



Universidade Federal da Bahia  
Instituto de Biologia  
Programa de Pós-graduação em Diversidade Animal



Apoio:

Instituto de Biologia  
Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação  
Pró-Reitoria de Extensão

Patrocínio:



Salvador, 6 a 11 de Fevereiro de 2012

# **ECOFISIOLOGIA**

## **Adaptações a Ambientes Extremos**



**Programa de Pós-Graduação em Diversidade Animal**

**Daniela Andrade Ventura**  
**danidani.ventura@gmail.com**

**Thiago Matos Prado**  
**thiagomatosprado@yahoo.com.br**

**Salvador, 2012**

# LAFISA

- Laboratório de Fisiologia Animal -

Responsável

**Prof. Dr. André Luis da Cruz**

Colaboradores

**Prof. Dr. Wilfried Klein**

**Prof. Dr. Eduardo Mendes da Silva**

**Prof. Msc. José Amorim dos Reis**



**inct**

institutos nacionais  
de ciência e tecnologia

# LAFISA

- Laboratório de Fisiologia Animal -

## Parcerias

**Universidade Federal de São Carlos**

**Universidade de São Paulo – Campus Ribeirão Preto**

**Universidade Autônoma de Campeche, México**

**Universidade de Aveiro, Portugal**

## **MORFOLOGIA E FISILOGIA DE VERTEBRADOS**

Estudos morfológicos, morfométricos, fisiológicos e/ou ecofisiológicos de grupos zoológicos, com enfoque comparado e/ou isolado

# LAFISA

## - Laboratório de Fisiologia Animal -

- Daniela Andrade Ventura
  - **Análise comparativa da morfofisiologia do sistema respiratório de *Iguana iguana* e *Tupinambis merianae* (Lepidosauromorpha: Squamata)**

Orientador: Wilfried Klein

Co-orientador: André Cruz

- Thiago Matos Prado
  - **Histopatologias branquiais como biomarcadores de rios impactados**

Orientador: André Cruz

# LAFISA

## - Laboratório de Fisiologia Animal -

- Helena Araújo
  - **Estudo da osmorregulação do peixe *Gobionellus oceanicus* (Gobiidae) no sistema Subaé, Bahia, Brasil.**
- Táбата Cordeiro
  - **Análise morfofuncional do sistema respiratório de cágados (Reptilia: Testudine)**
- Vanessa Bonfim
  - **Aspectos fisiológicos e morfológicos relacionados com o balanço hídrico em *Phylodytes luteolus***

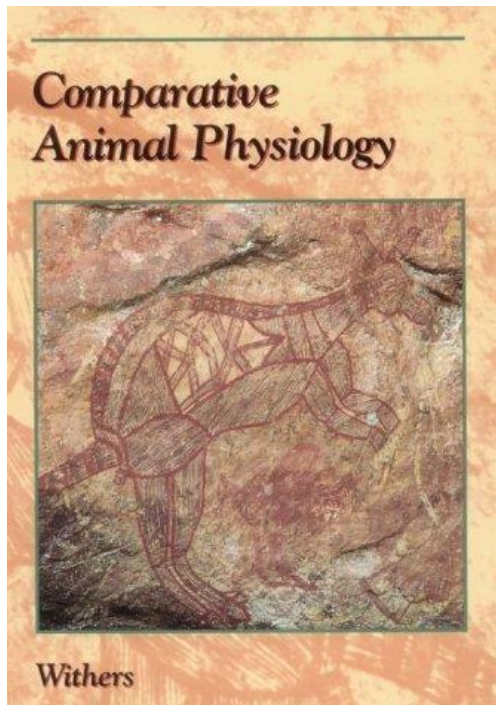
# **P R O G R A M A Ç Ã O**

- **1 Introdução**
  - 1.1 Fisiologia e Ecofisiologia
  - 1.2 Temas centrais da fisiologia animal
  - 1.3 Ambientes extremos
- **2 Ambientes Aquáticos Hipóxicos**
  - 2.1 Caracterização do ambiente
  - 2.2 Evolução da respiração aérea
  - 2.3 Órgãos de respiração aérea
  - 2.4 Adaptações do sistema circulatório
- **3- Mar Profundo**
  - 3.1 Caracterização do ambiente
  - 3.2 Fontes hidrotermais e adaptações em diferentes grupos
  - 3.3 Outros ambientes e adaptações
- **4- Mangue e Estuário**
  - 4.1 Caracterização do ambiente
  - 4.2 Adaptações em diferentes grupos
- **5- Ambientes de Frio Extremo**
  - 5.1 Caracterização do ambiente
  - 5.2 Estratégias comportamentais
  - 5.3 Adaptações em diferentes grupos
- **6- Ambientes de Altitude Elevada**
  - 6.1 Caracterização do ambiente
  - 6.2 Adaptações
- **7- Ambientes Desérticos**
  - 7.1 Caracterização do ambiente
  - 7.2 Estratégias comportamentais
  - 7.3 Adaptações em diferentes grupos.

O QUE É  
**FISIOLOGIA?**



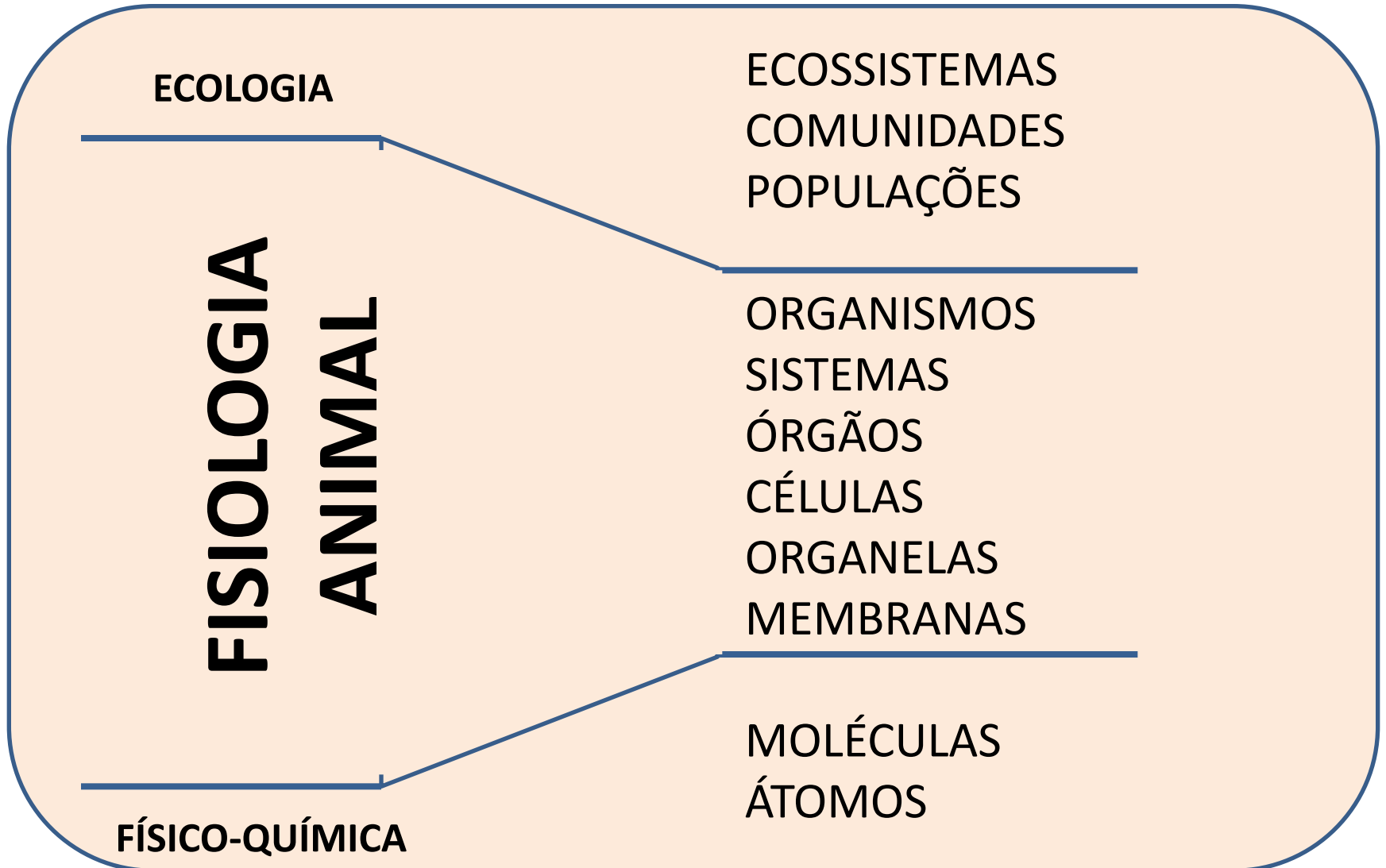
# O QUE É FISILOGIA?



**“Estudo dos processos biológicos que permitem que a vida exista e funcione”**

(Withers p.2 1992)

# O QUE É FISILOGIA?



# ECOFISIOLOGIA

**Entender como os animais funcionam em seu ambiente natural e respondem a ele**

**Estudos em campo**

**Estudos em laboratório**

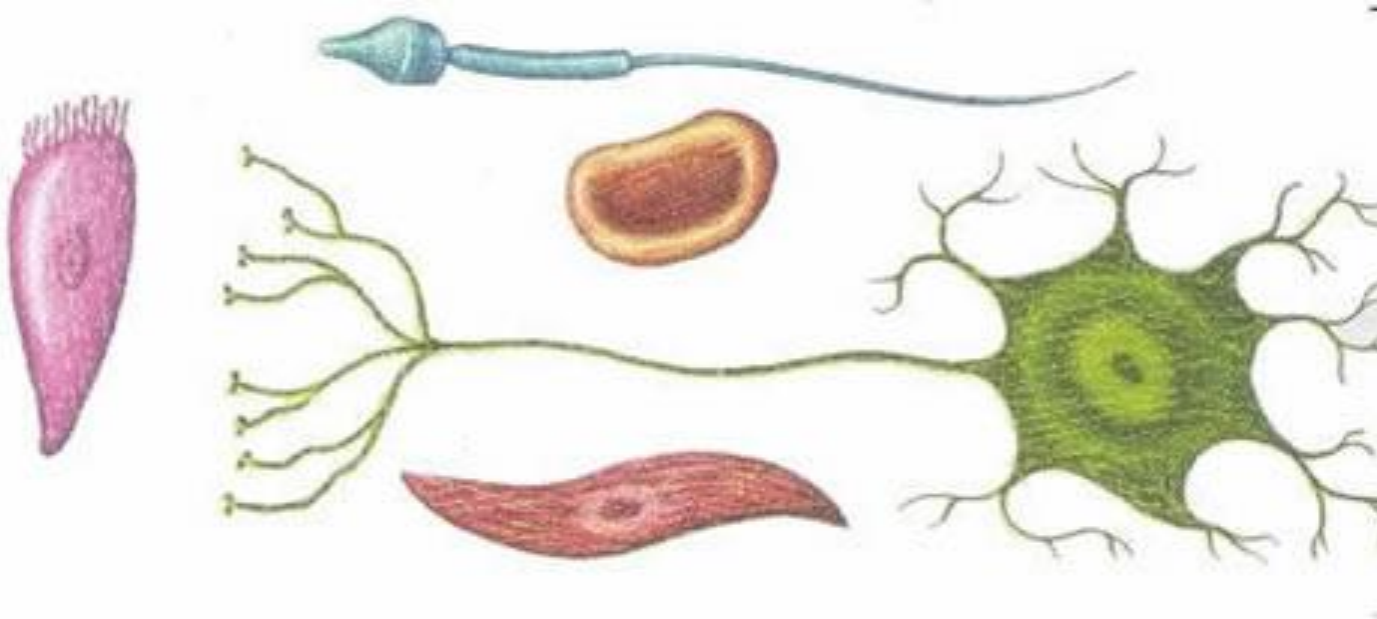
# Temas centrais na Fisiologia Animal

1. Relação Forma-Função
2. Aclimatação, Aclimatização e Adaptação
3. Homeostase
4. Conformação e Regulação
5. Sistemas de Controle de *Feedback*

# Temas centrais na Fisiologia Animal

## 1. Relação Forma-Função

- A função é baseada na estrutura



# Temas centrais na Fisiologia Animal

## 2. Aclimatização, Aclimatação e Adaptação

**ACLIMATIZAÇÃO**



Exposição a condições novas  
no ambiente natural nativo

**ACLIMATAÇÃO**



Exposição a condições  
induzidas experimentalmente  
em campo ou laboratório



“um processo de mudança genética de uma população, devido à seleção natural (...) uma característica que se tornou predominante em uma população devido a uma vantagem seletiva”

(p. 578, Futuyma 1992)

“característica que evoluiu para outro uso (ou nenhuma função) e, mais tarde, ‘cooptada’ para seu papel atual”

(p. 6, Gould & Vrba 1982)



# Temas centrais na Fisiologia Animal

## 2. Aclimatização, Aclimatação e Adaptação

Processo fisiológico  
**ADAPTATIVO**

Sobrevivência

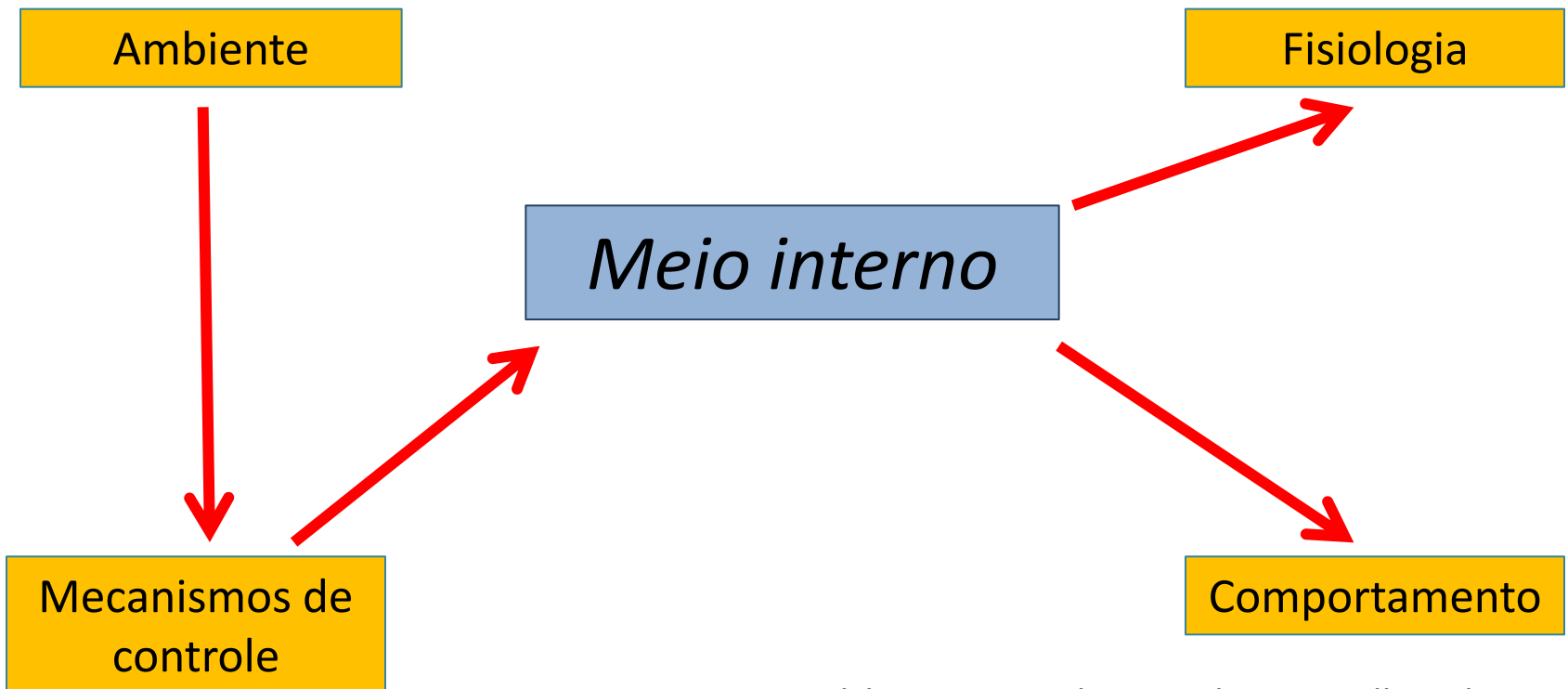
Reprodução



# Temas centrais na Fisiologia Animal

## 3. Homeostase

- Constância do meio interno



# Temas centrais na Fisiologia Animal

## 3. Homeostase

- Claude Bernard



- Walter Cannon



“os processos fisiológicos que mantêm a maioria dos estados [constantes] no organismo.”

# HOMEOSTASE

**ESTABILIDADE**



**CUSTO  
ENERGÉTICO**



# Temas centrais na Fisiologia Animal

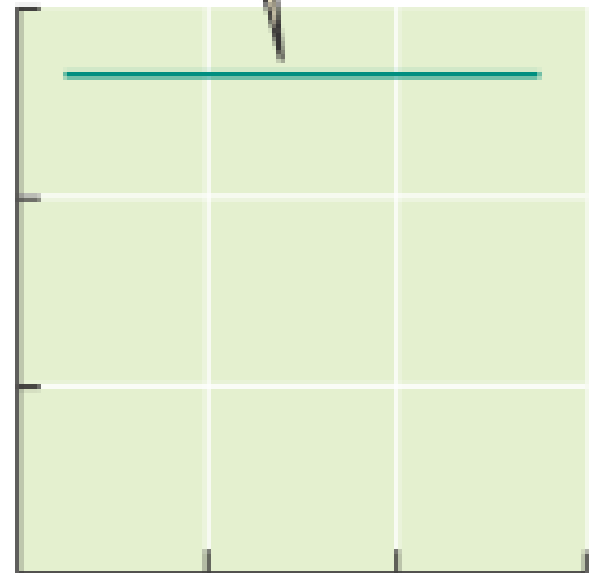
## 4. Conformação

Um meio interno do animal pode variar quando o seu meio externo muda...



## e Regulação

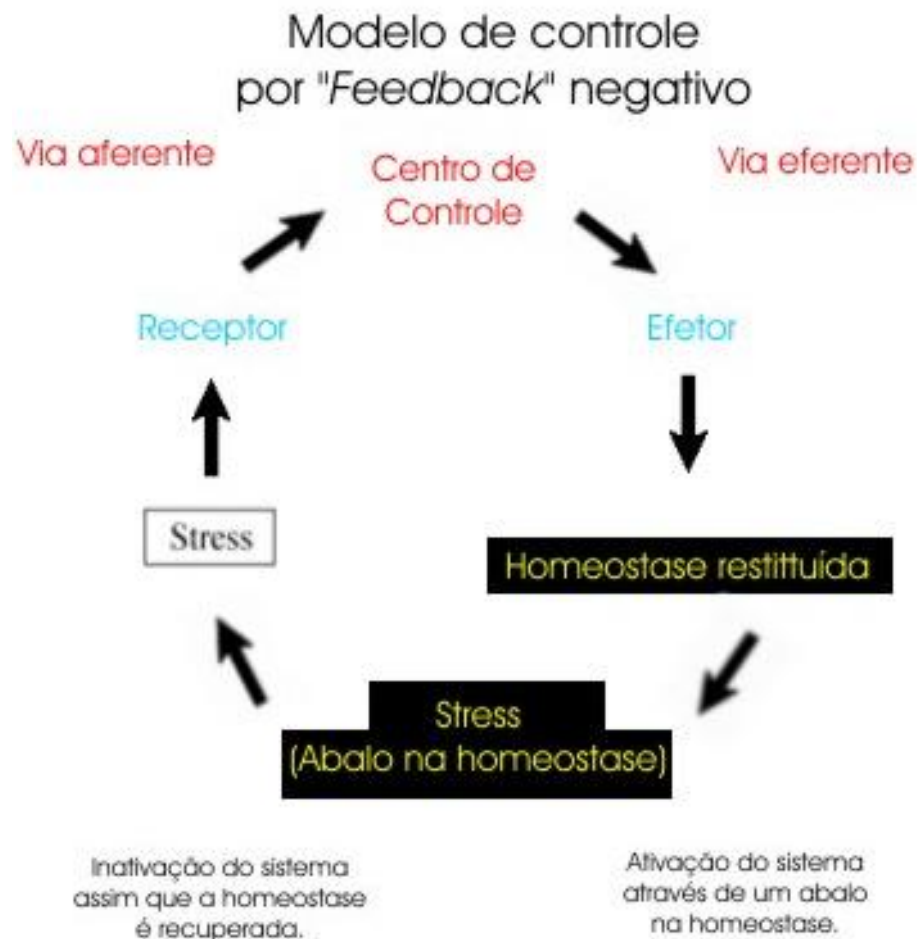
... ou o meio interno pode permanecer constante.



