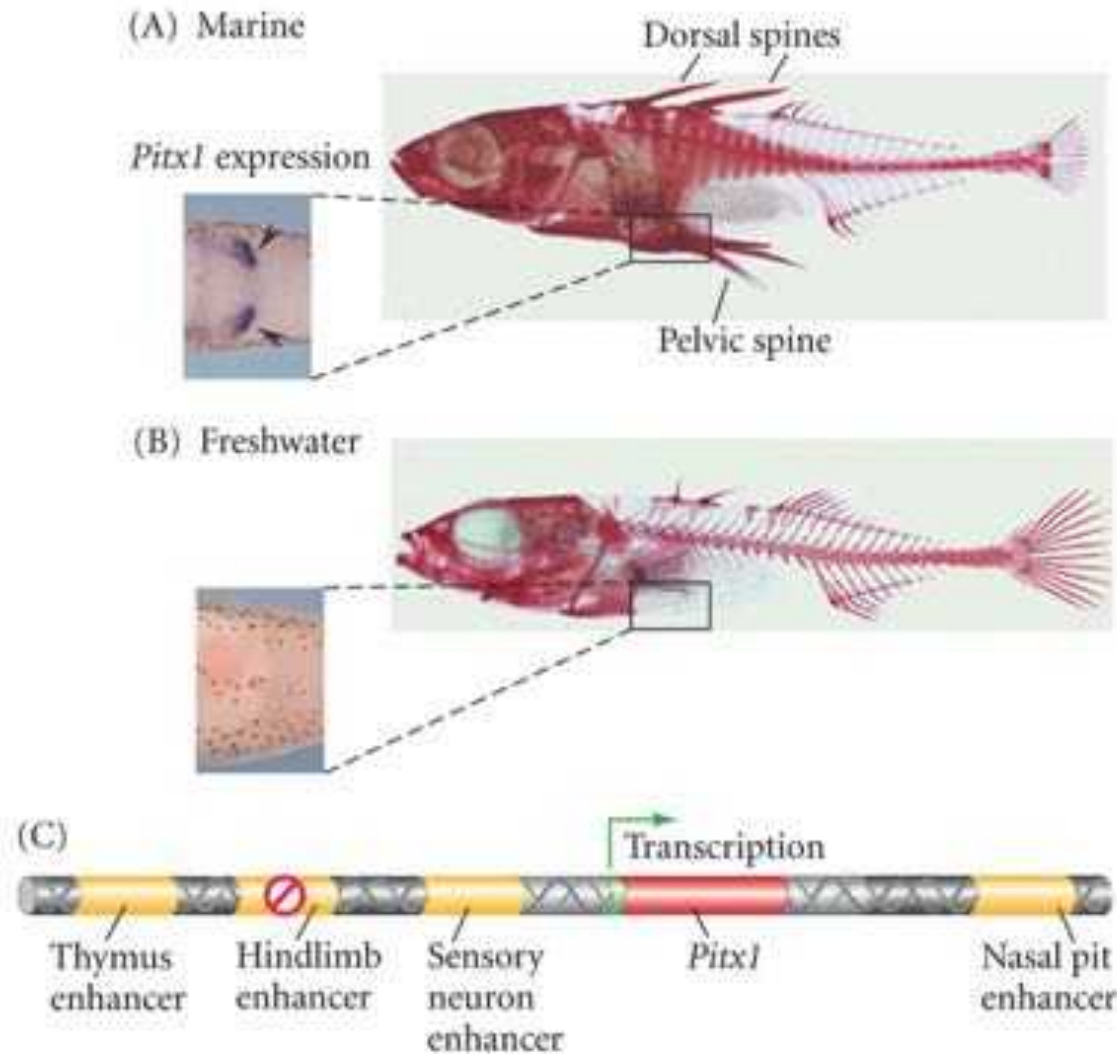
MODULARIDADE

Expansão de segmentos torácicos e perda de membros em cobras



MODULARIDADE

Evolução e desenvolvimento de espinhela: Modularidade gerada pela desativação de enhancers

