

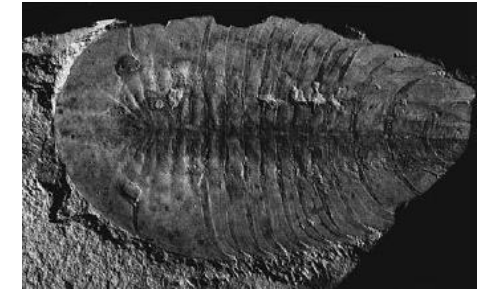
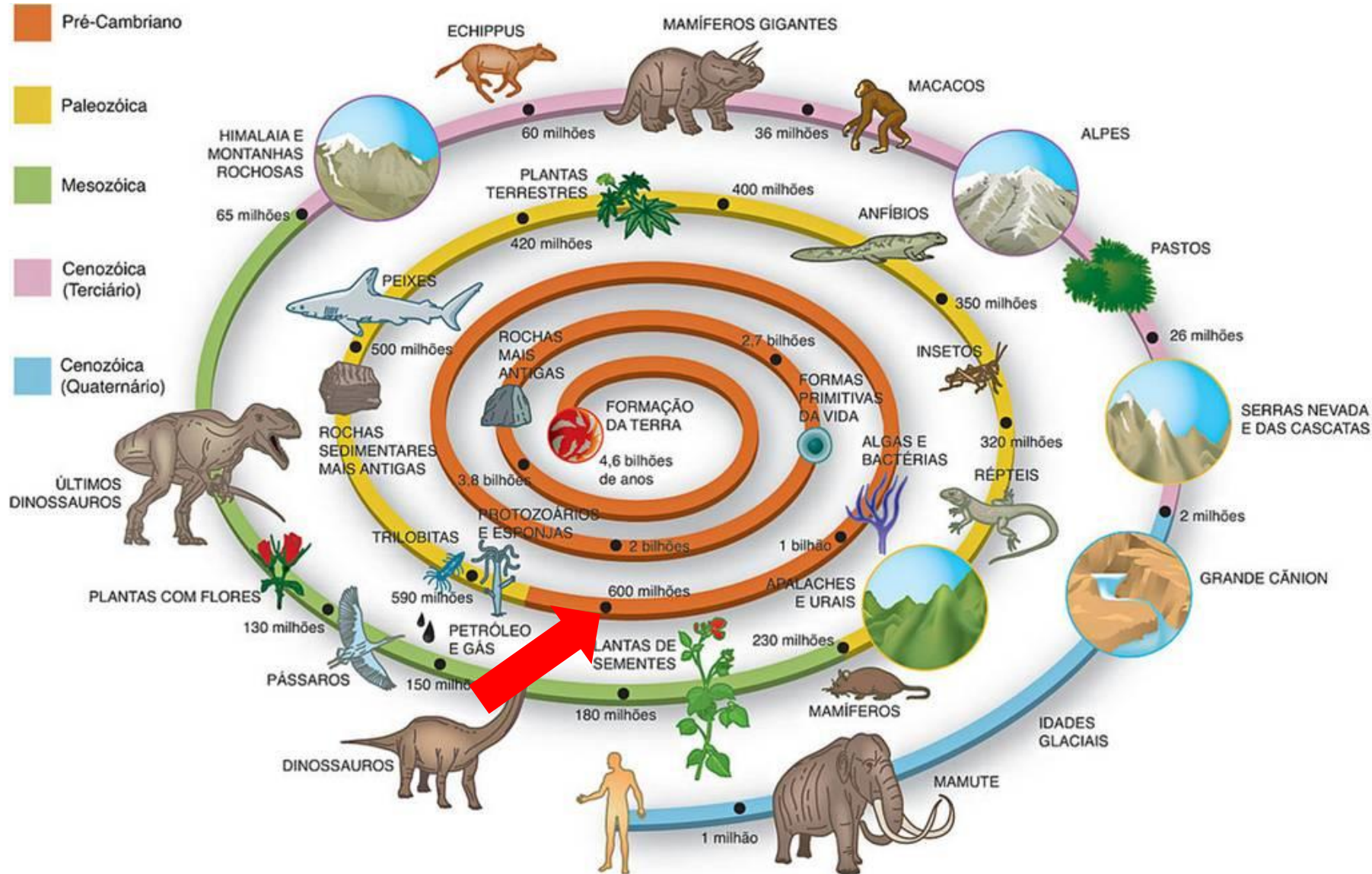
# **Aspectos comparativos da visão**