# Temas centrais na Fisiologia Animal

## 5. Sistemas de Controle de *Feedback*

- Reação do organismo diante da informação sobre uma variável particular (temperatura, salinidade, pH)



# AMBIENTES DE CONDIÇÕES EXTREMAS



- Condições físico-químicas
  - Temperatura
  - Oxigênio
  - Água



# AMBIENTES DE CONDIÇÕES EXTREMAS





# Ambientes Aquáticos Hipóxicos

Daniela Ventura e Thiago Prado





# Hipóxia Aquática

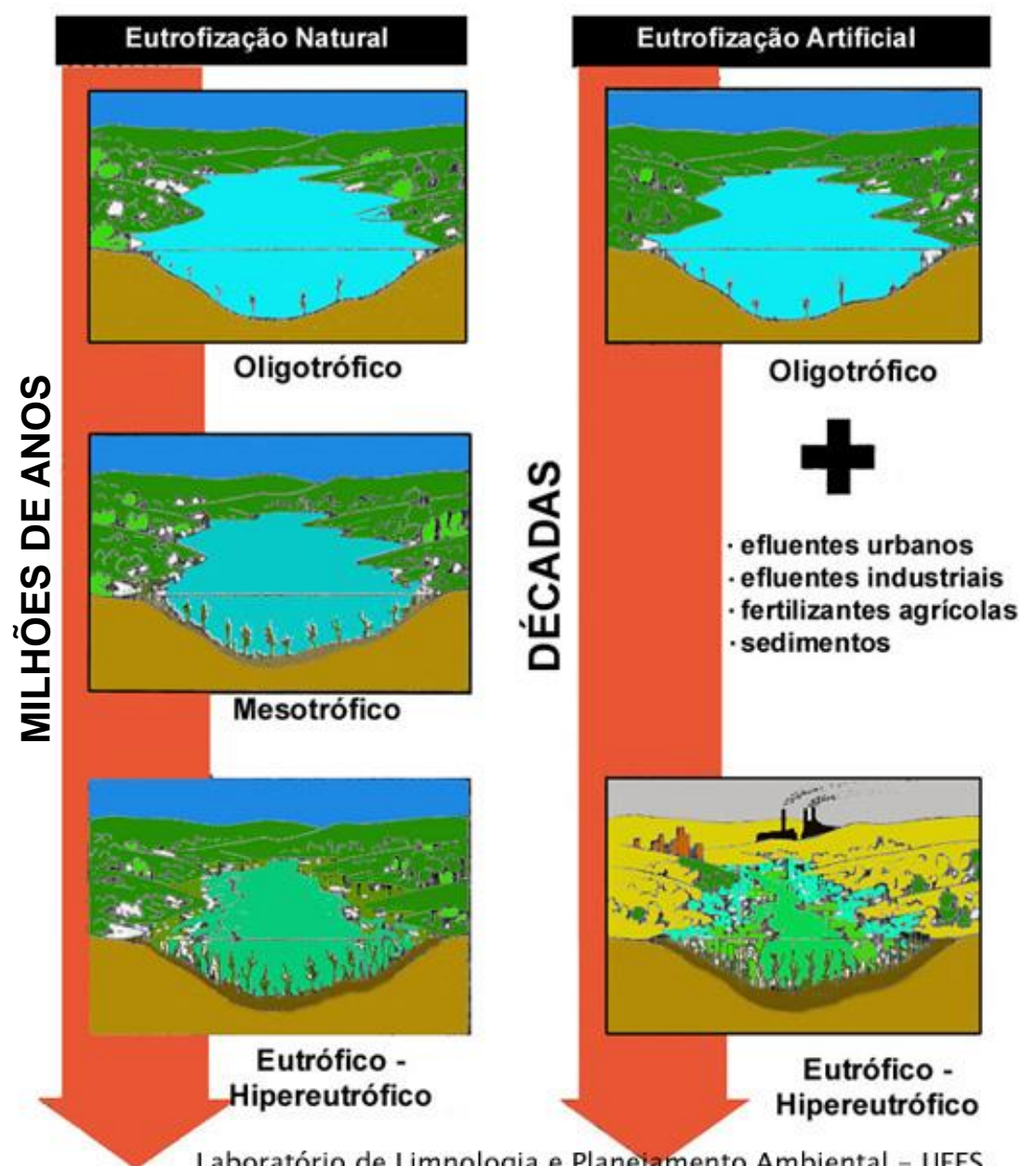






# Hipóxia Aquática

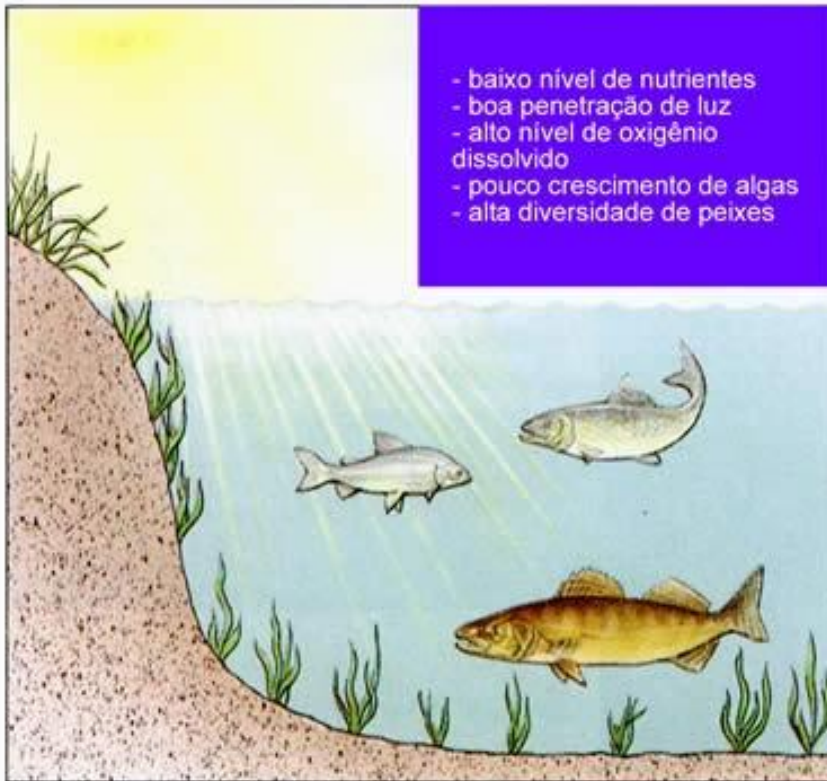




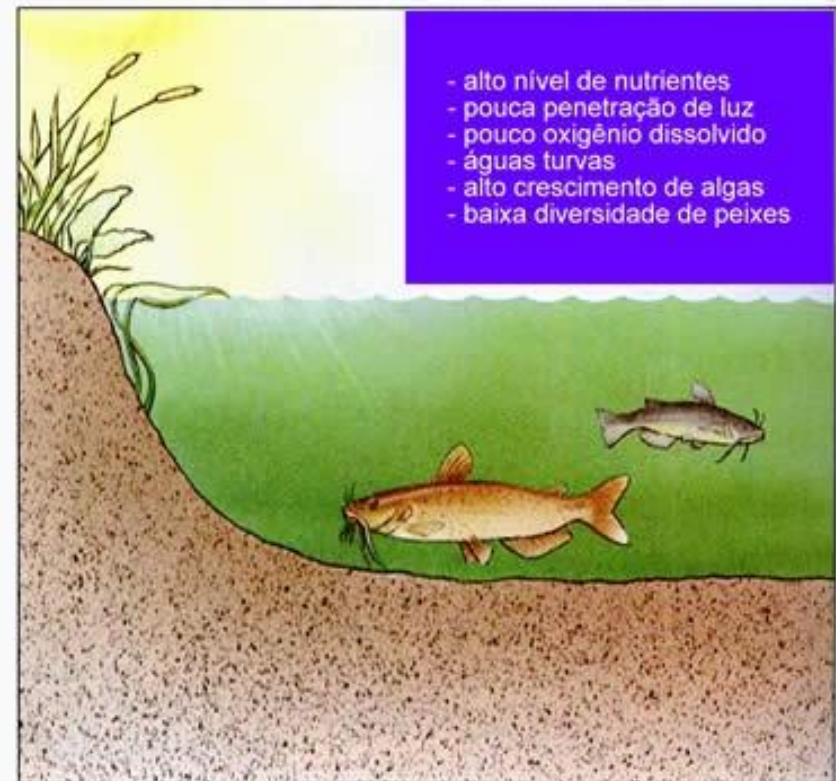




# Corpos d'água eutrofizados



(a) lago normal



(b) lago eutrofizado



# Conseqüências da Eutrofização





# Corpos d'água temporários

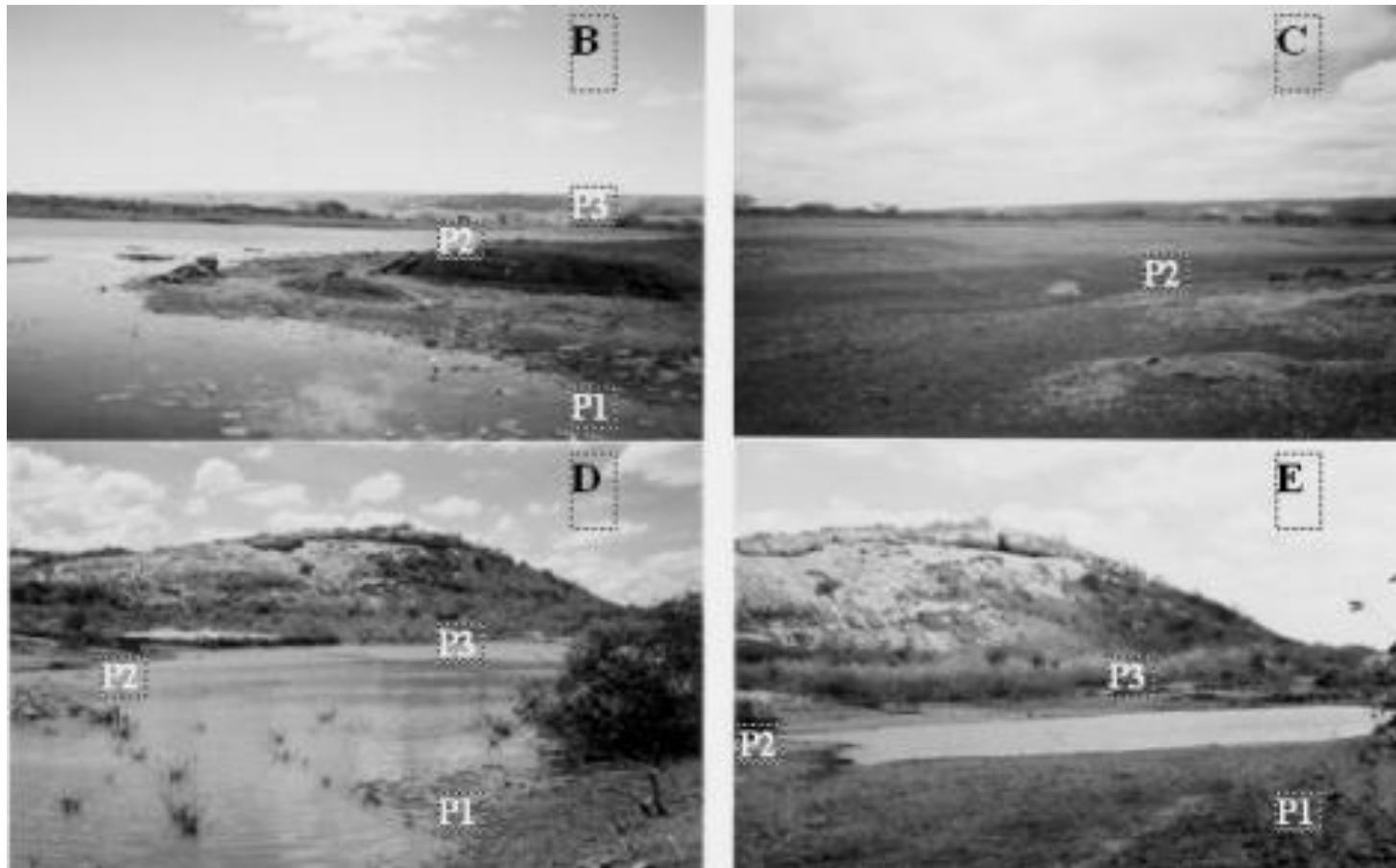


Figura 1. (A) Mapa do Brasil, destacando a Sub-Bacia Hidrográfica do rio Taperoá no Estado da Paraíba, onde ilustra a localização da lagoa Panati e lagoa Serrote. (B e C) Lagoa Panati, Taperoá – PB, no período de cheia e seca, respectivamente. (D e E) Lagoa Serrote, Boa Vista – PB, no período de cheia e seca, respectivamente.





# Corpos d'água temporários

## Lei de Henry

- Pressão do gás
- Temperatura do líquido
- Agitação da superfície do líquido

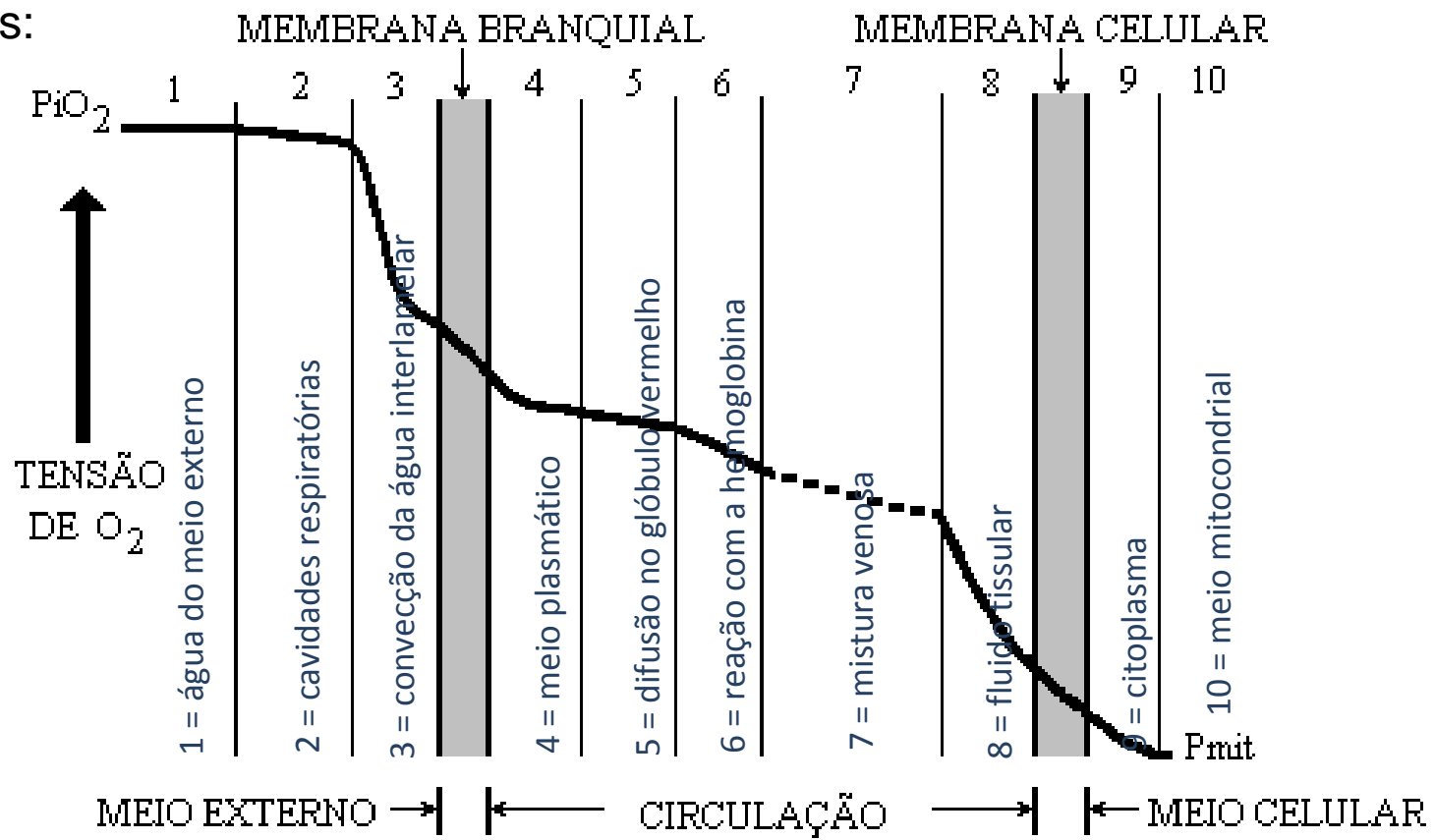
## Propriedades físicas da água

- Baixa solubilidade de oxigênio (7ml/1000ml)
- Alta viscosidade e densidade – gasto energético



# Quais os caminhos do Oxigênio?

Em peixes:



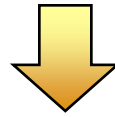
(Mallatt, 1985; Poleksic e Mitrovic-Tutundzic, 1994; Cerqueira e Fernandes, 2002)



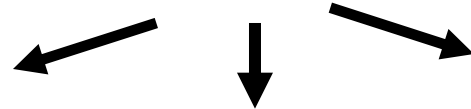


↓ **OXIGÊNIO**

*FUNÇÃO CARDIO-RESPIRATÓRIA*



Ajustes



Ventilatórios  
Cardiovasculares

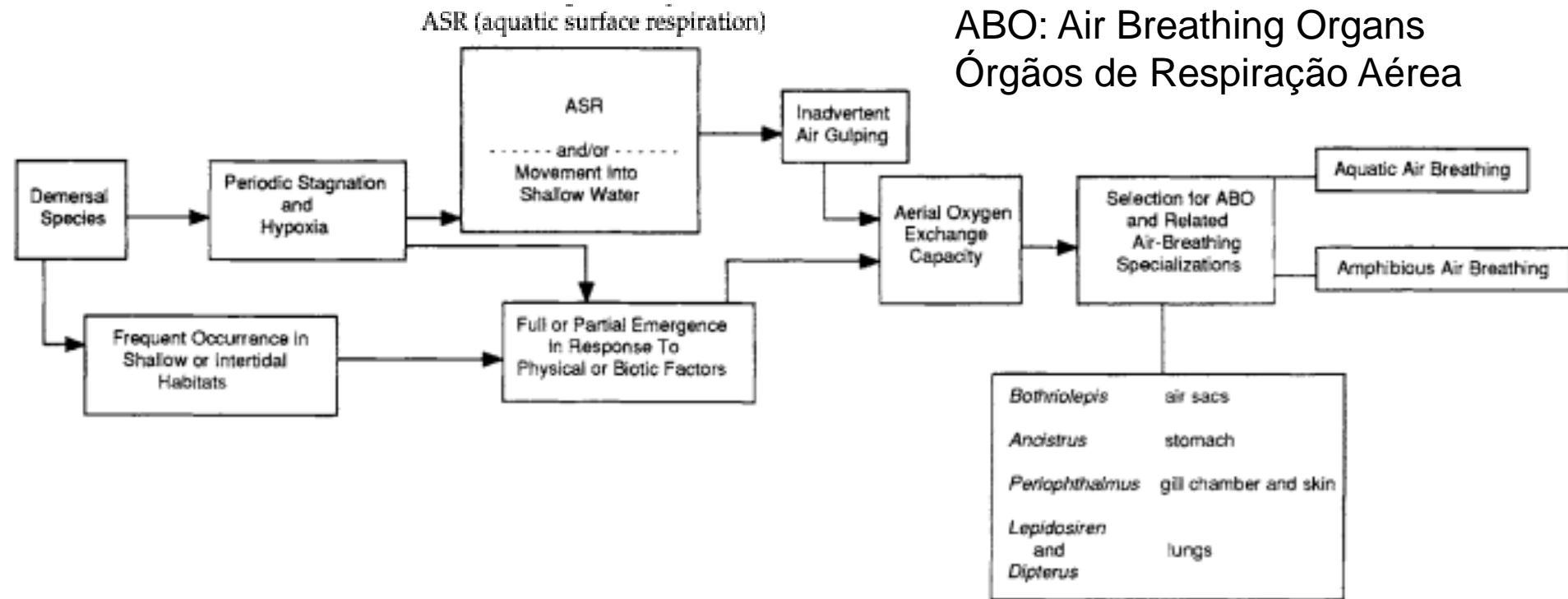
Branquiais

Metabólicos

Evolução de estruturas e funções



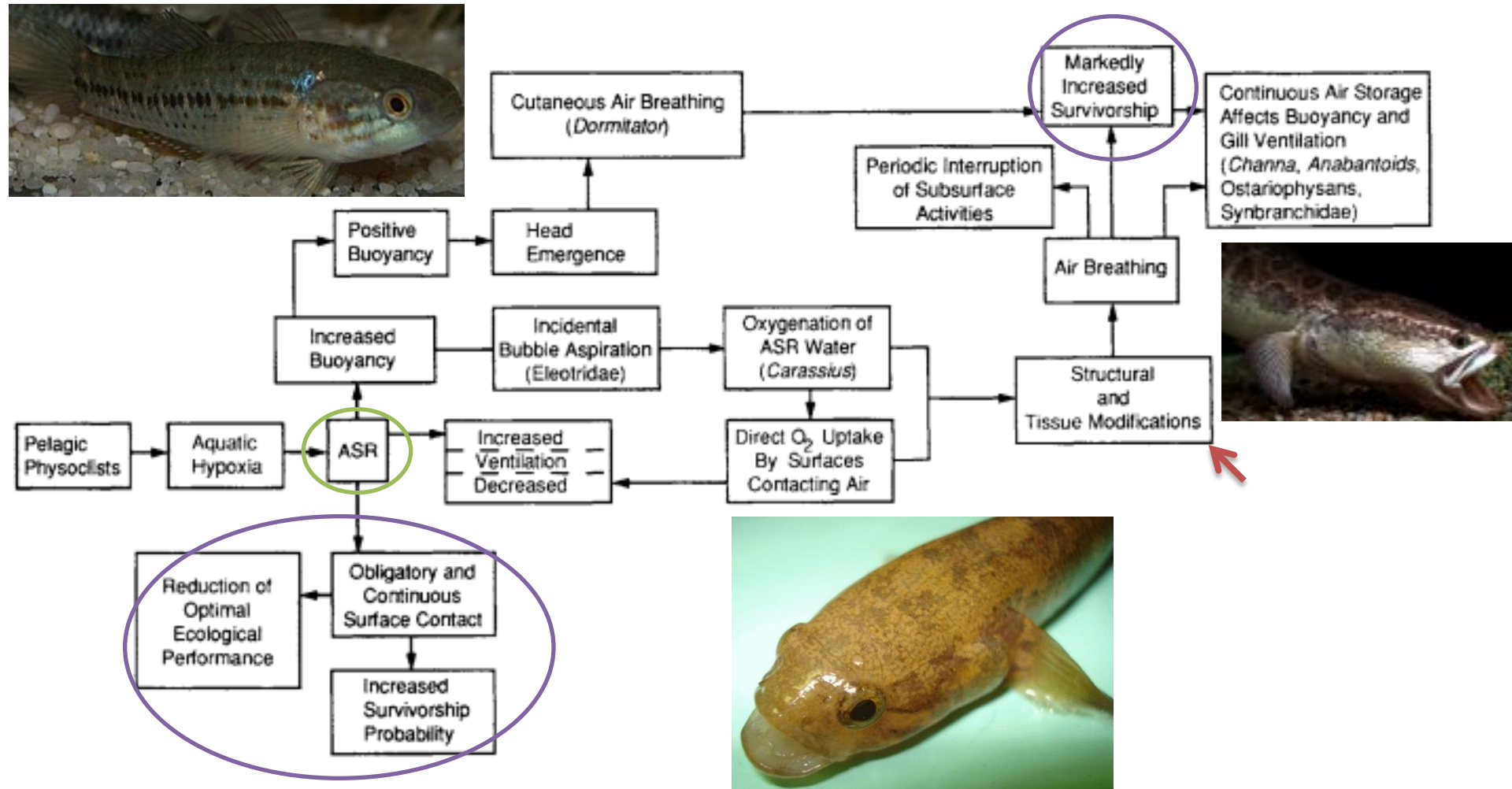
# Passos evolutivos



**FIGURE 9.2** Role of the habitat variables periodic hypoxia and emergence in the evolution of amphibious and aquatic air-breathing specializations among fishes.



# Passos evolutivos



**FIGURE 9.3** Possible mechanisms and steps leading to the derivation of air-breathing in open water fishes, beginning with ASR (aquatic surface respiration) and related buoyancy adaptations in physoclistous fishes.



# Transição para o ambiente terrestre

*As a rule fishes are so adapted to the aquatic habitat that under normal conditions it is impossible for them to emerge into air. The direct cause of emergence into dry land cannot be either the search for food material, intense competition or flight from pursuing predators. None of these or other factors could have led to positive changes if there had not been some form or organizational preconditioning in the form of adaptations for aerial respiration and locomotion on the ground. A fundamental cause is found in the contrast of ecological conditions by which aerial respiration as well as temporary emergence from water is accomplished in modern fishes.*

I.I. Schmalhausen,  
*The Origin of Terrestrial Vertebrates, 1968*



*"Breathin' this is where the action is going to be, Baby."*

FIGURE 1.2 Drawing by Robert Day; © 1966. The New Yorker Magazine, Inc.