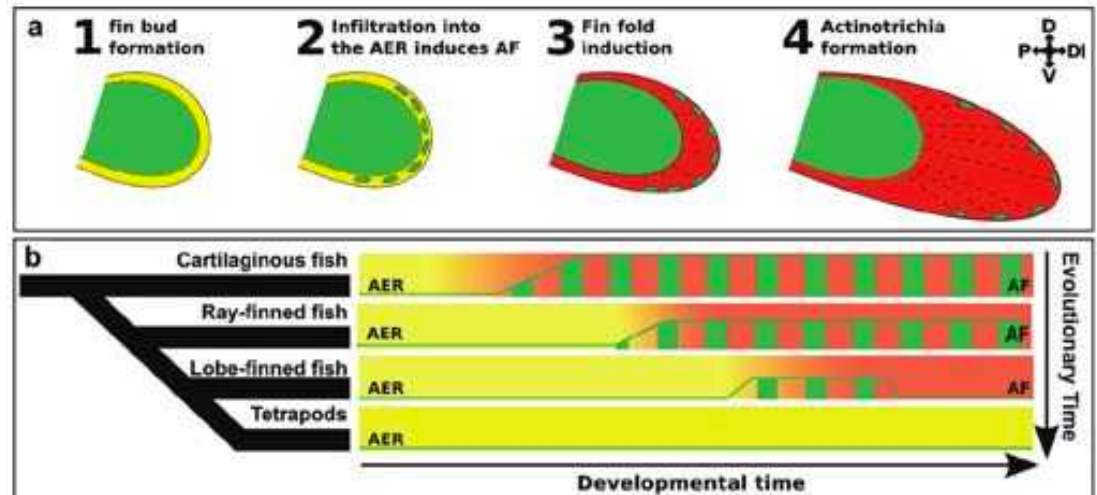
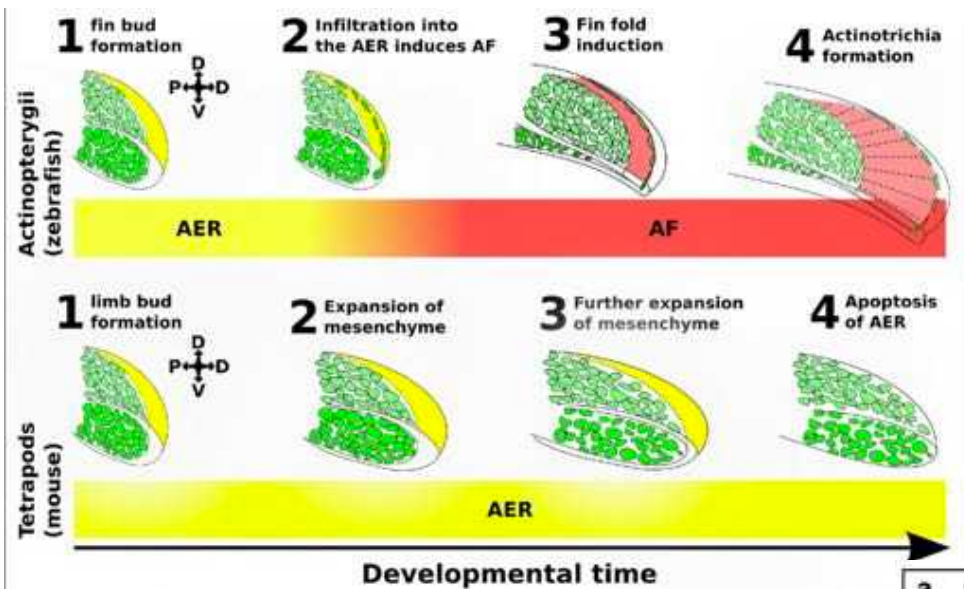


MODULARIDADE

A somitic contribution to the apical ectodermal ridge is essential for fin formation

Wouter Masselink^{1†}, Nicholas J. Cole², Fruzsina Fenyves¹, Silke Berger¹, Carmen Sonntag¹, Alasdair Wood¹, Phong D. Nguyen¹, Naomi Cohen¹, Franziska Knopf^{3†}, Gilbert Weidinger⁴, Thomas E. Hall¹ & Peter D. Currie^{1,5}

Hipótese: Evolução da nadadeira ancestral para membros de tetrápodes foi mediado por uma diminuição progressiva até uma ausência na migração de progenitores musculares na crista ectodérmica apical (AER)