**Biofísica Geral**

**FCAV / UNESP**



## Primeiro registro fóssil 530 milhões de anos

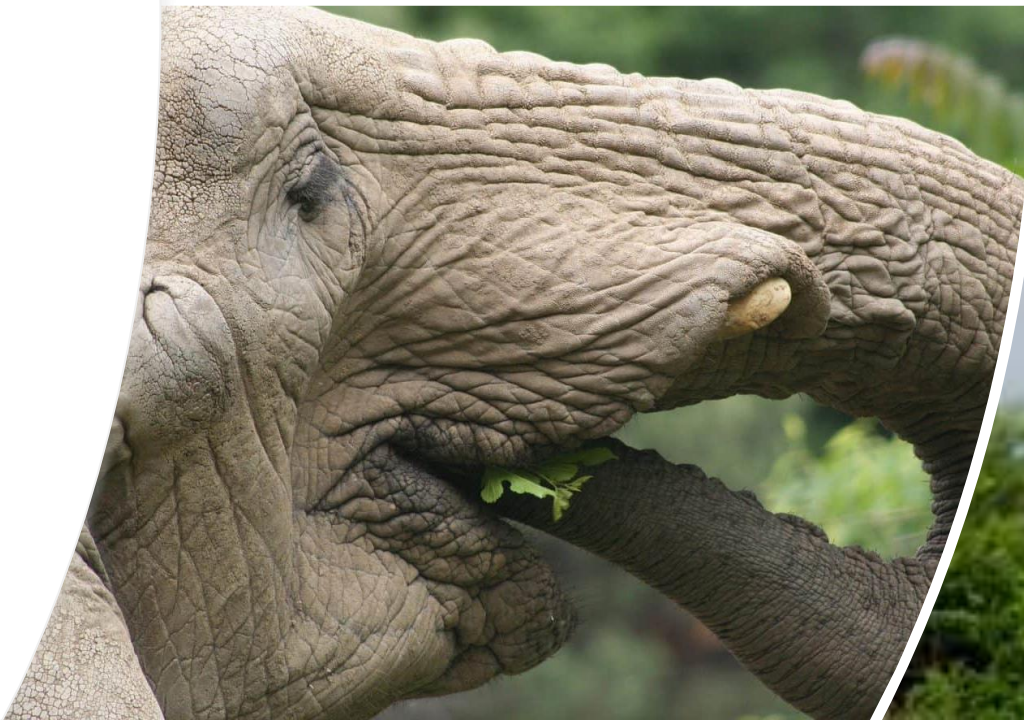


Animais capazes de utilizar bem a visão surgiram a mais ou menos meio bilhão de anos.

# Visão dos animais

---

- **Percepção do ambiente**
- **Orientação**
- **Caça**
- **Alimentação**
- **Defesa**
- **Reprodução**



• **A comunicação visual é tão importante que animais a utilizam para:**

• Camuflagem (gafanhoto folha e pássaro no tronco)

• Parecerem ameaçadores para predadores (lagarta e coral falsa)



- Parecerem inofensivos para a presa (aranha)
- 



- Desorientar os predadores (olhos falsos em outro sentido)