# Tipos de respiradores aéreos

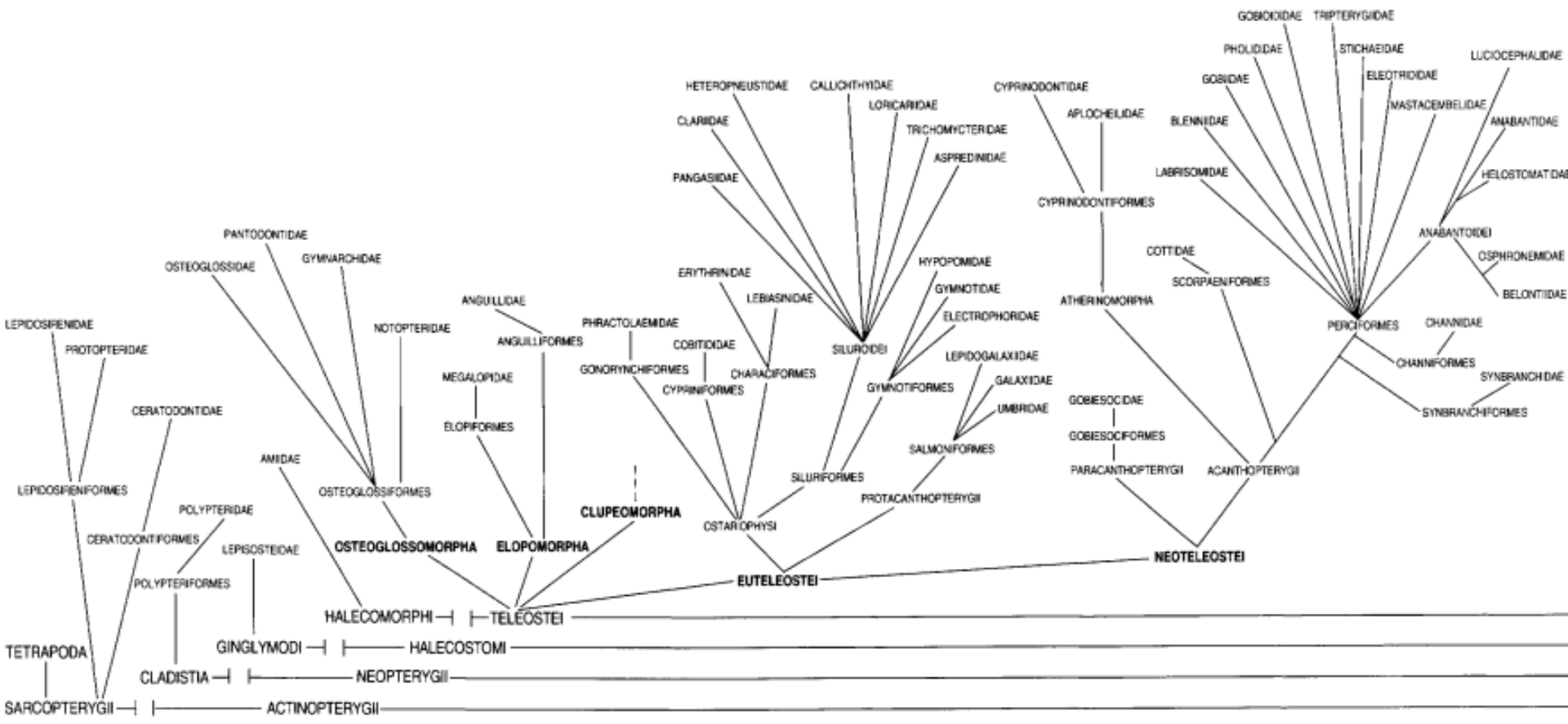
**TABLE 1.2 Classification of Air-Breathing Fish Types Based on Behavior and Factors Affecting Respiration, with Selected Examples for Each Group**

---

- I. Amphibious air breathers
    - A. Active on land (volitional exposure): *Periophthalmus*, *Mnierpes*, *Entomacrodus*, *Andamia*
    - B. Inactive on land (enforced exposure)
      - 1. Endure brief exposure: *Tomicodon*, *Blennius*, *Xiphister*, *Pholis*
      - 2. Estivators: *Protopterus*, *Synbranchus*, *Mastacembelus*
  - II. Aquatic air breathers
    - A. Facultative: *Ancistrus*, *Hypostomus*
    - B. Continuous
      - 1. Obligatory: *Arapaima*, *Anabas*
      - 2. Non-obligatory: *Hoplosternum*, *Piabucina*, *Erythrinus*
-



# Diversidade



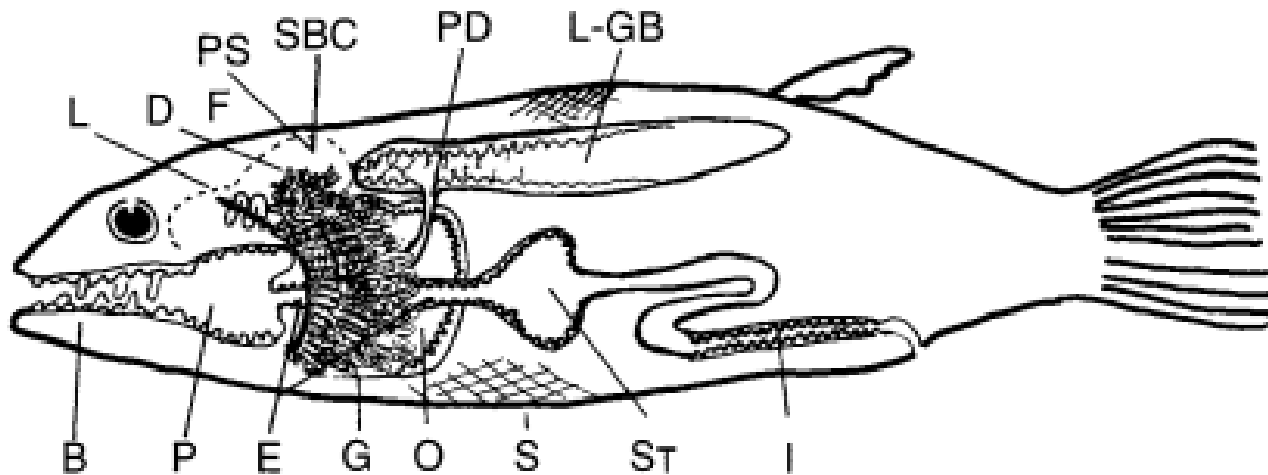
**FIGURE 2.1** Phylogenetic arrangement of the 49 air-breathing fish families within the bony fishes (Class Osteichthyes). The progressive taxonomic groupings defining the phylogeny are: Subclasses Sarcopterygii and Actinopterygii; Infraclasses Cladistia and Neopterygii; Divisions Ginglymodi and Halecostomi; Subdivisions Halecomorphi and Teleostei; and the four teleost infradivisions, Osteoglossomorpha, Elopomorpha, Clupeomorpha, Euteleostei, and the Neoteleostei.





# Órgãos Respiratórios

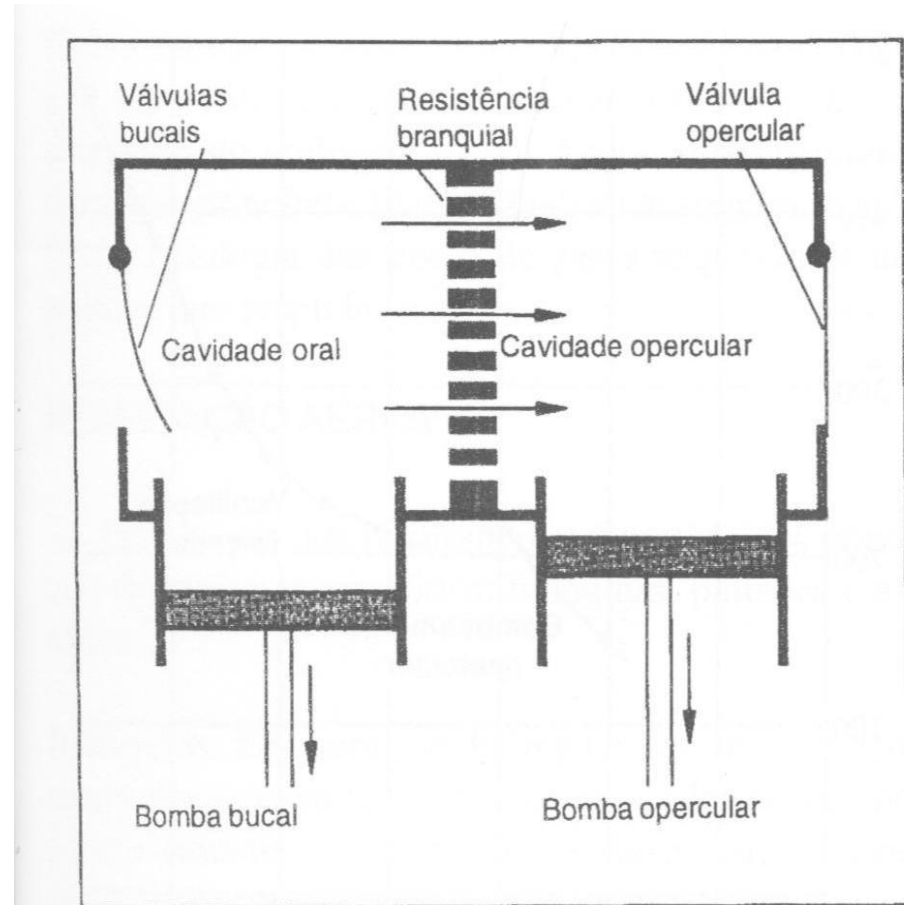
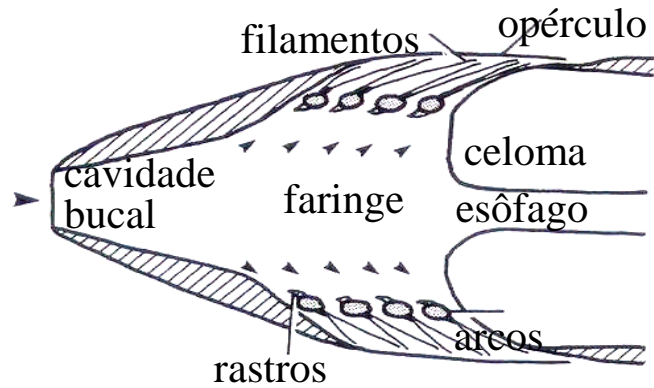
- Região da cabeça: cameras bucais, faringeais, branquiais e operculares e suas superfícies. Brânquias e derivados.
- Tubo digestivo: esôfago, ducto pneumático, estômago e intestino.



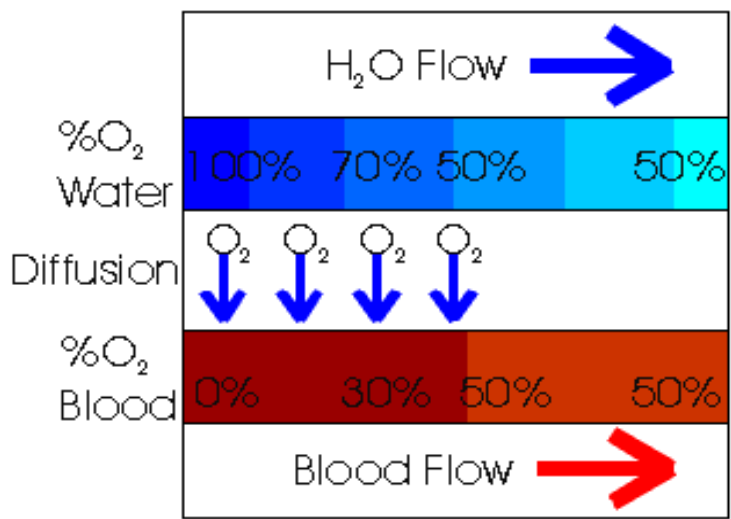
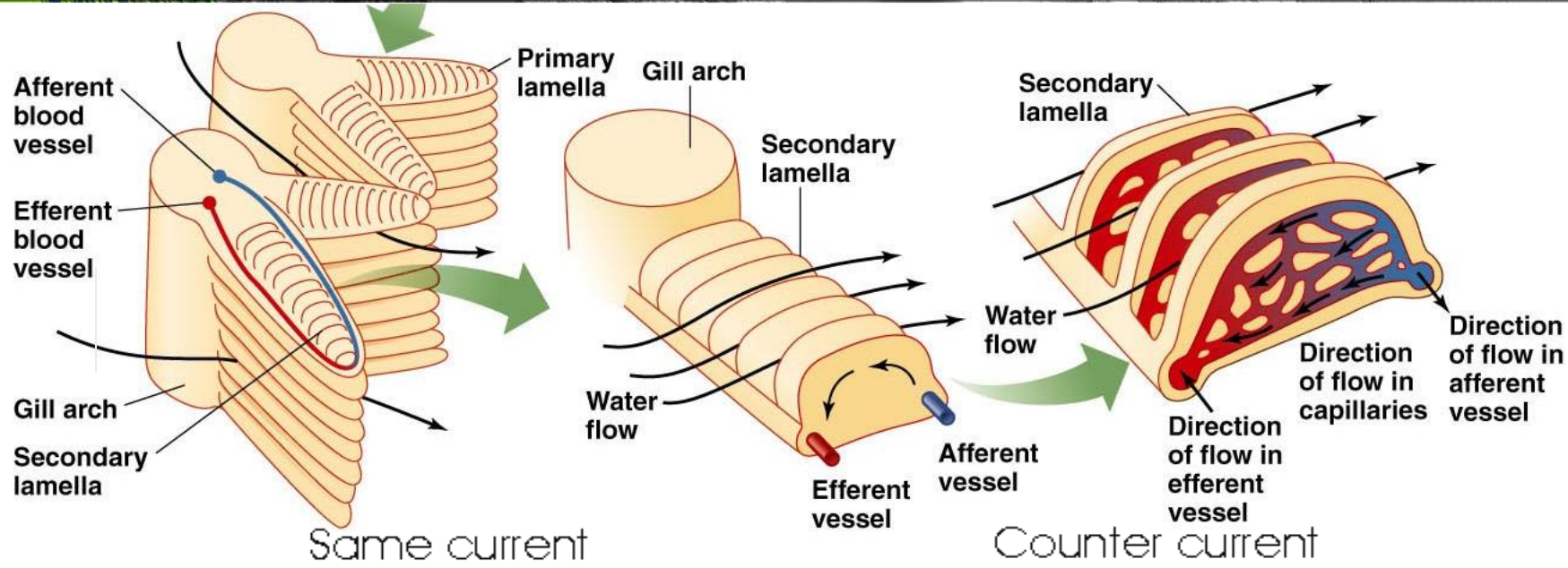
**FIGURE 3.1** Generalized air-breathing fish "*Aerorespirichthys*" illustrating the ABOs presently known, including: Modified epithelial surfaces in the buccal (B), pharyngeal (P), esophageal (E), and opercular (O) chambers, as well as the gills (G), skin (S), stomach (ST), and intestine (I). Modified spaces include, the suprabranchial chamber (SBC), or pharyngeal sacs (PS). Modified chambers include the pneumatic duct (PD), and the lung or respiratory gas bladder (L-GB). Projections into these spaces include the labyrinth (L), dendrites (D), and gill fans (F).



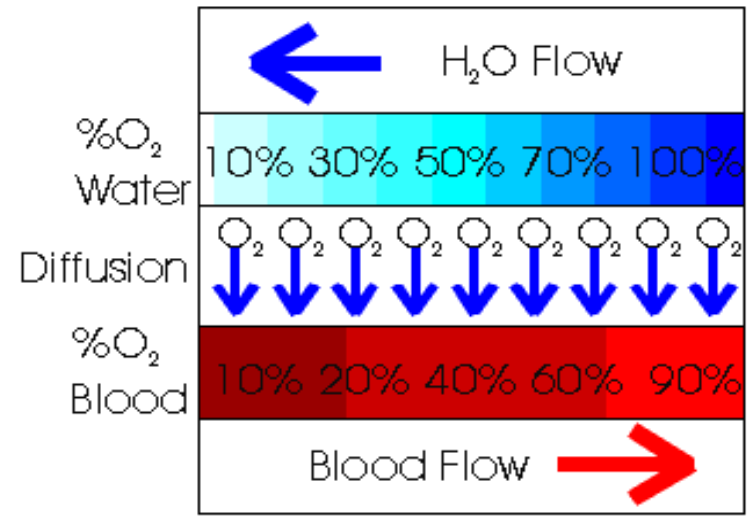
# As brânquias







Equilibrium is reached, diffusion stops

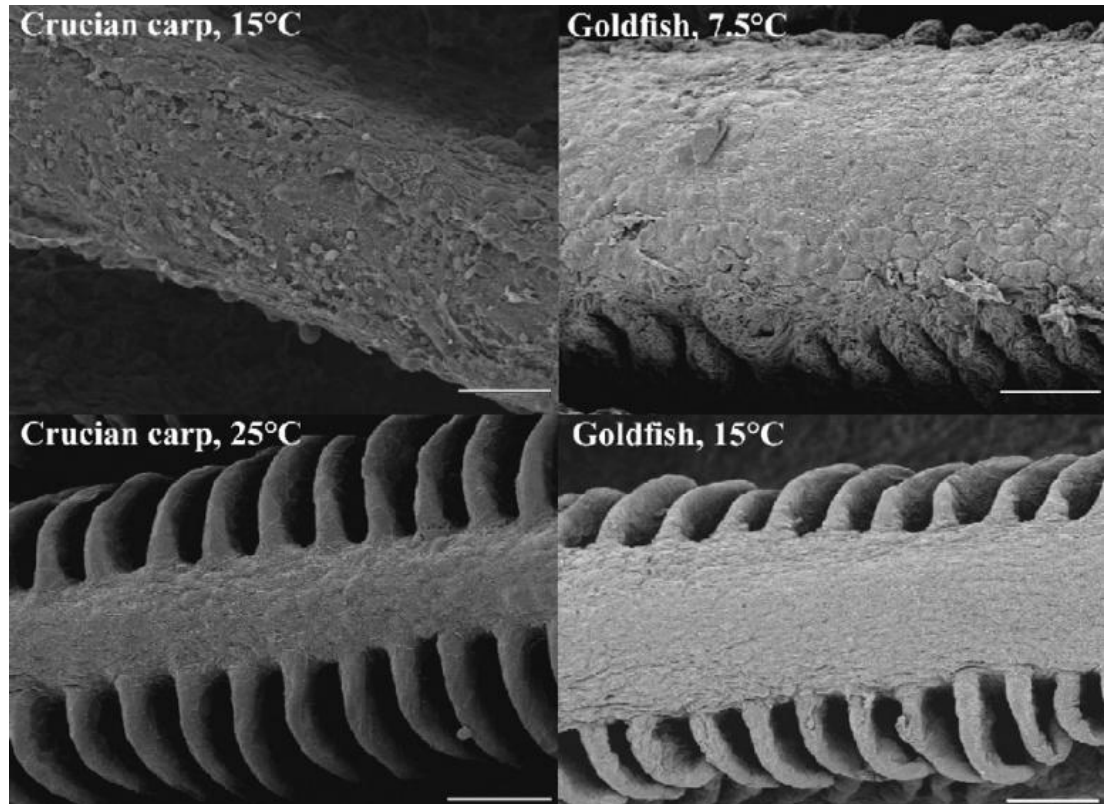


Equilibrium not reached, diffusion is constantly taking place



Plasticity of respiratory structures — Adaptive remodeling of fish gills induced by ambient oxygen and temperature<sup>☆</sup>

Jørund Sollid, Göran E. Nilsson\*







## A. Lungs and Respiratory Gas Bladders of the More Primitive Bony Fishes

### Lungs

*Protopterus, Lepidosiren, Neoceratodus, Polypterus, Erpetoichthys*

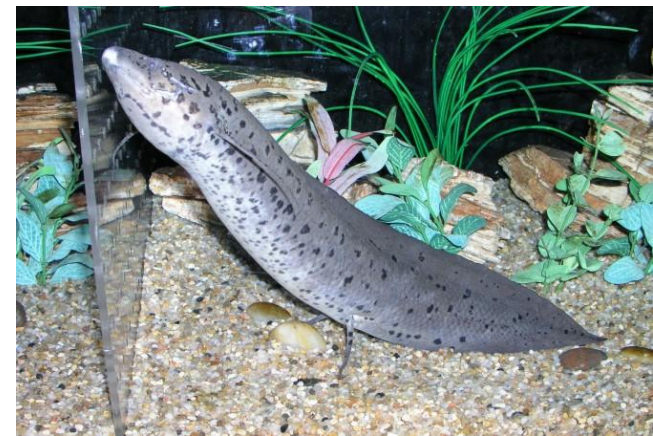
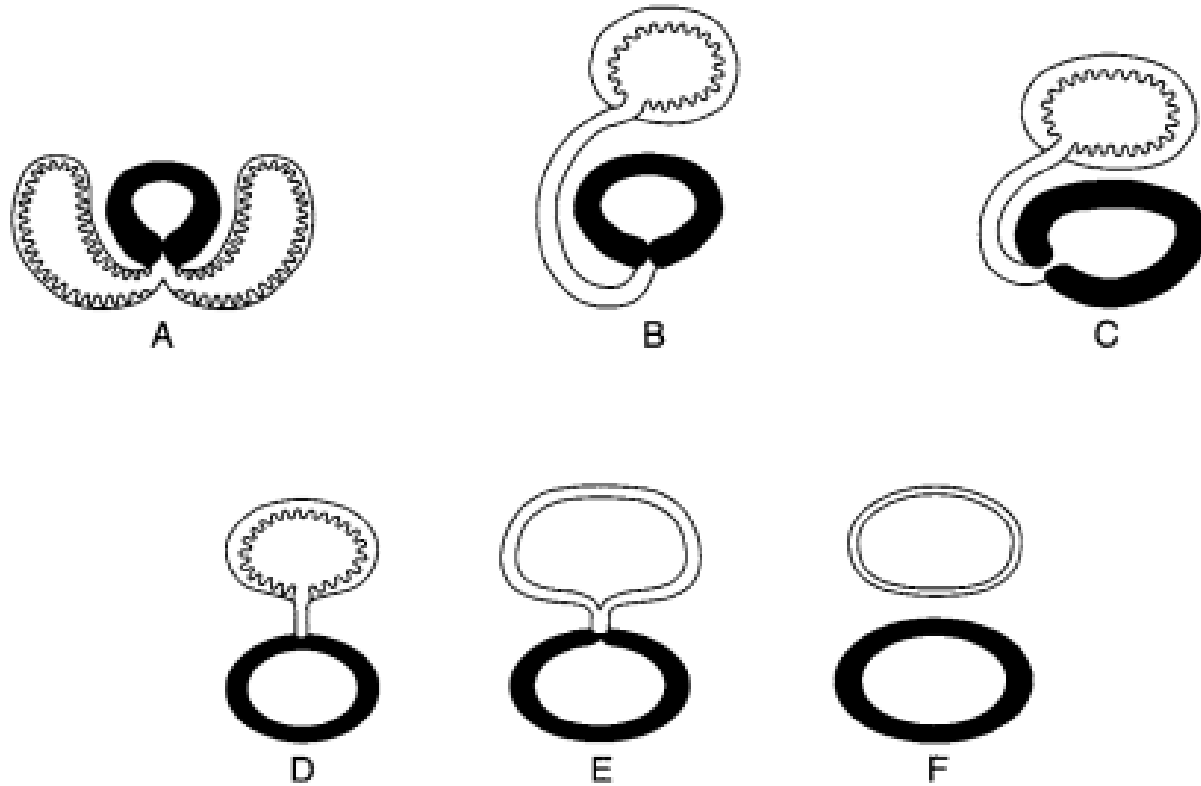
### Respiratory Gas Bladders