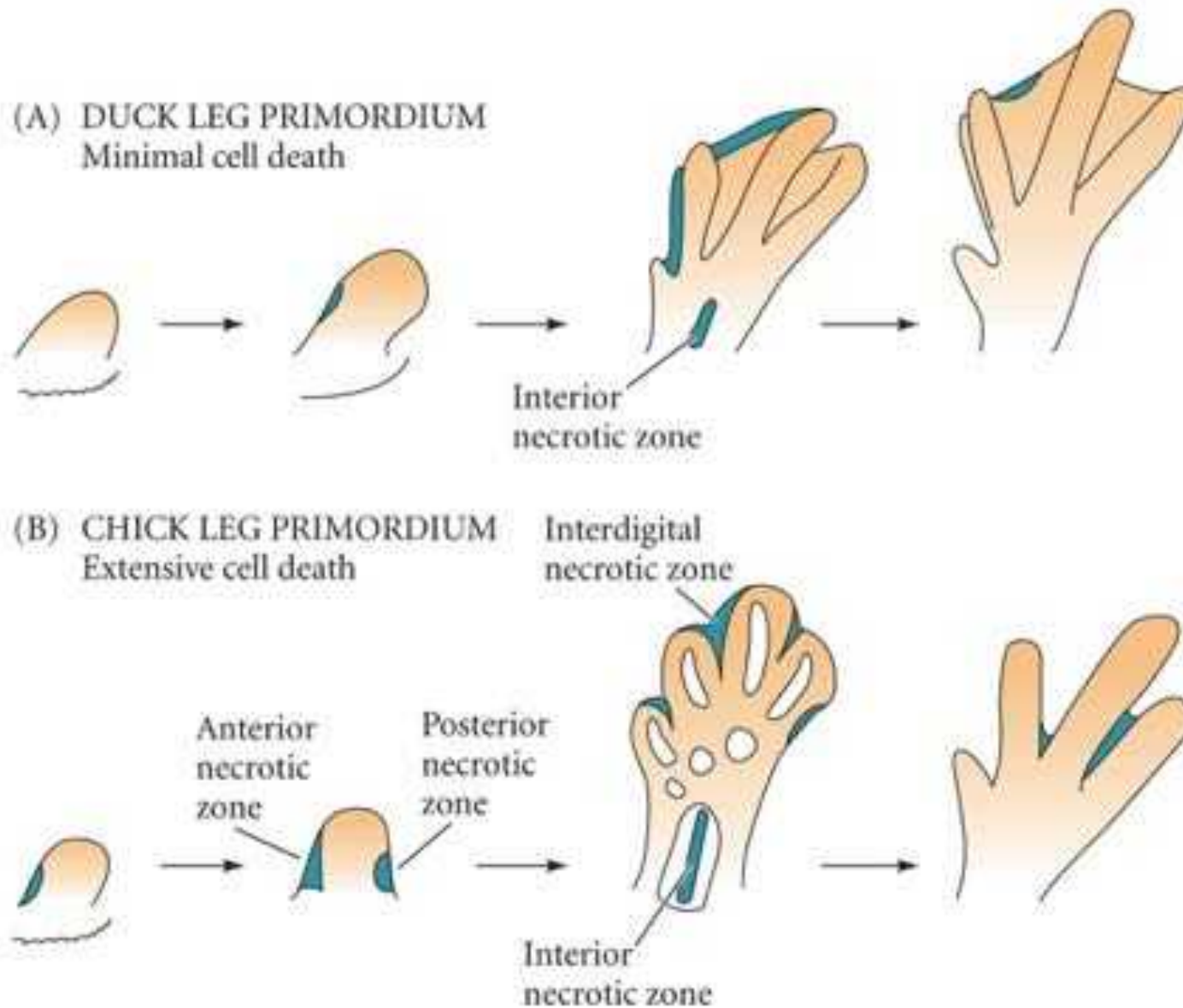


FORMAS NA NATUREZA: COMO SE *GERAM*, *MANTEM* OU *PERDEM*?

- ORIGEM DAS NOVEDADES EVOLUTIVAS
 - Restrições no desenvolvimento
 - Alometria e campos morfogenéticos
- “TOOLKIT GENICO” E MODULARIDADE
 - Genes Hox
 - Modularidade em formas animais
- MODIFICACOES CELULARES
 - **Apoptose**

APOPTOSE

Padrões de morte celular em primórdios de perna em embriões de pato (A) e galinha (B)