*Lepisosteus, Atractosteus, Amia, Arapaima, Heterotis, Pantodon, Gymnarchus, Notopterus, Papyrocranus, Xenomystus, Megalops, Phractoalaemus, Erythrinus, Hoplerythrinus, Lebiasina, Piabucina, Pangasius, Gymnotus, Umbra*





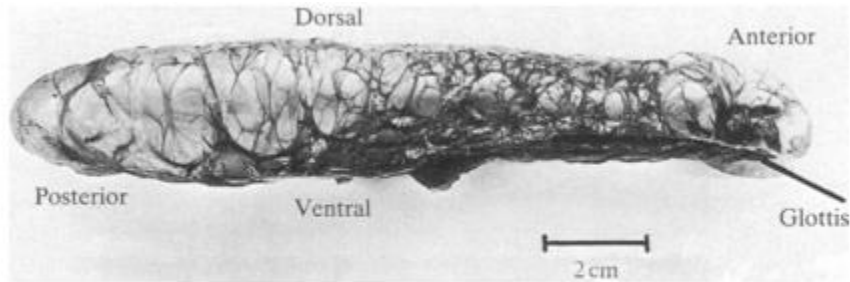
# Passos evolutivos







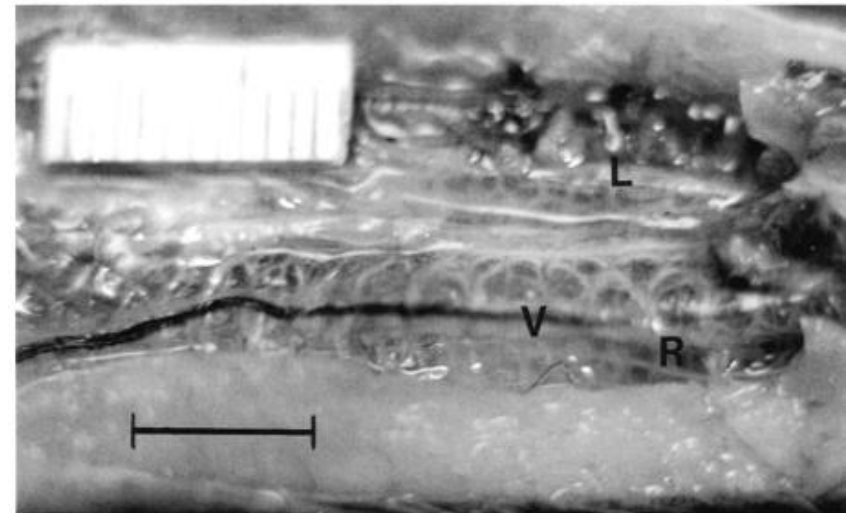
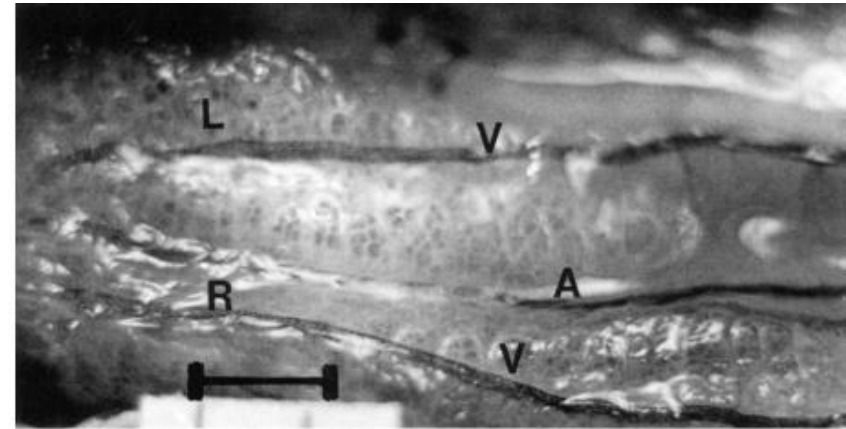
# Morfologia interna



**FIGURE 3.9** Respiratory gas bladder of *Amia*. (Milsom and Jones, 1985. Reprinted by permission of the Company of Biologists, Ltd. from the *Journal of Experimental Biology*.)

## Ventilação

Bomba bucal e variações  
Ventilação aspiratória



**FIGURE 3.6** Ventral views of the anterior (*top*) and posterior (*lower*) sections of the lung of a 28 cm preserved *Protopterus* sp. Head direction is to the left. Note that both right (R) and left (L) lung lobes are evident at both positions and that there are regional differences in alveolar size. A, pulmonary artery; V, pulmonary vein. Scale = 7.0 mm.



**B. Air-Breathing Organs of the More Advanced Teleosts**  
*Organs in the Head Region*

**Buccal and Pharyngeal Epithelial Surfaces**

*Electrophorus, Hypopomus, Sicyases, Alticus, Mnierpes, Entomacrodus, Periophthalmus, Periophthalmodon, Boleophthalmus, Scartelaos, Gillichthys, Channa, Monopterus, Synbranchus, Ophisternon, Blennius, Gobius*

**Branchial and Opercular Epithelial Surfaces**

*Mudskippers, Pseudapocryptes, Synbranchidae*

**Pouches Formed Adjacent to the Pharynx**

*Channa, Monopterus*

**Branchial Diverticulae**

*Heteropneustes, Clarias, Anabantoids*

**Gills**

*Hypopomus, Mnierpes, Synbranchus, Mastacembelus*



© Luboš Mráz  
[www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz)







*Electrophorus electricus*

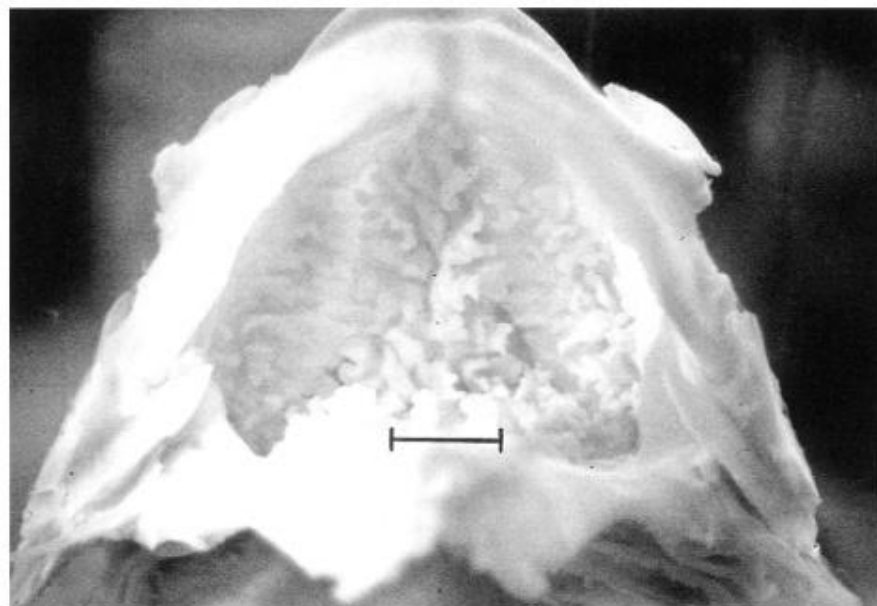


FIGURE 3.20 Dorsal view of the lower jaw epithelium of *Electrophorus*; scale = 1 cm.

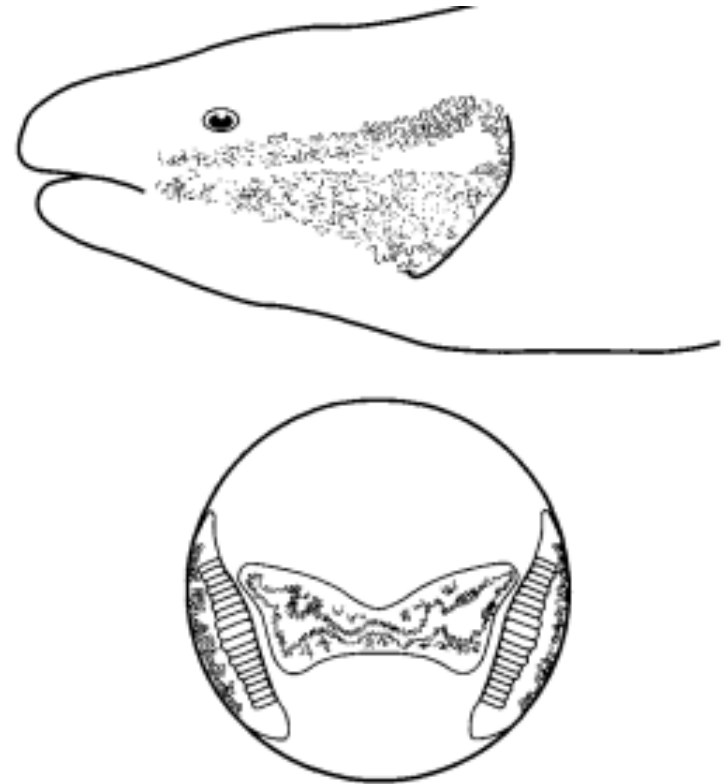
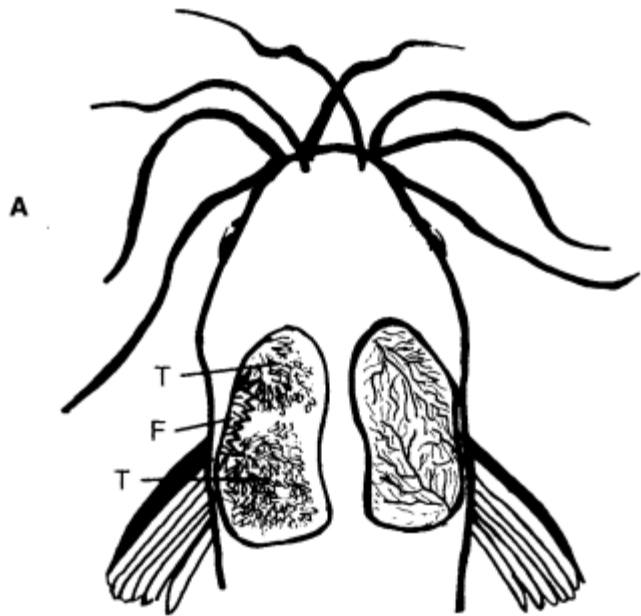
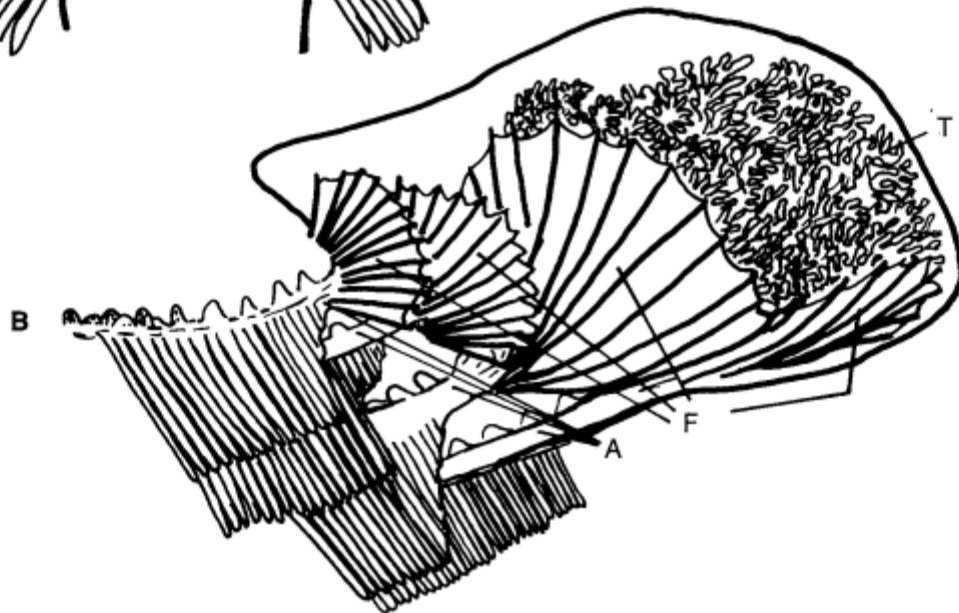


FIGURE 3.19 Side and transverse views of the buccopharyngeal epithelium of *E. electricus*. Transverse section shows relatively reduced gills, presence of a respiratory epithelium in the opercular chamber, and the interdigitation of epithelial tufts on the upper and lower jaws. (Modified from Carter, 1935. Printed with permission of the Journal of the Linnean Society of London.)

**Habitat:** América do sul, bacia amazônica



*Clarias sp*



**Habitat:** Ásia e África, rios e lagos temporários.



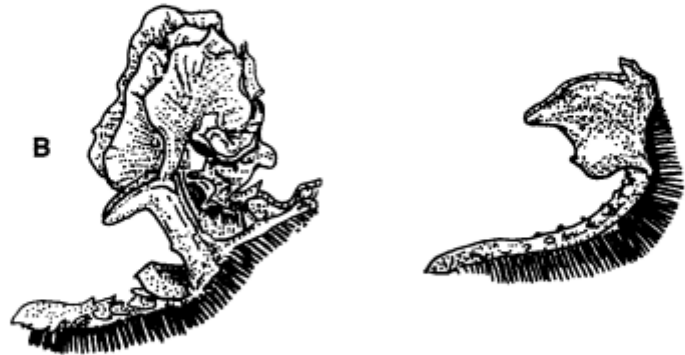
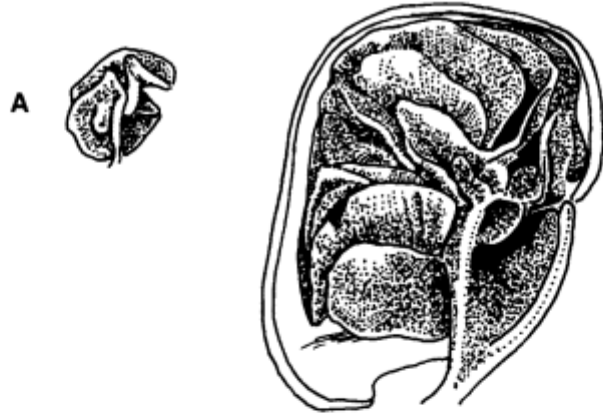
# **Walking Catfish at Eagle Palms**

**Tampa, FL**



*Betta sp*

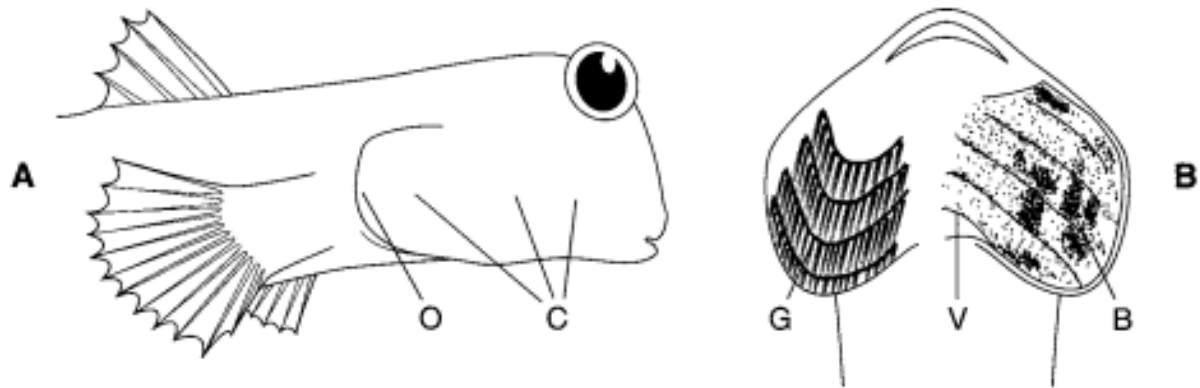
**Habitat:** Ásia, pântanos e alagados.





**Habitat:** África e Ásia,  
manguezais.

*Periophthalmus* sp.



**FIGURE 3.21** A, Side view of *Periophthalmus* showing the expanded buccal, branchial, and opercular chambers (C) and opercular opening (O). B, Ventral view of branchial chamber with operculum lifted revealing the branchiostegal membrane (B) that wraps around the gills (G) and controls ABO volume through a ventro-medial valve (V). (Modified from Singh and Munshi, 1968.)









## *Organs Located along the Digestive Tube*

Pneumatic Duct

*Anguilla*

Esophagus

*Dallia*

Stomach

Loricariidae, Trichomycteridae

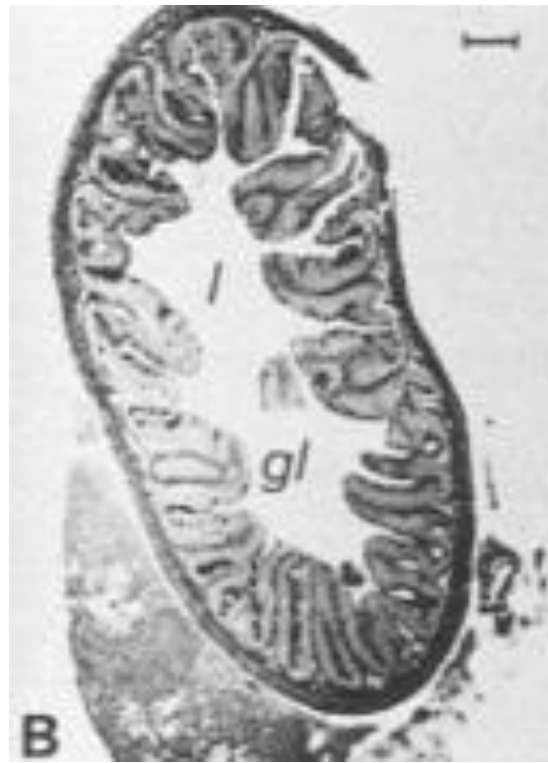
Intestine

Cobitididae, Callichthyidae





2A







## C. Skin

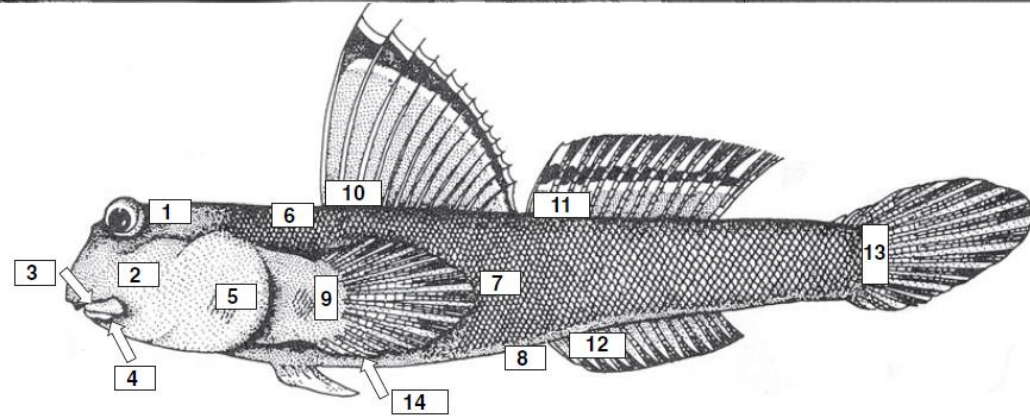
*Erpetoichthys, Anguilla, Misgurnus, Clarias, Heteropneustes, Electrophorus, Neochanna, Xiphister, Sicyases, Mnierpes, Alticus, Coryphoblennius, Blennius, Periophthalmus, Boleophthalmus, Dormitator, Mastacembelus, Macrognathus, Monopterus, Synbranchus, Ophisternon*







# Respiração cutânea

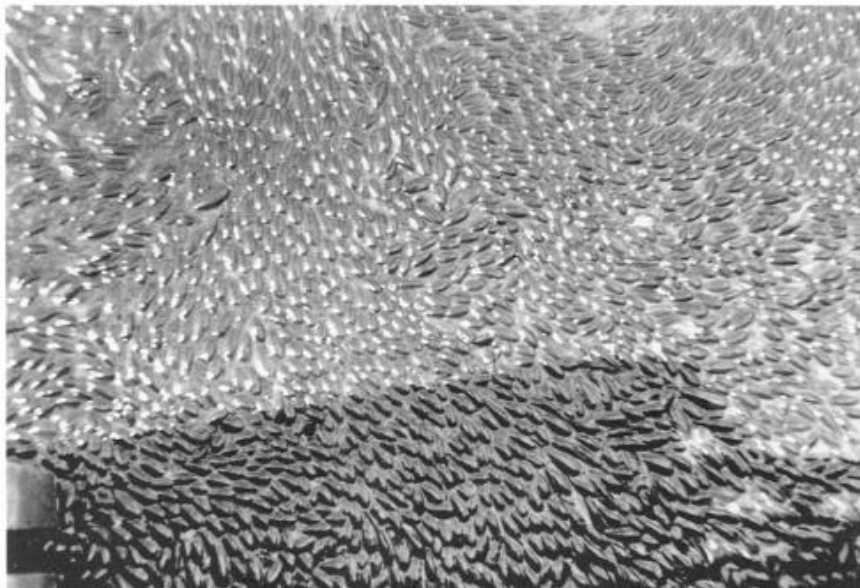
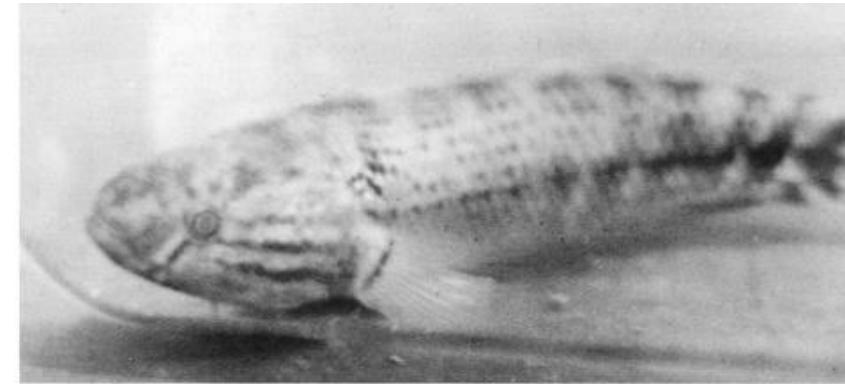


Regional epidermis of air-breathing mudskipper

Table 4  
Diffusion distance in 14 regions of *Periophthalmus magnuspinnatus* epidermis

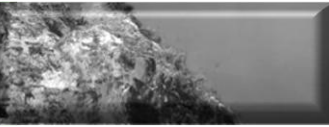
Skin regions	n	Mean $\pm$ SD ( $\mu\text{m}$ )	Range ( $\mu\text{m}$ )
Top of the head	100	3.6 $\pm$ 1.4	1.2–9.3
Cheek	100	5.2 $\pm$ 2.8	1.4–14.5
Upper jaw	100	10.8 $\pm$ 4.8	2.9–20.1
Lower jaw	100	7.1 $\pm$ 3.9	1.6–17.4
Operculum	100	6.1 $\pm$ 3.9	0.8–21.0
Lateral body	110	5.6 $\pm$ 2.7	1.5–29.3
Back	110	2.0 $\pm$ 0.8	0.4–6.9
Abdomen	100	4.2 $\pm$ 1.9	1.9–9.9
Base of pectoral fin	50	3.9 $\pm$ 1.8	1.0–11.2
Base of 1st dorsal fin	50	4.6 $\pm$ 2.2	2.0–10.3
Base of 2nd dorsal fin	50	4.6 $\pm$ 2.4	2.2–9.2
Base of anal fin	45	15.4 $\pm$ 9.7	4.3–32.0
Base of caudal fin	50	6.8 $\pm$ 2.8	2.8–16.4
Base of sucking disc	50	3.4 $\pm$ 1.8	0.8–12.8

n, number of determinations.

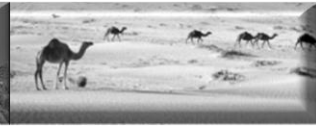


*Dormitator latifrons*

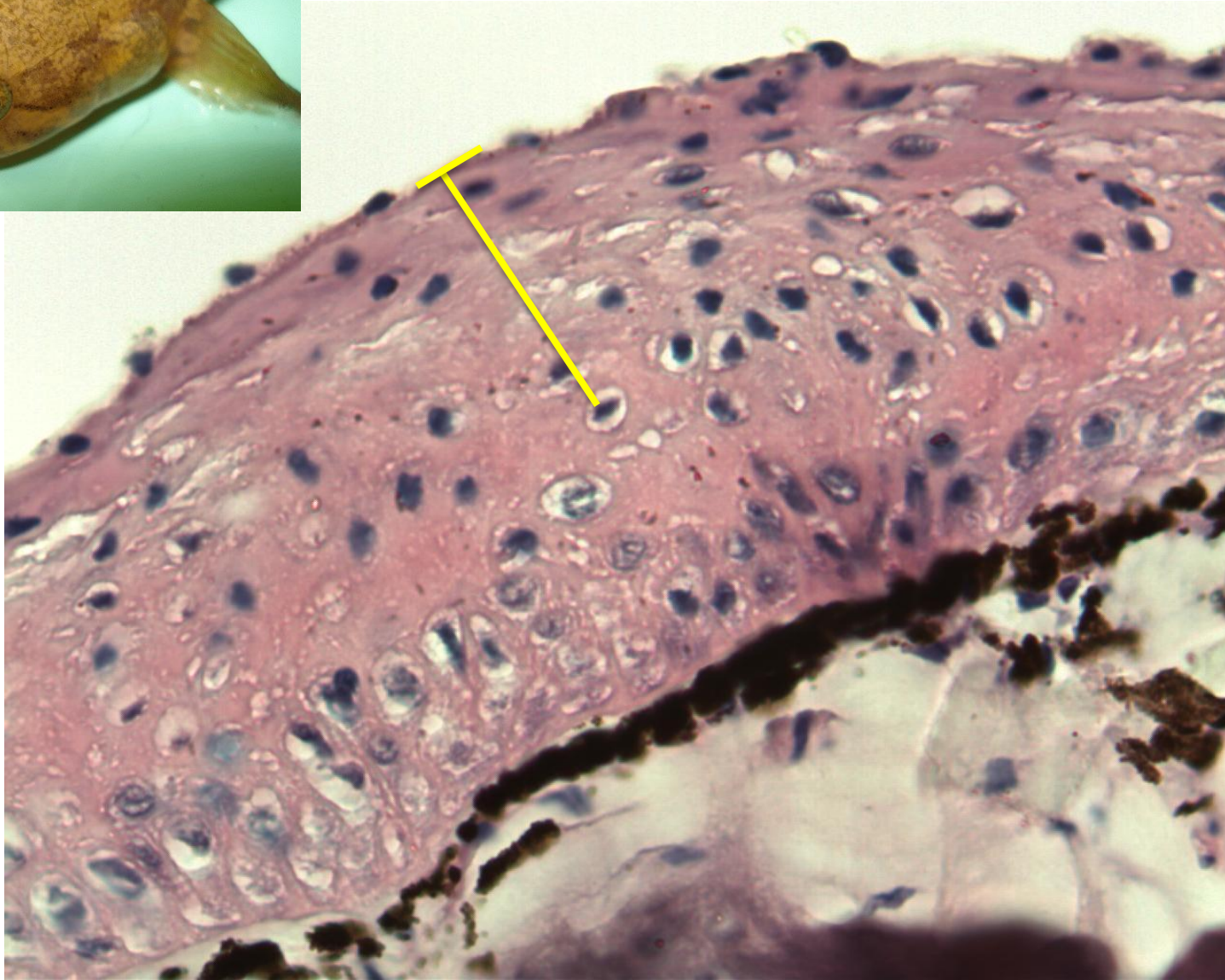




A parte de imagem com identificação de  
relação está não foi encontrada no arquivo.

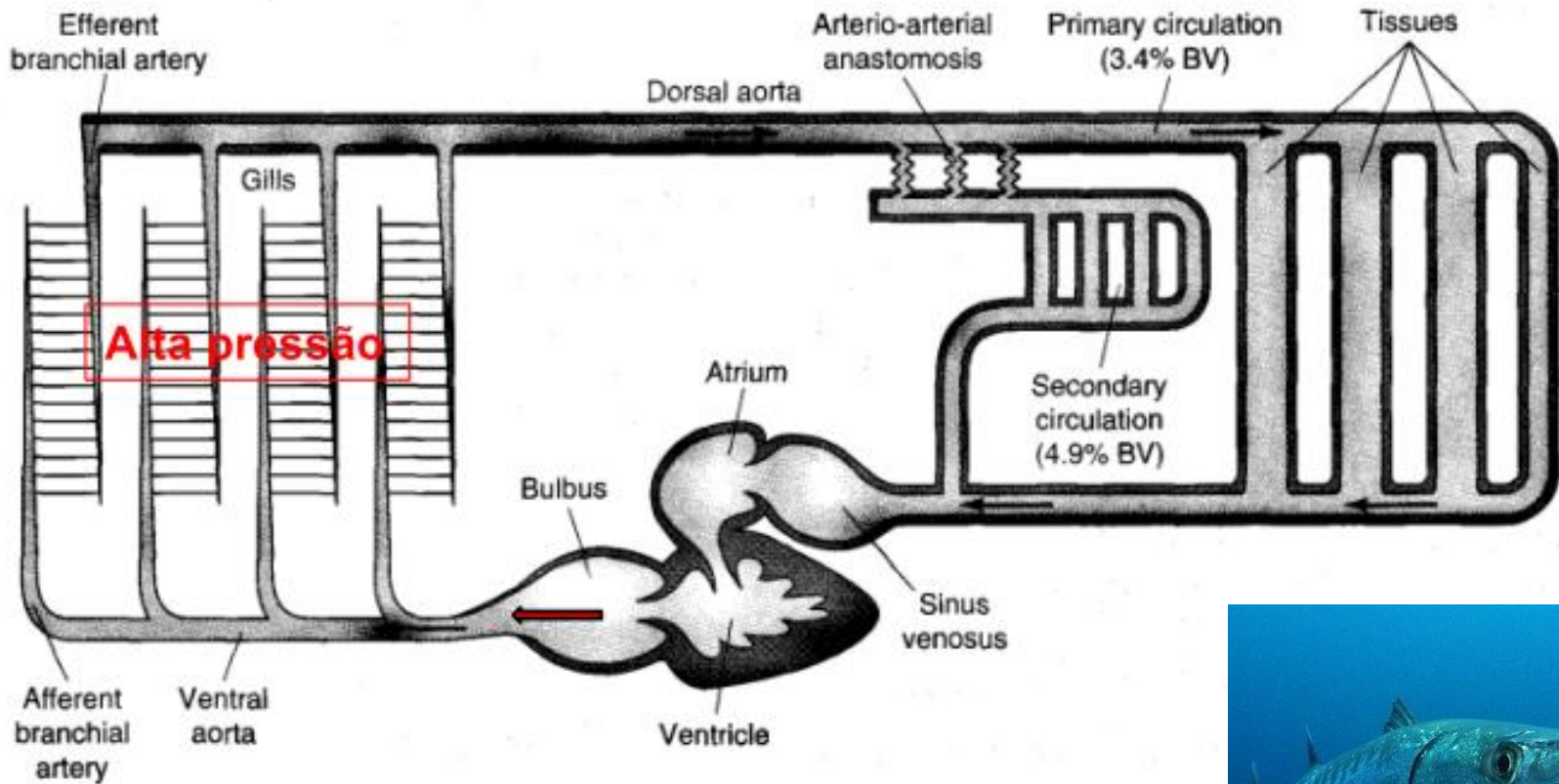


# Distância de Difusão ( $\mu\text{m}$ )





# Adaptações do sistema circulatório

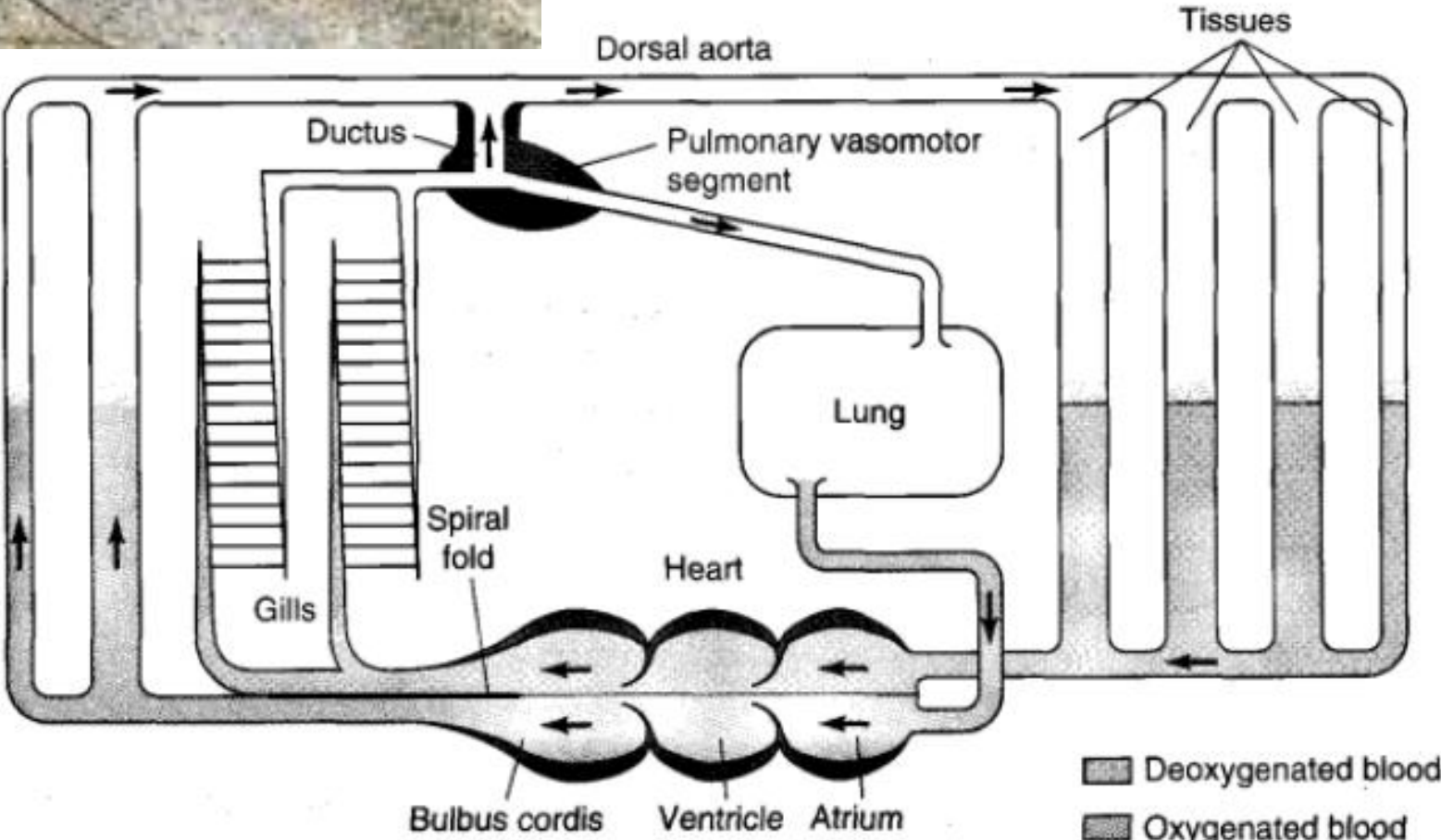


Teleósteos sem respiração aérea



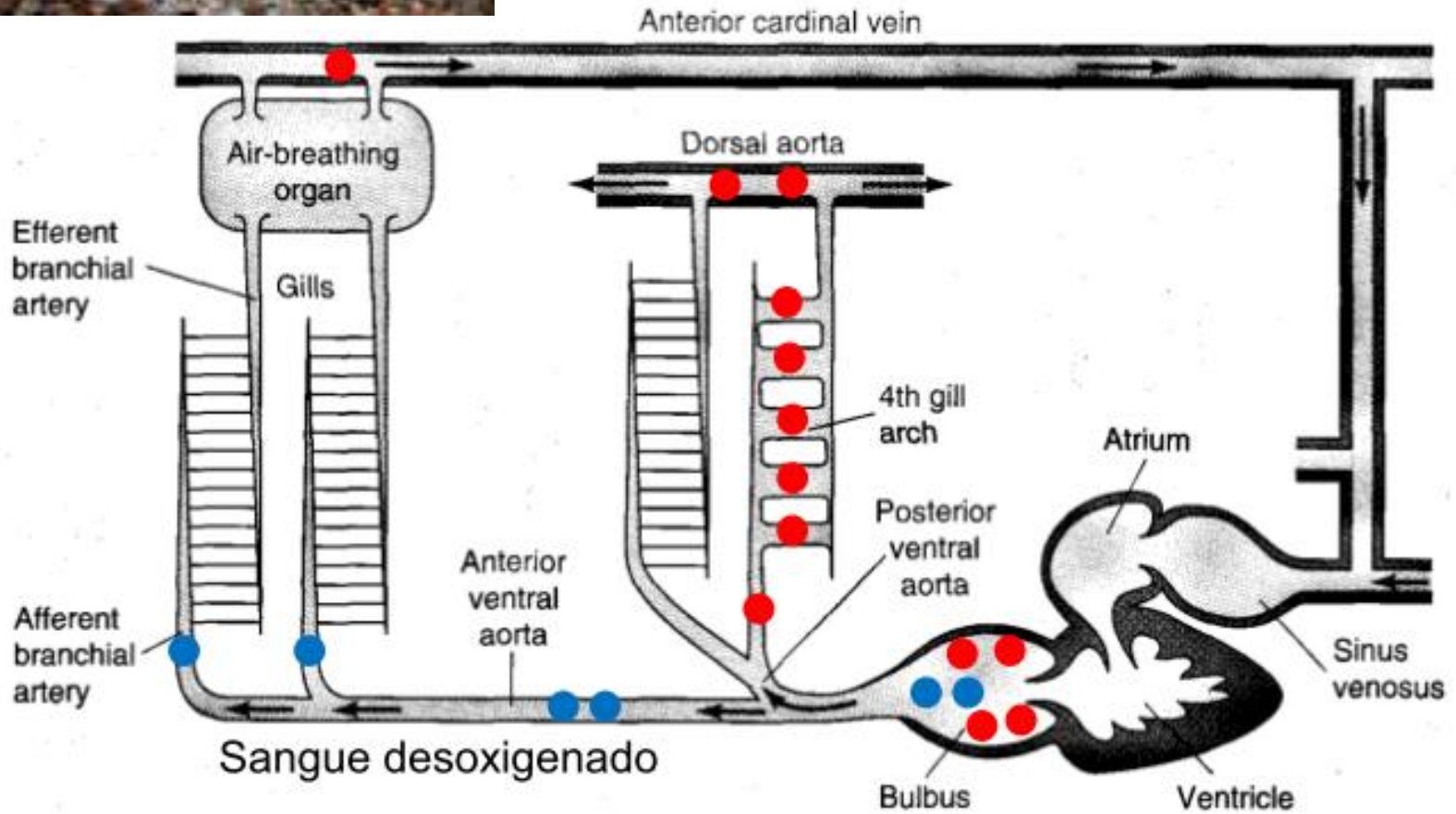


Dipnoi





*Channa argus*

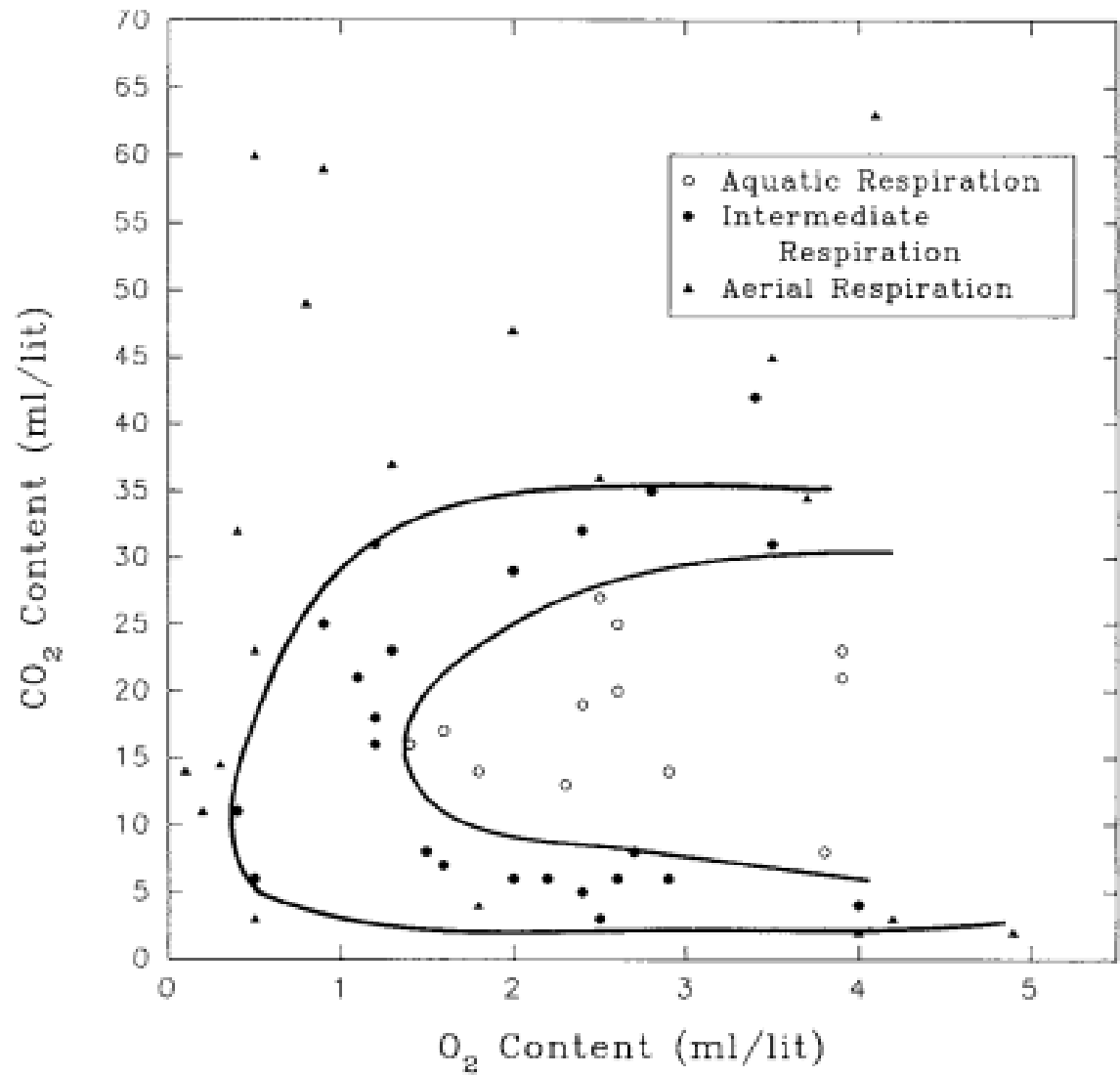






# Controle cardio-respiratório

- Quimiorreceptores
- Mecanorreceptores
- Fatores externos





# Propriedades sanguíneas

Hemoglobina

Eritrócitos

Contração esplênica

TABLE 7.5A Hypoxia Effects on Red-Cell ATP and GTP Concentration in Three Air-Breathing Fish Species<sup>a</sup>

		Control 6.6 mg O <sub>2</sub> /l 28–32 °C	Hypoxia (12 days) 3.6 mg O <sub>2</sub> /l 28–32 °C
<i>Protopterus annectens</i> (40–55 g)	Total (ATP + GTP)	725(μM/100 ml)	900
	% GTP	34	51
<i>Polypterus senegalus</i>	Total	560	685
	% GTP	20	37
<i>Clarias lazera</i>	Total	440	620
	% GTP	11	39

<sup>a</sup>Babiker, 1984b.