APOPTOSE

Estagios similares no desenvolvimento de autopodos em galinha e pato

Chick
hindlimb



Duck
hindlimb



BMP

Gremlin

Apoptosis

Newborn

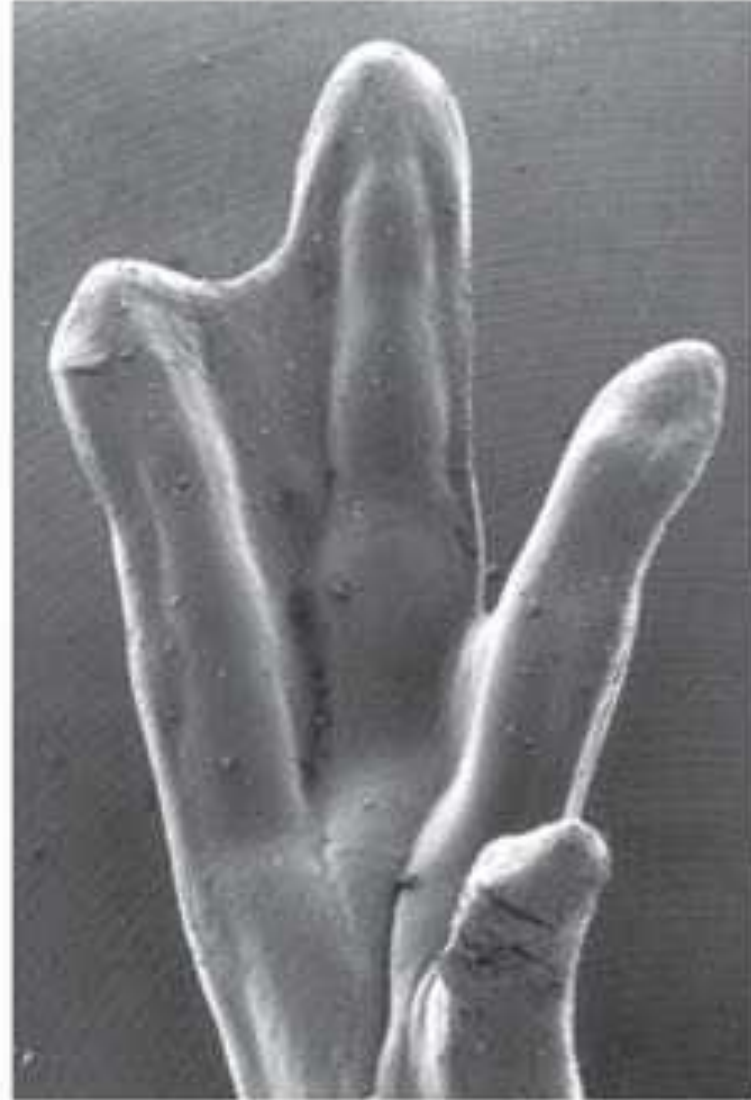
APOPTOSE

Inibição de morte celular por inibição de BMP

(A)



(B)

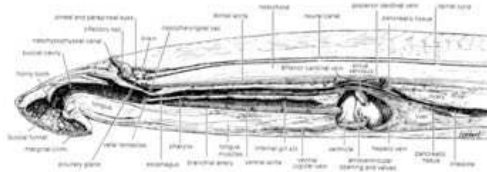


Tarefa para amanhã

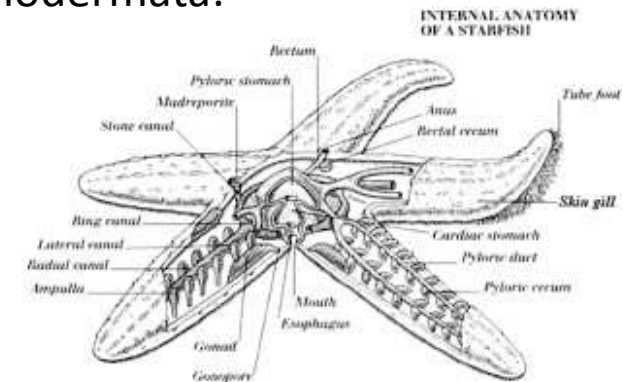
Com base nas lâminas da anatomia de 5 grandes grupos de Deuterostomados (colocadas no Moodle):

1. Construa um cladograma que represente as relações filogenéticas destes grupos durante a transição de invertebrado à vertebrado
2. Especifique nas ramas do cladograma as inovações ou perdas de caracteres morfológicos para cada grupo

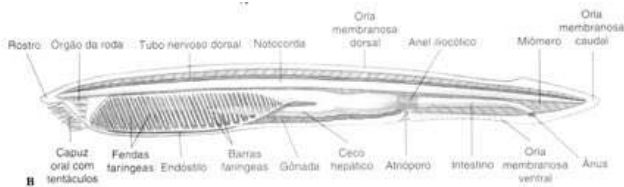
Craniata:



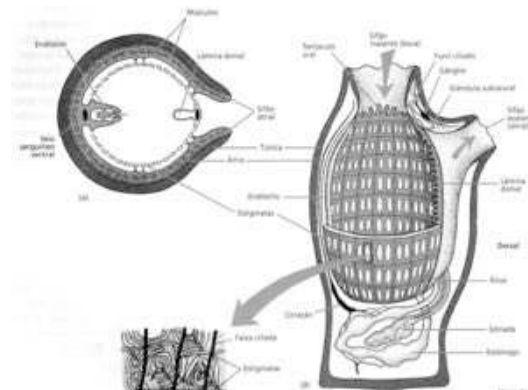
Equinodermata:



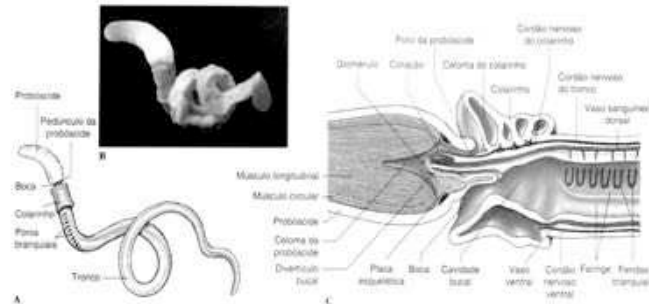
Cefalocordata:



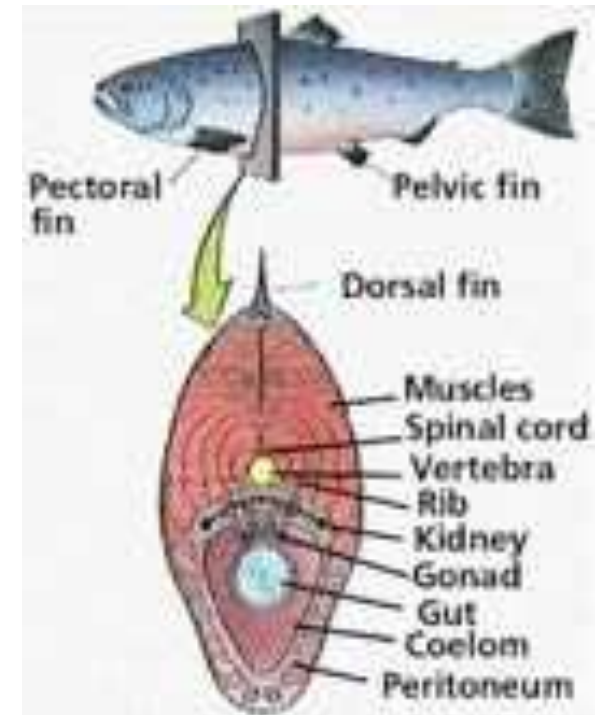
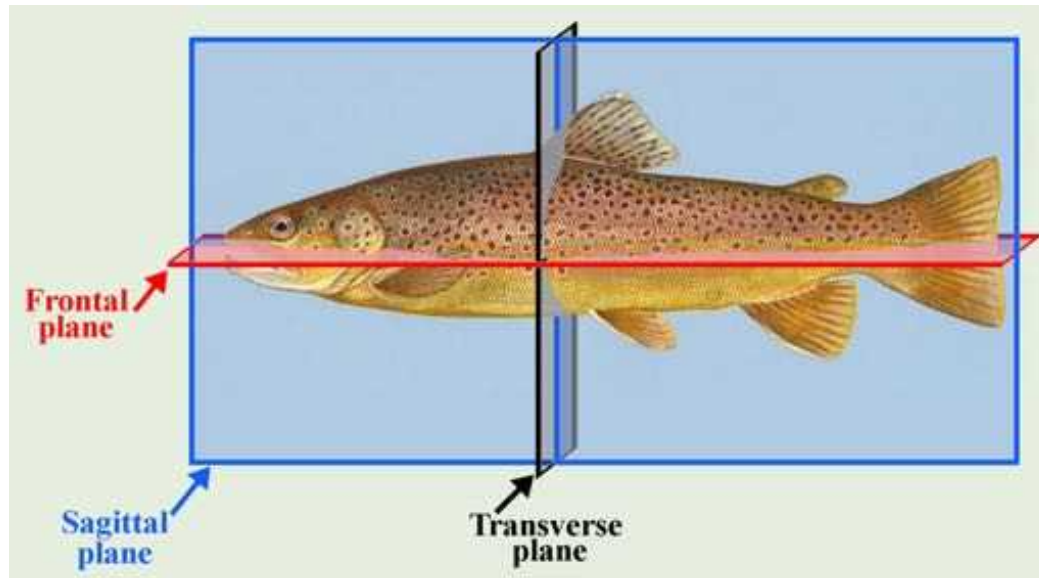
Tunicata:



Hemicordata:



Laboratório



Amanha:

- Origens dos Cordados
- Hemichordata (não cordado!!!)
- Cephalochordata (plano básico de um cordado sim!!!)24