TABLE 7.5B Ambient Oxygen Effects on the Red-Cell Phosphate and Other Blood Respiratory Properties of *Pterygoplichthys multiradiatus*<sup>a</sup>

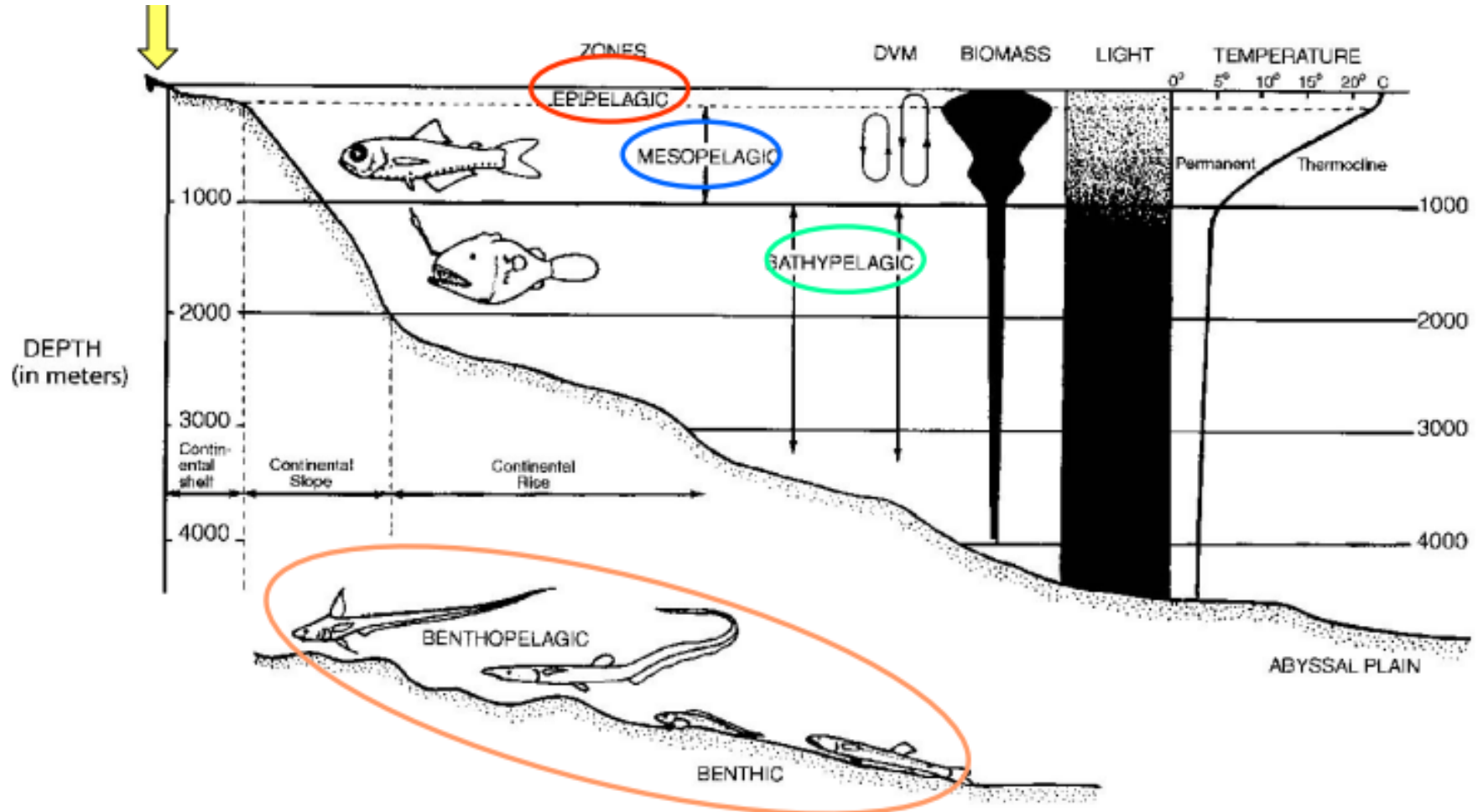
	Normoxia 7.3 mg O <sub>2</sub> /l 25–27 °C	Hypoxia 1.3 mg O <sub>2</sub> /l 25–27 °C	Natural 0.5 mg O <sub>2</sub> /l 27 °C
Blood Parameters			
Hmct	29.8	30.4	36.0
Hb	9.2	11.4	10.9
MCHC	31.1	37.3	31.1
Total NTP (μM/100 ml)	1010	629	440
%GTP	35	8	7
GTP/ATP(%)	59	15	18
NTP/Hb	7.16	3.59	2.63
P <sub>50</sub> (@pH = 7.4)	4.7	3.8	3.5

<sup>a</sup>Val *et al.*, 1990.



# Mar Profundo

Daniela Ventura e Thiago Prado

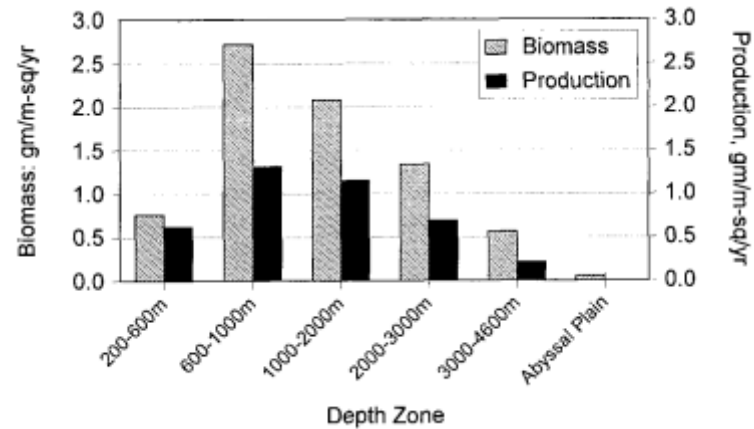


90% dos oceanos correspondem a águas mais profundas que 1000 m  
Região batipelágica – 75% dos oceanos – maior habitat da Terra



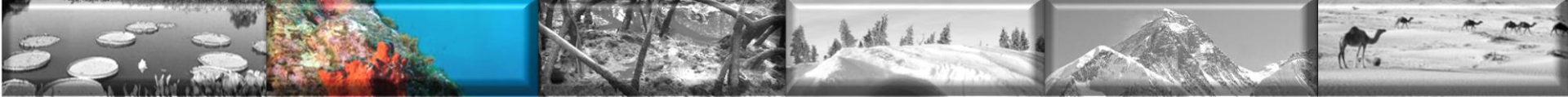
# Introdução - Caracterização

- Mar profundo (Hessler and Jumars 1974)
  - Baixa biomassa
  - Alta diversidade



- Fontes hidrotermais
  - Descobertas em 1976 – Galápagos Ridge
  - Elevada biomassa
  - Relativamente baixa diversidade de espécies





# Fontes hidrotermais - Caracterização

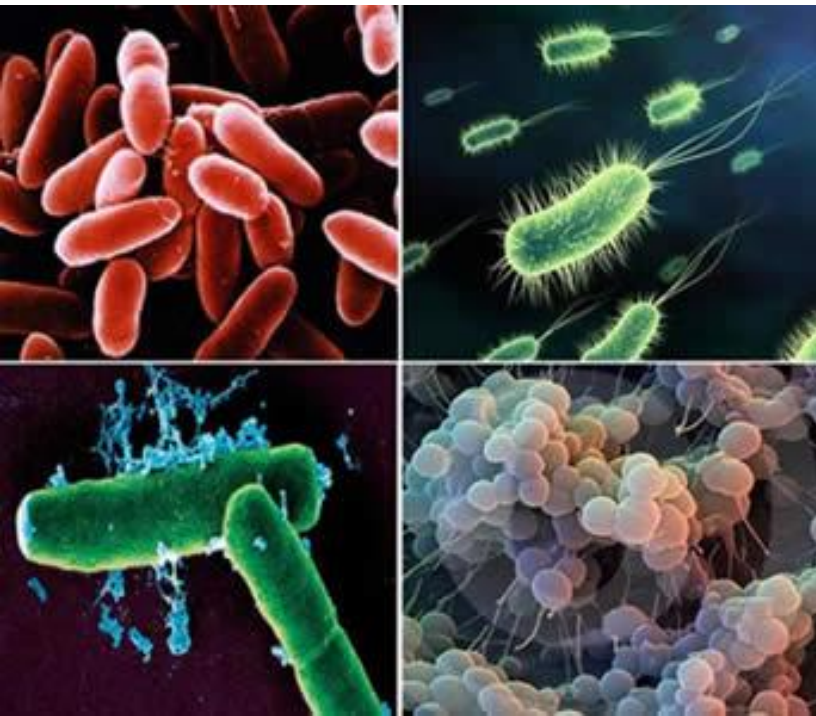


- Condições severas do ambiente
  - Abundância de organismos
  - Adaptações fisiológicas
- Valores de isótopos estáveis indicam:
  - Elevada biomassa é suportada pela produção primária local quimiossintética





# Fontes hidrotermais



- Bactérias quimiossintéticas
  - Vida livre e simbiose
  - Oxidam os químicos reduzidos contidos no fluido hidrotermal (Fe, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S)
  - Utilizam O<sub>2</sub> ou nitrato como receptor final de elétrons (Fisher 1995)

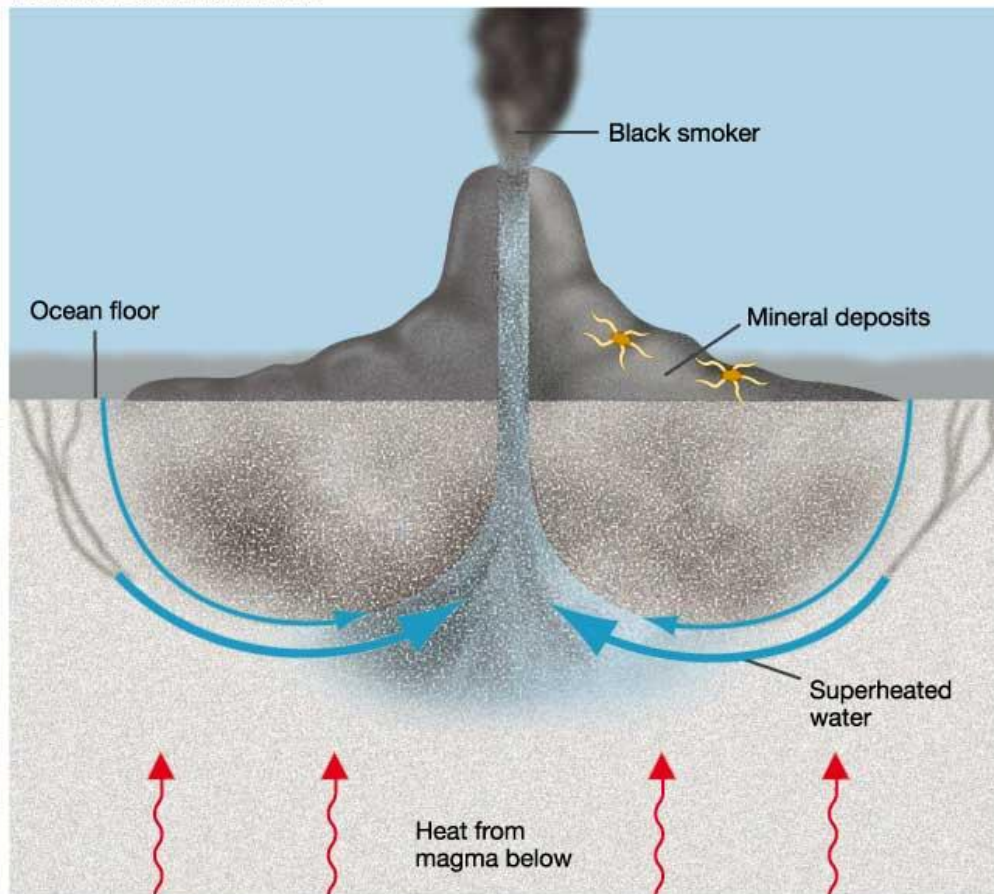




# Introdução

- Fluido hidrotermal
- Interação água do mar com rochas quente

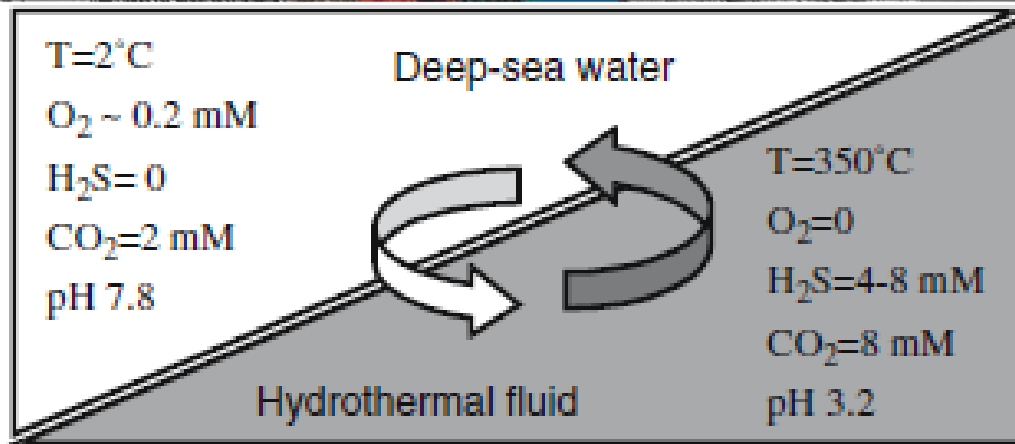
Formation of black smokers



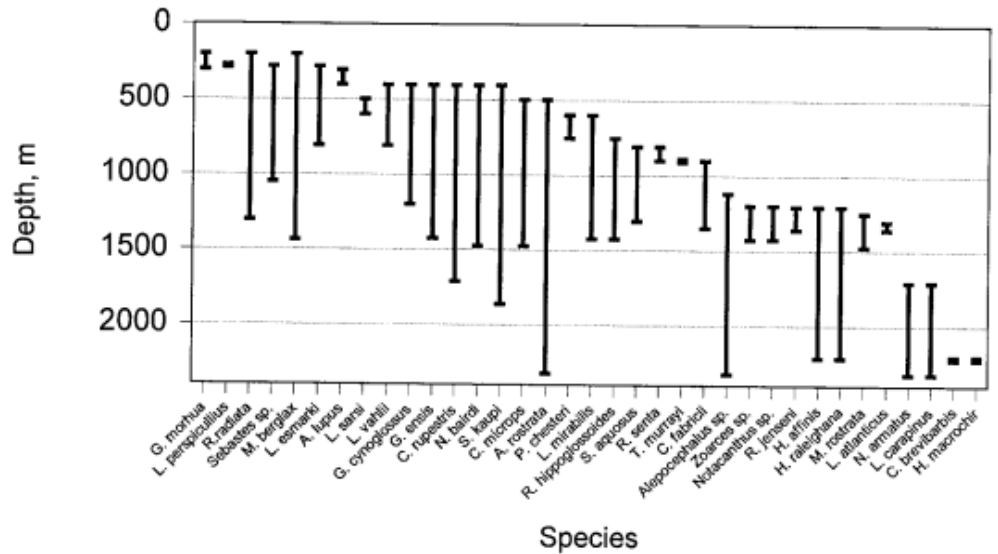


**Table 1** Physical and chemical parameters of hydrothermal fluid from black smokers of different origin compared to typical deep-sea water (after Von Damm 1990, modified by Magenheim and Gieskes 1992)

Physical-chemical parameters	South Juan de Fuca Ridge	East Pacific Rise 21°N	East Pacific Rise 13°N	Deep-sea water
Temp. (°C) ↑	224–285	273–355	317–380	2
pH ↓	3.2	3.3–3.8	3.2	7.8
Alcalinity	0	– 0.50 à – 0.19	– 0.74 à – 0.40	2.3
Li (mM)	110–1,810	891–1,322	688	26
Na (mM)	700–800	432–510	560	464
K (mM)	37.3–51.6	23.2–25.8	29.6	9.8
Rb (mM)	28–37	27–33	14.1	1.3
Be (nM)	95–150	10–37	–	0
Mg (mM) ↓	0	0	0	52.7
Ca (mM)	77.3–96.4	11.7–20.8	55	10.2
Sr (mM)	230–312	65–97	175	87
Al (mM)	1.9	4.0–5.2	–	0.020
Cl (mM)	896–1,090	489–579	740	541
SiO <sub>2</sub> (mM)	22.7–23.3	15.6–19.5	22	0.16
SO <sub>4</sub> (mM) ↓	0	0	0	27.9
H <sub>2</sub> S (mM) ↑	3–4.4	6.6–8.4	4.0	0
Mn (mM)	2.61–4.48	0.7–1.0	0.8–1.2	<0.001
Fe (mM)	10.3–18.7	0.75–2.42	1.05–1.85	<0.001
Cu (mM)	<2	<2–44	–	0.007
Zn (mM)	<900	40–106	–	0.01
Se (mM)	<1	<1–73	–	2.5
As (nM)	0	<30–452	–	27
NH <sub>3</sub> (mM)	0	0	–	<0.01



# Introdução



Espécies individualmente ocupam diferentes nichos cujas características variam de acordo com a proporção de fluidos hidrotermais





# 'Cold-seeps'

- 1980s - Descoberto no Golfo do México
- Mais de 30 localidades ao redor do mundo
- Habitados por densas comunidades
- Frequentemente apresentam condição de hipóxia
- Estudo num sítio Brine Pool no Golfo do México
  - O<sub>2</sub> amostrado em média 39  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (Smith *et al.* 2000)

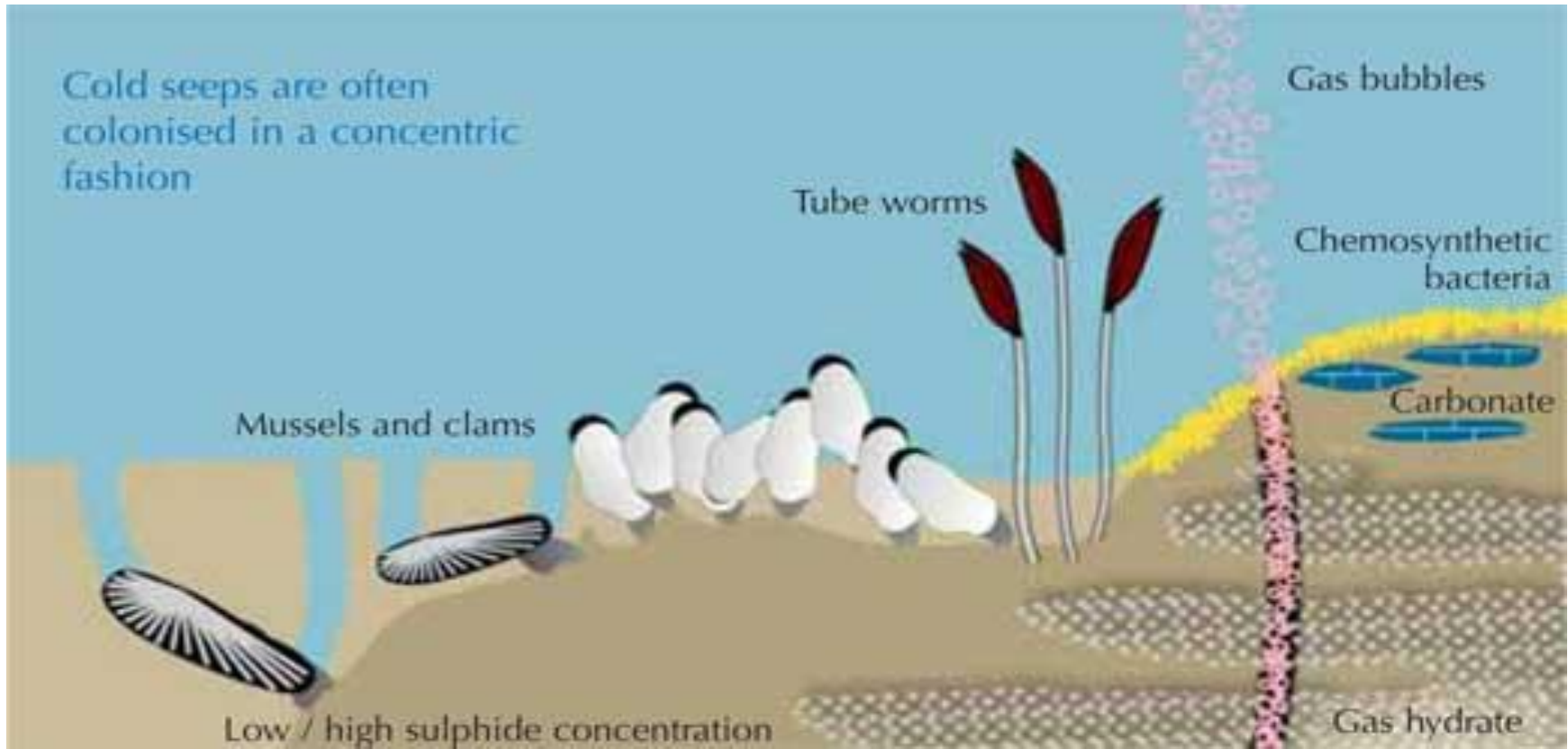


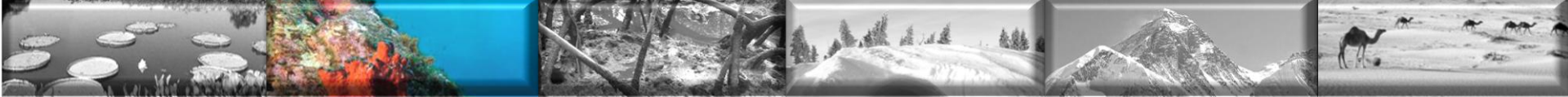




# 'Cold-seeps'

- $\text{CH}_4$   $\text{H}_2\text{S}$
- Condições específicas de pressão e temperatura







# Desafios

- Condições severas
  - Baixo  $O_2$  (Hipóxia) ; altos níveis de sulfeto; metais pesados; radioatividade, etc.
  - Alta taxa de endemismo (95%) (Tunncliffe 1991)





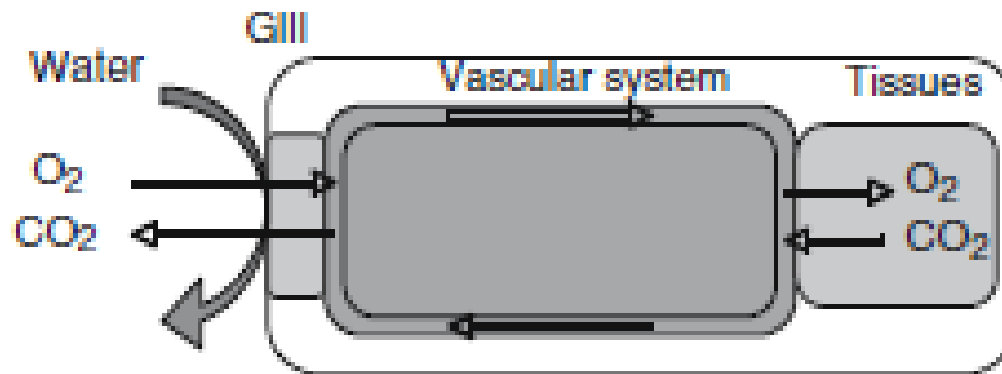
# Adaptações

- Adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas do sistema respiratório
- Principais grupos estudados
  - Crustáceos e poliquetas





# Captação e eliminação de gases



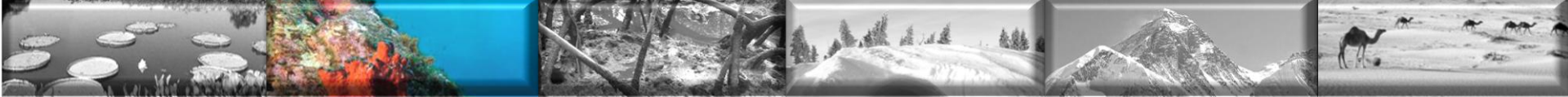
At all levels:  
$$\dot{M}_{\text{gas}} = G \Delta P_{\text{gas}}$$

$\Delta P_{\text{gas}}$  gas partial pressure difference

$\dot{M}_{\text{gas}}$  Gas flow

G conductance

**Fig. 2** Conceptual representation of gas flows in a metazoan with a circulatory system. See text for details



# Adaptações à extração de oxigênio

- Ventilação
  - Renovação da camada de difusão da superfície do órgão de troca gasosa
- Circulação de contra corrente de água e sangue nas brânquias
  - ↑ extração  $O_2$
  - Mantém uma diferença ótima de pressão entre os dois lados da barreira de difusão



# Adaptações a extração de oxigênio

- Superfície das brânquias
  - A condutância  $G$  é a função da taxa da área de superfície sobre a distância de difusão ( $\mu\text{m}$ )
- Aumento da extração de  $\text{O}_2$ 
  - Aumento total da área de superfície
  - Diminuição da distância de difusão pelo epitélio

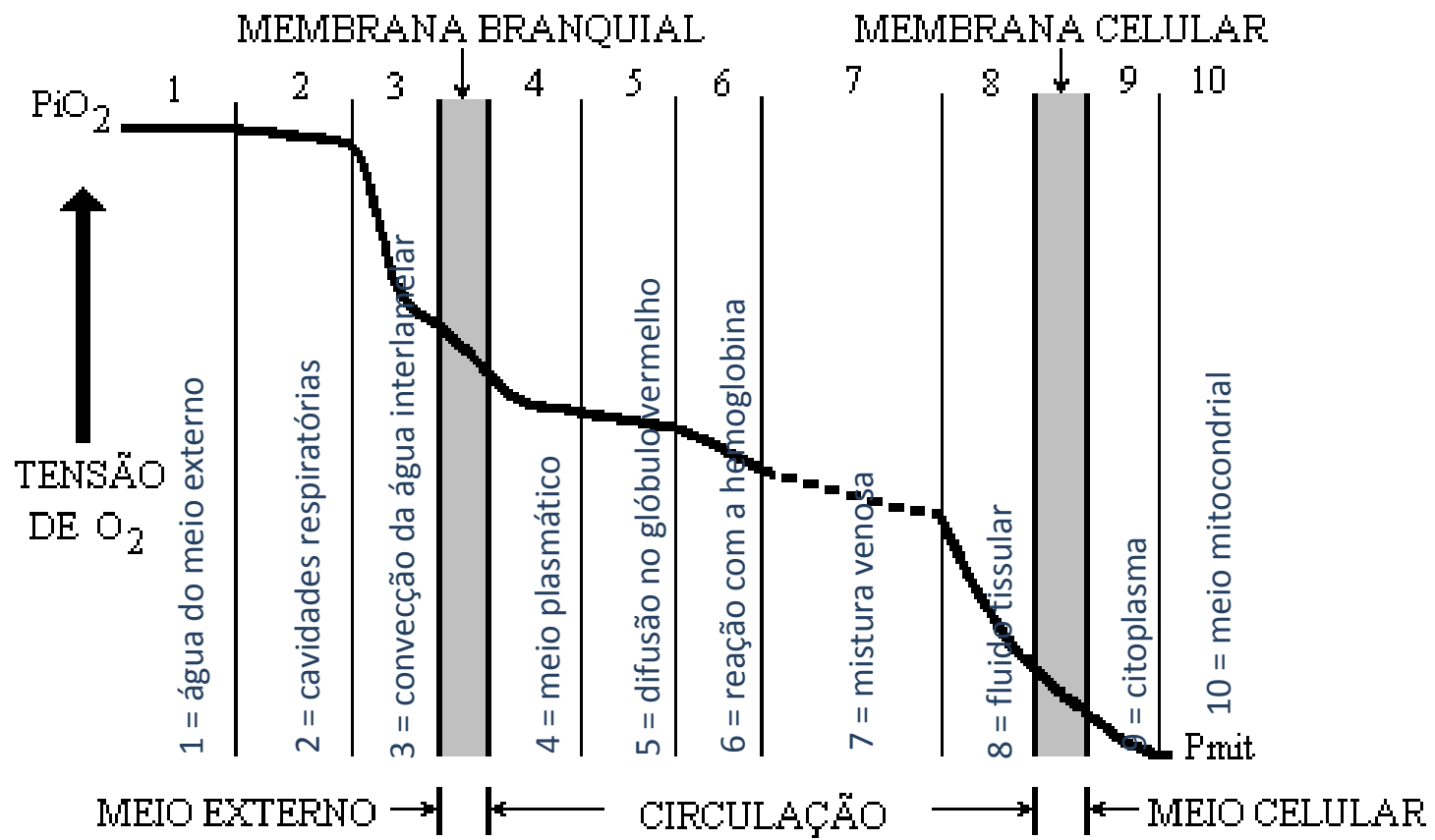
At all levels:

$$\dot{M}_{\text{gas}} = G \Delta P_{\text{gas}}$$

$\Delta P_{\text{gas}}$  gas partial pressure difference

$\dot{M}_{\text{gas}}$  Gas flow

$G$  conductance

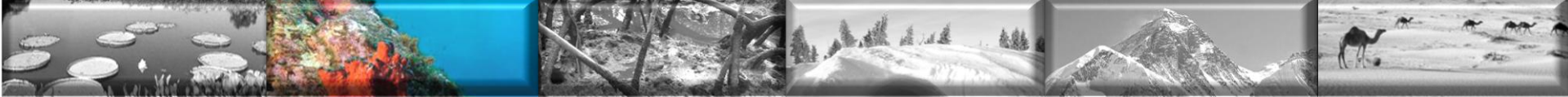






# Adaptações para o transporte de O<sub>2</sub>

- Condutância para o O<sub>2</sub> também depende:
  - Capacitância – Quanto de oxigênio pode ser transportado por unidade de volume de sangue
  - Fluxo sanguíneo
- Presença de proteínas ligantes de O<sub>2</sub> (PLO)
- Aumentar a frequência cardíaca ou o volume de ejeção pode perfundir os tecidos com mais sangue



# Adaptações para o transporte de O<sub>2</sub>

- Proteínas ligantes de oxigênio (PLO)
  - Maioria dos organismos de fontes hidrotermais possuem pigmentos respiratórios
  - Aquisição x Armazenamento x Transporte
- Principais propriedades das PLOs:
  - Afinidade
  - Efeito Bohr acentuado
  - P<sub>50</sub> baixo



# Poliquetas



- Brânquias externas
- Pouco controle sobre a ventilação da superfície branquial pela água
- Elevada autonomia (>1:30)– Hábito de vida



# Aumento específico na área de superfície em poliquetas de fontes hidrotermais e ‘cold-seeps’.

**Table 2** Gill surface areas and diffusion distances for annelids from hydrothermal vent (HTV), littoral (Lit.), and cold-seep (CS) environments

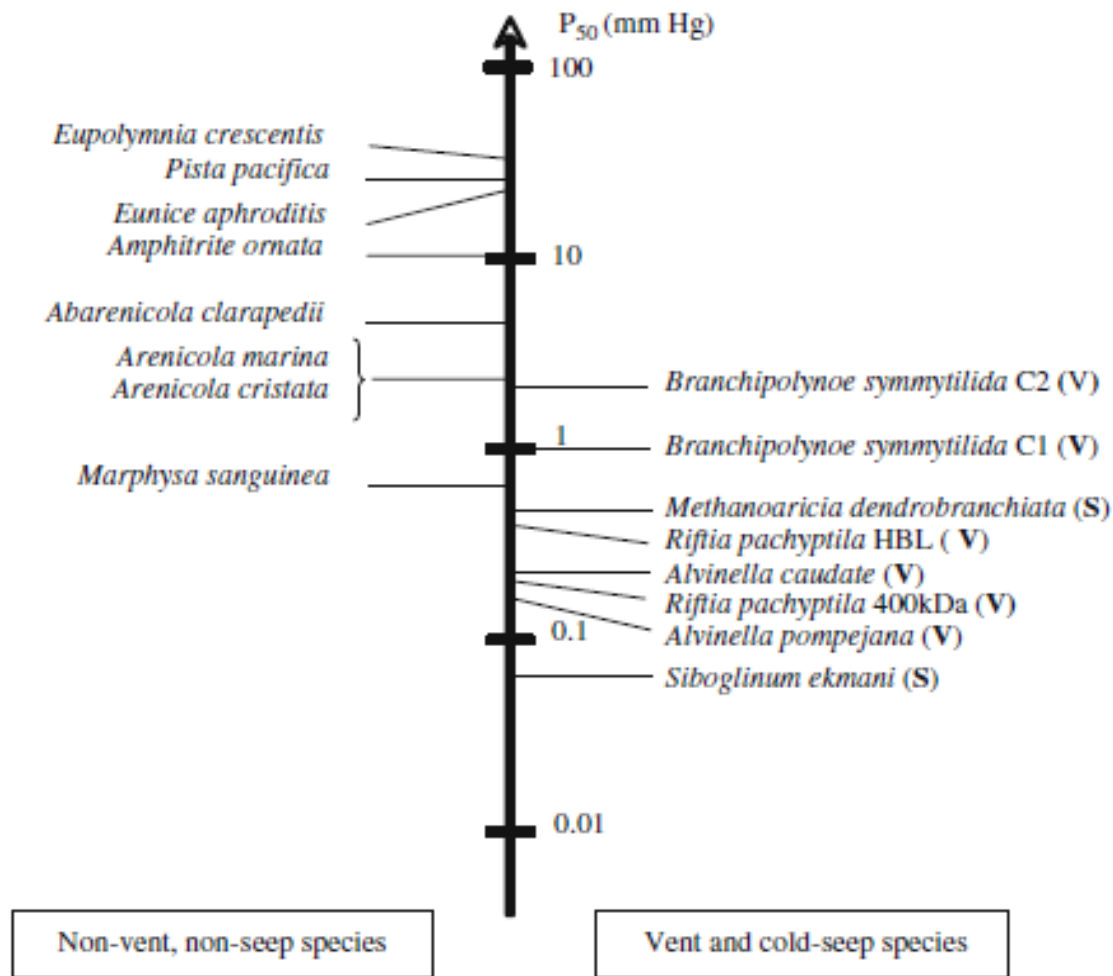
Species	Environment	Specific gill surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Diffusion distance (μm)
<i>Alvinella pompejana</i> <sup>a</sup>	HTV	12	1–3
<i>Paralvinella grasslei</i> <sup>a</sup>	HTV	47	4
<i>Riftia pachyptila</i> <sup>b</sup>	HTV	12	1–3
<i>Branchiopolynoe symmytilida</i> <sup>c</sup>	HTV	14.2	10
<i>Branchiopolynoe seepensis</i> <sup>c</sup>	HTV	10.3	9
<i>Branchiopolynoe pettiboneae</i> <sup>c</sup>	HTV	7.7	10
<i>Glycera convoluta</i> <sup>c</sup>	Lit.	1.5–2	?
<i>Terebellides stroemi</i> <sup>d</sup>	Lit.	6	5–8
<i>Arenicola marina</i> <sup>e</sup>	Lit.	4	8–14
<i>Methanoaricia dendrobranchiata</i> <sup>f</sup>	CS	8	4

<sup>a</sup> Jouin and Gaill (1990); <sup>b</sup> Andersen et al. (2002);

<sup>c</sup> Hourdez and Jouin-Toulmond (1998); <sup>d</sup> Jouin-Toulmond and Hourdez (2006); <sup>e</sup> Jouin and Toulmond (1989);

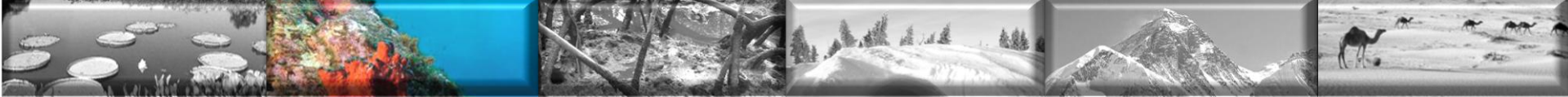
<sup>f</sup> Hourdez et al. (2001)





**Fig. 4** P<sub>50</sub> values (log scale) for extracellular Hbs from vent and seep marine polychaetes compared to non-vent and non-cold seep species. Experimental conditions and references: *Arenicola marina*, pH 7.6, 20°C; *Siboglinum ekmani*, pH 6.5, 20°C; *Alvinella pompejana*, pH 7.6, 20°C; *Alvinella caudata*, pH 7.6, 20°C; *Pista pacifica*, pH 7.0, 20°C; *Marphysa sanguinea*, pH 7.3, 20°C; *Eunice aphrod-*

*itis*, pH 7.0, 20°C; *Arenicola cristata*, pH 7.7, 20°C; *Abarenicola clarapedii*, pH 7.43, 20°C; *Eupolymnia crescentis*, pH 5–7, 10°C; *Branchipolynoe symmytilida* Hbs C1 and C2, pH 7.5, 20°C; *Methanoaricia dendrobranchiata*, pH 7.5, 20°C; *Riftia pachyptila* HBL and 400 kDa Hbs, pH 7.0, 30°C. (V) Vent species, (S) Seep species. After Hourdez and Weber (2005)



# Poliquetas

- Vermes tubícolas ‘vestmentíferan’
  - Falta boca, tubo digestivo e ânus
  - Necessidade nutricional suprida pela simbiose
  - Trofossomo → órgão interno bem vascularizado
- *Riftia pachyptila*
  - 2 hemoglobinas vascular
  - 1 celômica
  - Com alta afinidade ao O<sub>2</sub>





# Poliquetas

- Família Polynoidae

- Espécies litorâneas desprovidas de brânquias e pigmentos
- Espécies fontes hidrotermais e 'cold-seeps' brânquias bem desenvolvidas



- Redução na distância de difusão

- Possibilitada pela utilização de vasos sanguíneos intraepidermais encontrados nas brânquias de poliquetas de ambientes hipóxicos (Jouin e Gaill 1990; Hourdez *et al.* 2001)
- Estas extensões não são encontradas em poliquetas tricobrânquios de águas superficiais  
*Terebellides stroemii*



# Poliquetas

- Alvinellidae (endêmica de fontes) e *Methanoaricia dendrobranchiata* (cold-seep)
  - Típica hemoglobina vascular (HBL)
  - Alta afinidade  $O_2$
  - Forte efeito Bohr



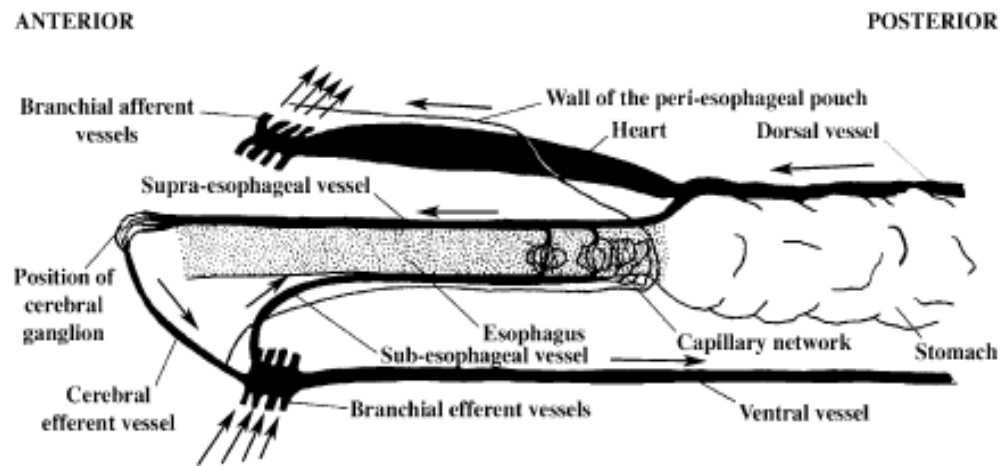
- Alvinellidae – hemoglobina intracelular circulante contida em celomócitos





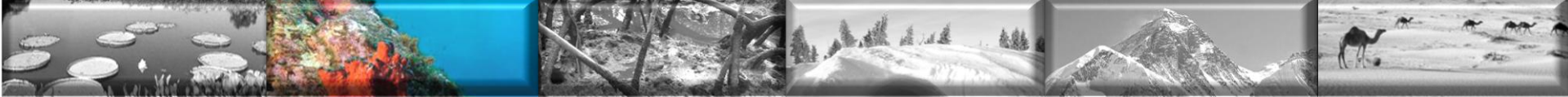
# Adaptações do sistema circulatório

- Poliquetas Alvinellidae
  - Membrana gular se estende posteriormente envolvendo o esôfago e uma bem desenvolvida rede de capilares



**Fig. 6** Anterior circulatory system in *Alvinella pompejana* showing the periesophageal pouch containing the capillary network. Coelomocytes (not represented) are very dense in the pouch and in close contact with the capillaries. Oxygenated blood coming from the gills (branchial

efferent vessels) merge ventrally and the sub-esophageal vessel can carry this blood to the capillary network where it exchanges gases with the coelomocytes. These capillaries then fuse with the supra-esophageal vessel and oxygen can be sent directly to the cerebral ganglion



# Crustáceos

## Crustáceos decápodes

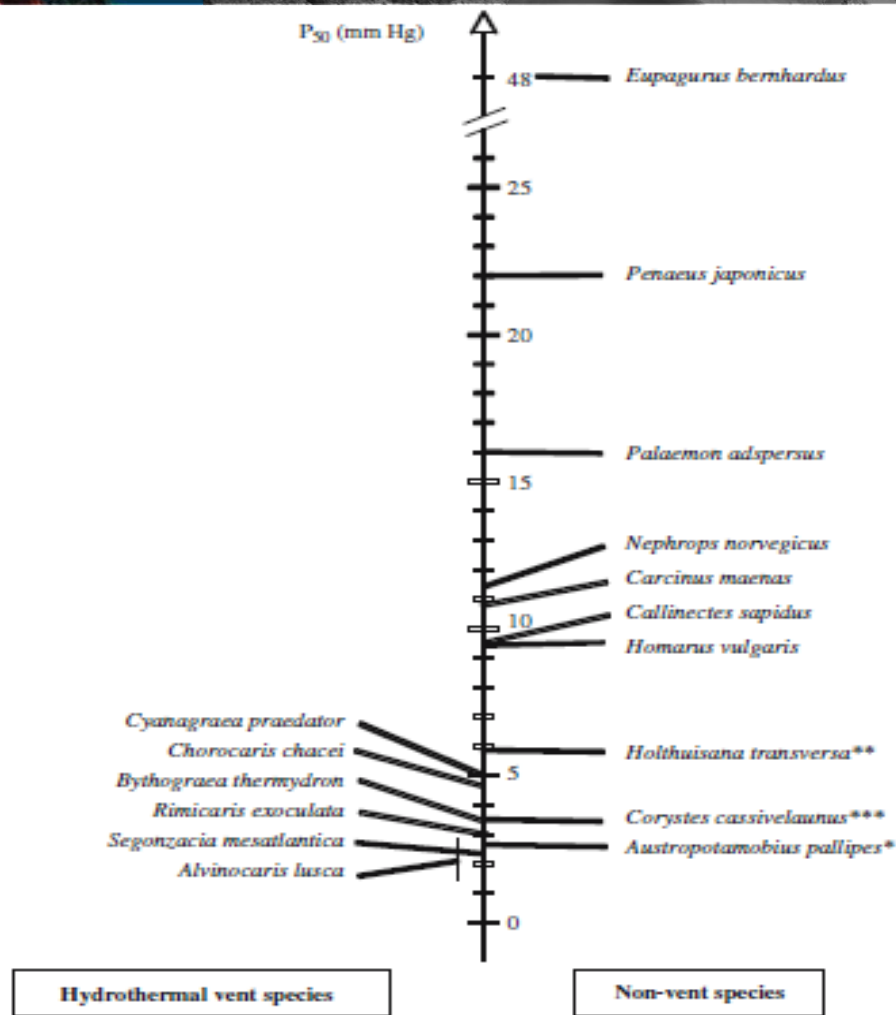
– Câmara branquial

- Hemocianina (afinidade: regulação lactato x bohr )
- Nenhum dado sobre regulação da taxa de ventilação

## Geralmente:

- Hipóxia aguda – rápido aumento do fluxo de ventilação
- Exposição crônica – lento aumento do fluxo de ventilação





**Fig. 5**  $P_{50}$  values for decapod hemocyanins from vent-endemic species compared to some representative non-vent species. Experimental conditions and references: *Eupagurus bernhardus* 15°C, pH 7.83; *Penaeus japonicus* 25°C, pH 7.6; *Palaemon adspersus* 15°C, pH 7.85; *Nephrops norvegicus* 10°C, pH 7.9; *Carcinus maenas* 15°C, pH 7.84; *Callinectes sapidus* 20°C, pH 7.6; *Homarus vulgaris* 15°C, pH 7.9; *Holthuisana transversa* 25°C, pH 7.35; *Corystes cassivelaunus* 10°C, pH 7.9; *Austropotamobius pallipes* 15°C, pH 7.9 (all these species, see review

by Truchot (1992)); *Cyanograea praedator* 15°C, pH 7.5 (Chausson et al. 2001); *Chorocaris chacei* 15°C, pH 7.5 (Lallier et al. 1998); *Bythograea thermydron* 15°C, pH 7.5 (Sanders et al. 1988); *Rimicaris exoculata* 15°C, pH 7.5 (Lallier and Truchot 1997); *Segonzacia mesatlantica* 15°C, pH 7.5 (Chausson et al. 2004); *Alvinocaris lusca* 15°C, pH 7.5 (Sanders et al. 1988). \* fresh-water species. \*\* species with mixed land/water way of life. \*\*\* species living buried in the sand

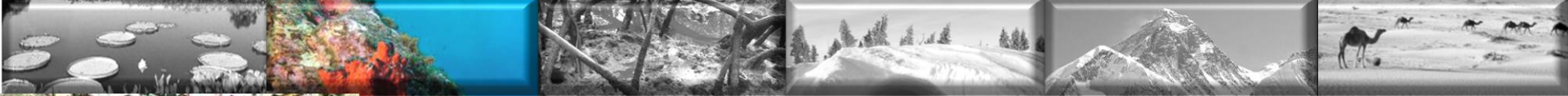


# Moluscos

- Circulação de água através da cavidade do manto
- Movimento dos cílios na superfície das brânquias
- Área de superfície elevada
- Bivalves: controle eficiente da ventilação
- Gênero *Calyptogena*
  - Moléculas ricas em zinco para transportar o sulfeto
- Sistema digestivo reduzido

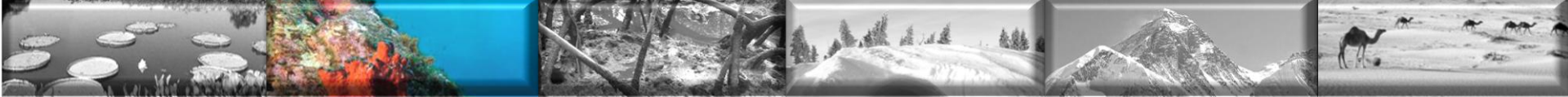






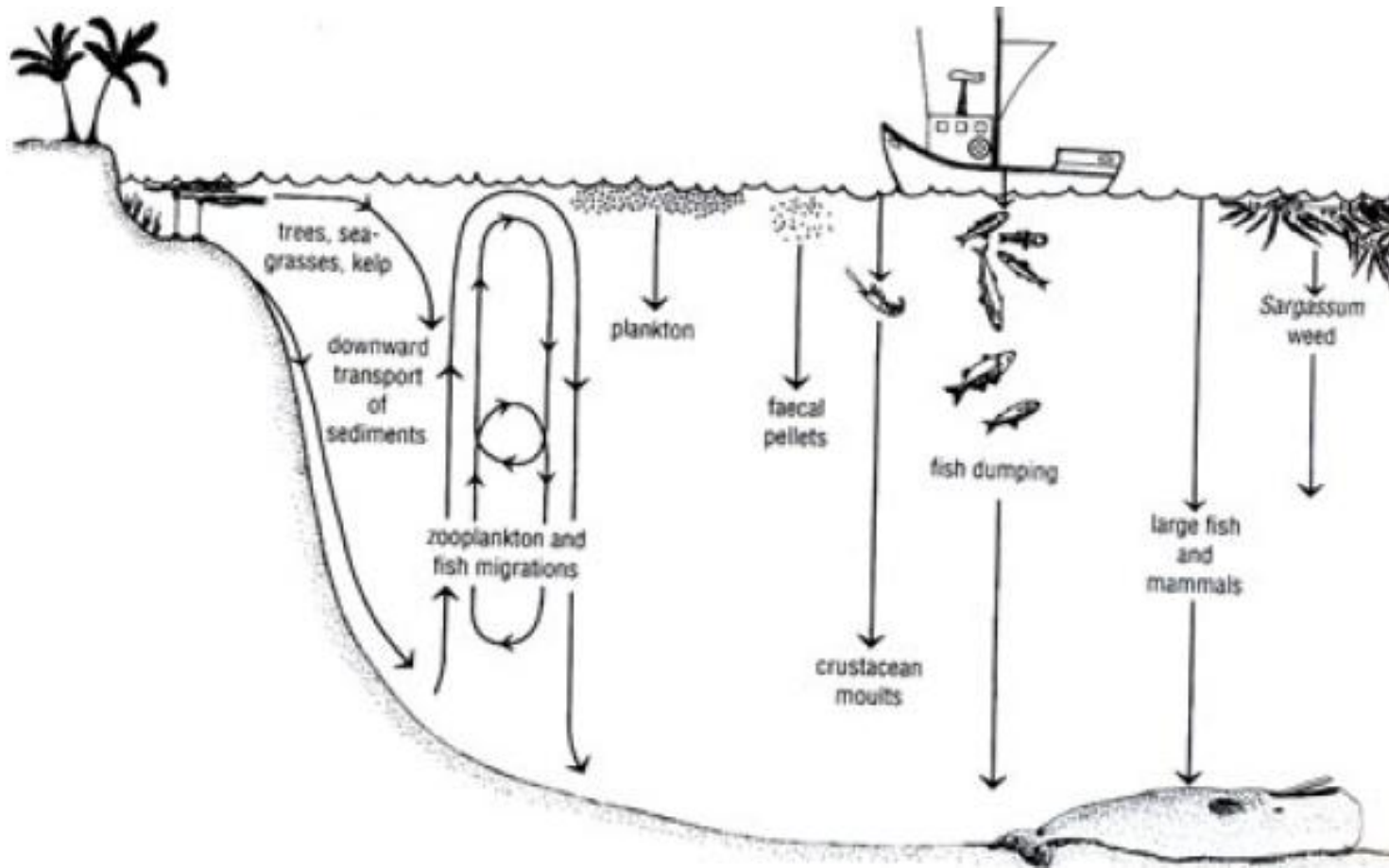
# Lidando com sulfeto

- $O_2$  e sulfeto variam inversamente
- Enzimas do metabolismo anaeróbico
- Sulfeto envenena a cadeia mitocondrial de transferência de elétrons e hemoglobinas
- Bactérias simbióticas e sulfeto
- Moléculas ligantes de sulfeto
  - *Methanoaricia dendrobranchiata* (poliqueta) o tempo de sobrevivência em anoxia varia com a concentração de sulfeto
  - *Riftia pachyptila* (poliqueta) possui hemoglobina com sítio distinto para transportar o sulfeto para bactérias
  - *Arenicola marina* (poliqueta), *Solemya reidi* e *Geukensia demissa* (bivalves) oxidam o sulfeto na mitocondria = ATP



# Mar profundo: Estratégias para alimentação

- Fontes hidrotermais: Simbiose => Redução do sistema digestivo
- Escassez de presas => Metabolismo reduzido
- Aparato bucal muito maior em relação ao tamanho corporal
- Estratégia “Senta e espera”
- Utilização de “iscas”
- Migrações noturnas

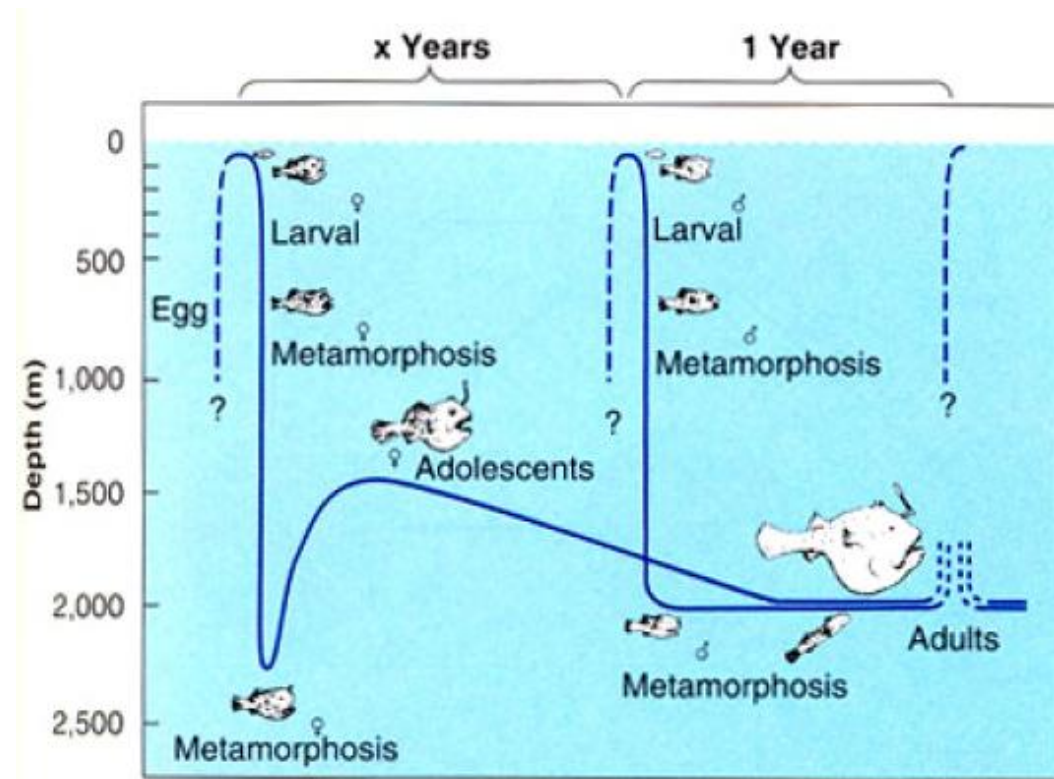
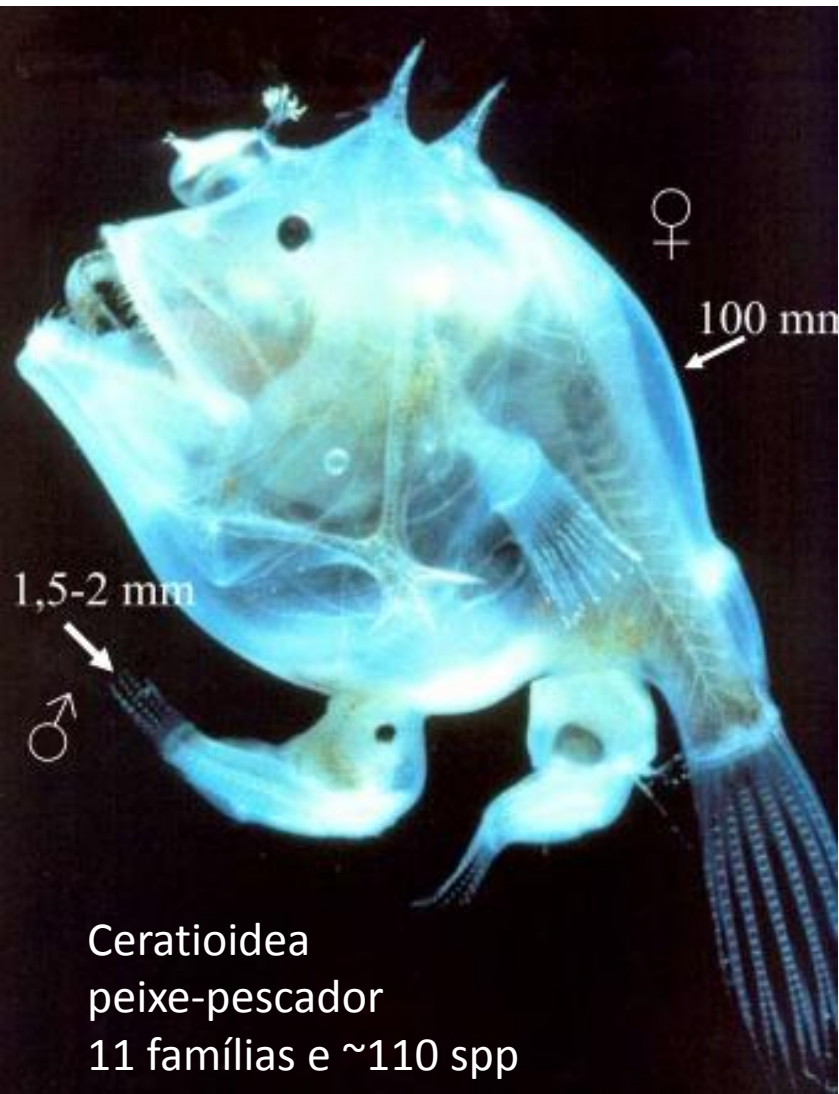


Olfato bem desenvolvido





# Mar Profundo - Estratégias Reprodutivas



- ♂ totalmente parasita
- encontra ♀ por olfato
- boca funde-se à pele
- apenas testículos permanecem
- 5 famílias





*Phrynichthys wedli*

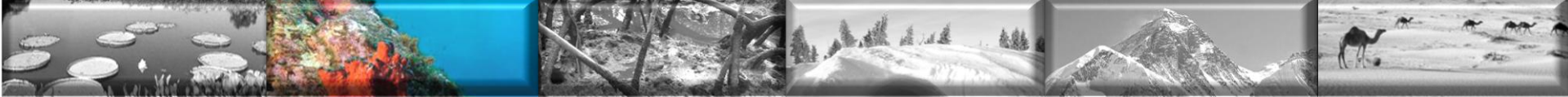


*Eurypharynx pelecanooides*



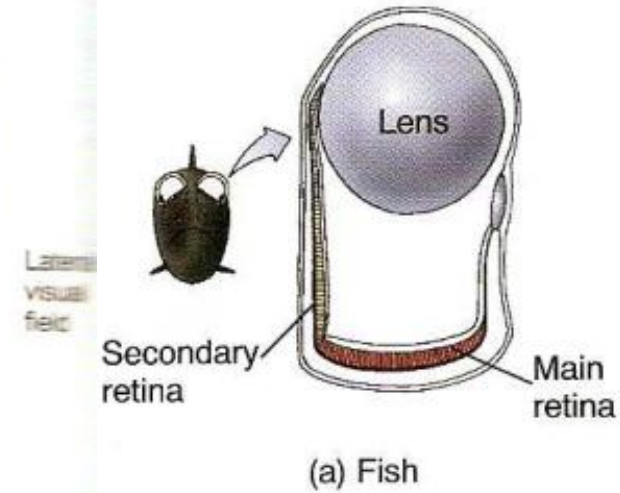
*Chauliodus sp.*





# Olhos muito grandes...

Mesopelágica – zona crepuscular  
Olhos tubulares



Winteria





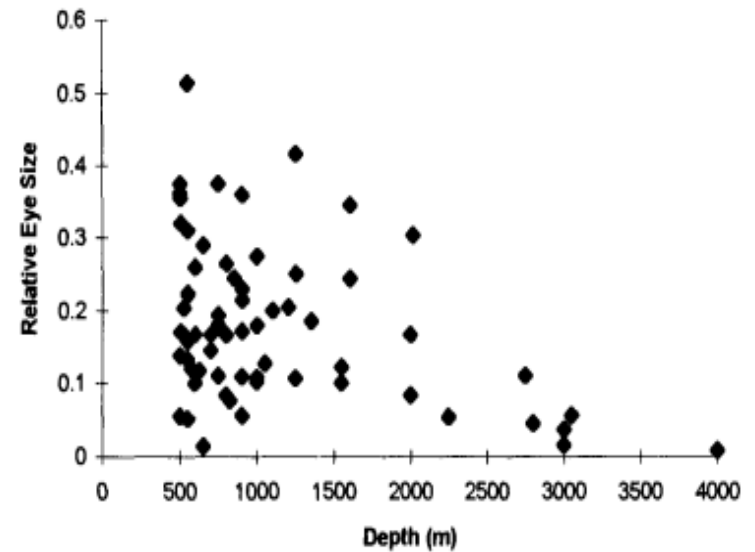


# ...ou muito pequenos

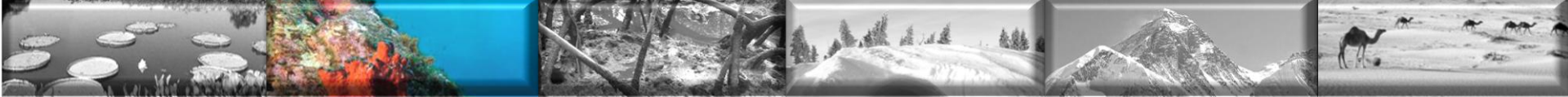
Zona batipelágica



Diceratias



**Fig. 1.** Relative eye size as a function of depth of occurrence for fish, with a median depth range of greater than 500 m. Relative eye size is taken here as horizontal eye diameter divided by head length. [Data measured from illustrations in Paulin *et al.* (1989).] Each data point represents the illustrated representative species for one family and is plotted at the median depth range given for that family.



# Bioluminescência

Luciferina (o combustível)

Luciferase (o catalisador)

Bactérias simbióticas



*Phrynichthys wedli*



Peixe Lanterna *Anomalops katoptron*



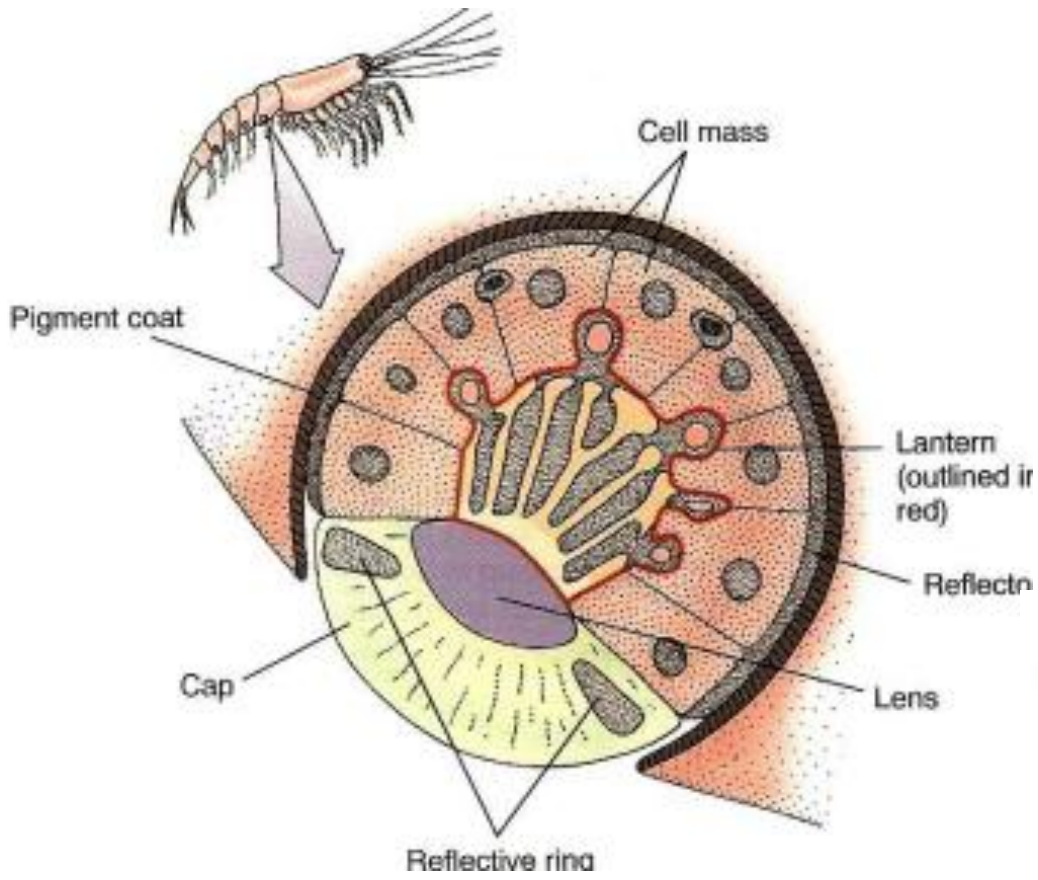
dragonfish – *Melanostomias*

© 2010 Danté Fenolio

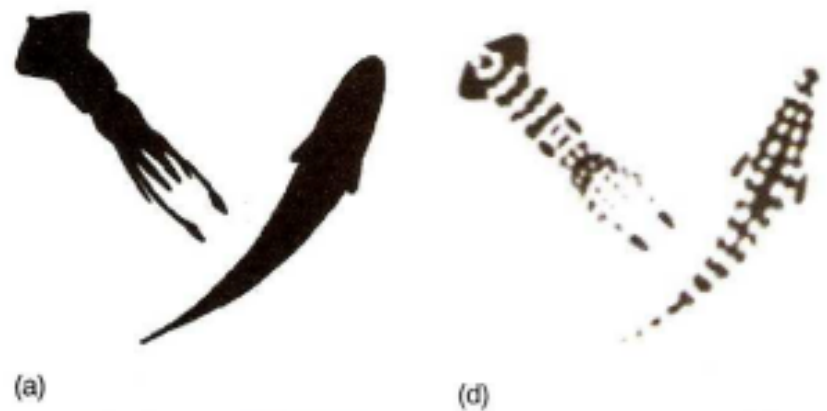


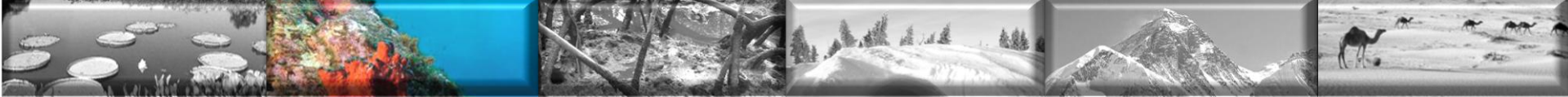


# Bioluminescência - Fotóforos



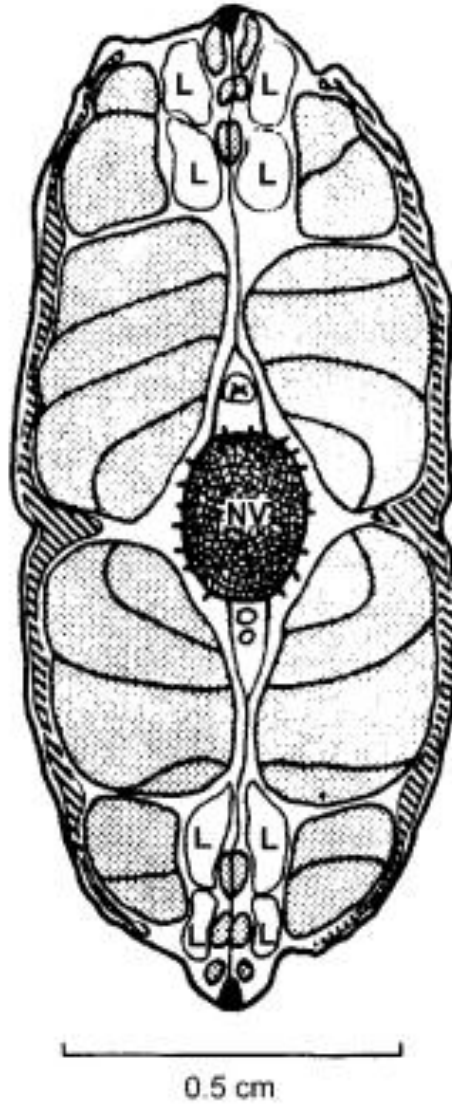
Disfarçar a silhueta  
Comunicação





# Pressão e Sustentação

- 1 atm a cada 10m de profundidade
- Baixa compressão de líquidos e alta compressão de gases
- Ausência de bexiga natatória ou órgãos de armazenamento de gás
- Redução da densidade óssea e do esqueleto
- Plasma em teleósteos é menos denso
- Uso de lipídeos







**Fig. 9.** Cross section of *Pleuragramma antarcticum* showing the location of lipid sacs (L), which are especially concentrated at the basis of the dorsal and anal fins. Reprinted with permission from *Nature*, A. L. DeVries and J. T. Eastman, Lipid sacs as a buoyancy adaptation in an Antarctic fish, **271**, 352-353. Copyright 1978 Macmillan Magazines Limited.



# Resumindo...



	Epipelagic	Mesopelagic (vertical migrators)	Mesopelagic (non-migrators)	Deep Pelagic
Appearance				
Size	Wide size range, from tiny to huge	Small	Small	Small
Shape	Streamlined shape	Relatively elongated and/or laterally compressed	Relatively elongated and/or laterally compressed	No streamlining, often globular in shape
Musculature	Strong muscles, fast swimming	Moderately strong muscles	Weak, flabby muscles	Weak, flabby muscles
Eye characteristics	Large eyes	Very large, sensitive eyes	Very large, sensitive eyes, sometimes tubular eyes	Eyes small or absent
Coloration	Typical counter-shading: dark back and white or silver belly	Black or black with silver sides and belly; counter-illumination	Black or black with silver sides and belly; counter-illumination	Black, occasionally red
Bioluminescence	Bioluminescence relatively uncommon	Bioluminescence common, often used for counter-illumination	Bioluminescence common, often used for counter-illumination	Bioluminescence common, often used to attract prey