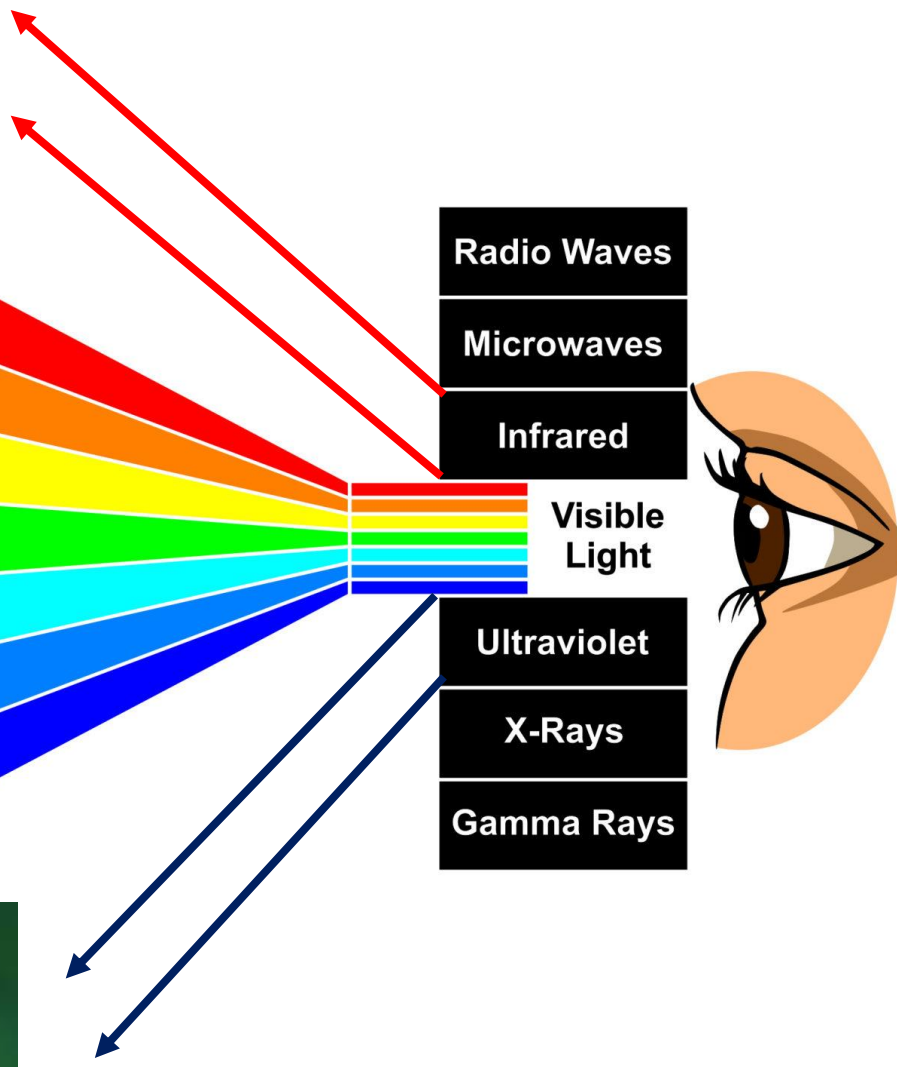
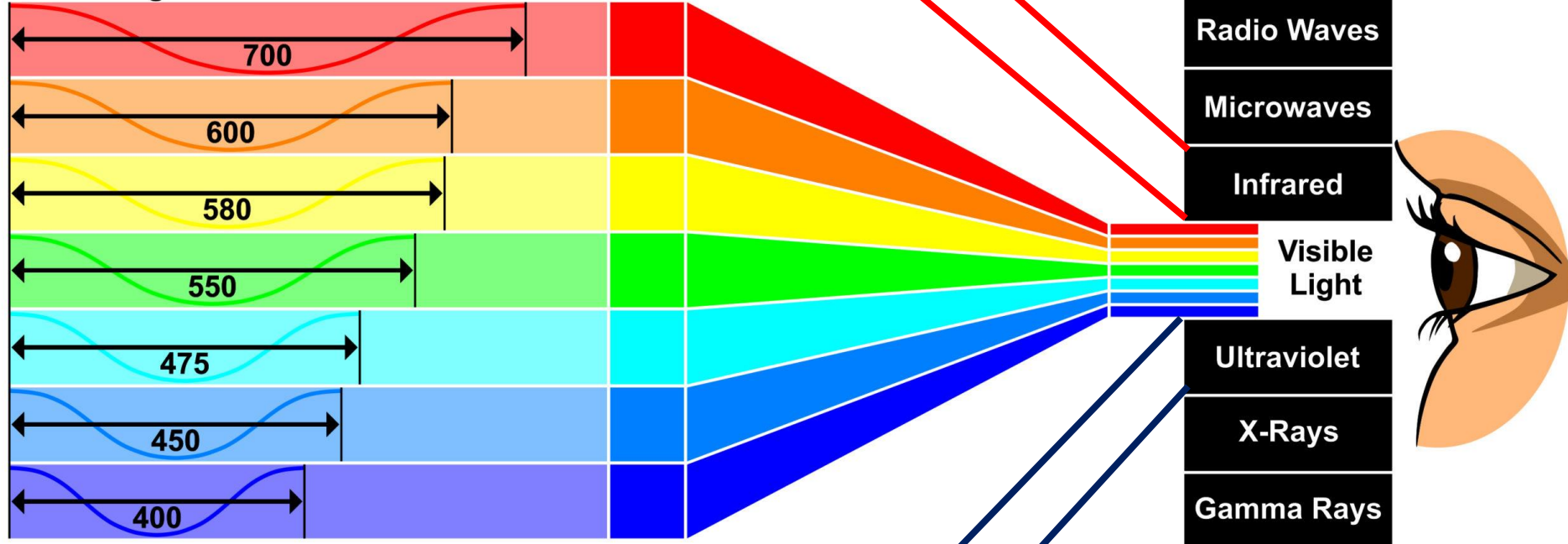
# Sinais contidos na luz

- **Forma**
- **Postura/ameaça**
- **Cor/perigo/reprodução**
- **Movimento/reprodução**



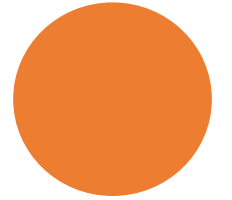


Wave Length in Nanometer



- Todos os animais, **vertebrados e invertebrados**:

- possuem **receptores** que captam **estímulos luminosos** e encaminham-nos ao sistema nervoso central, que responde ao estímulo recebido.





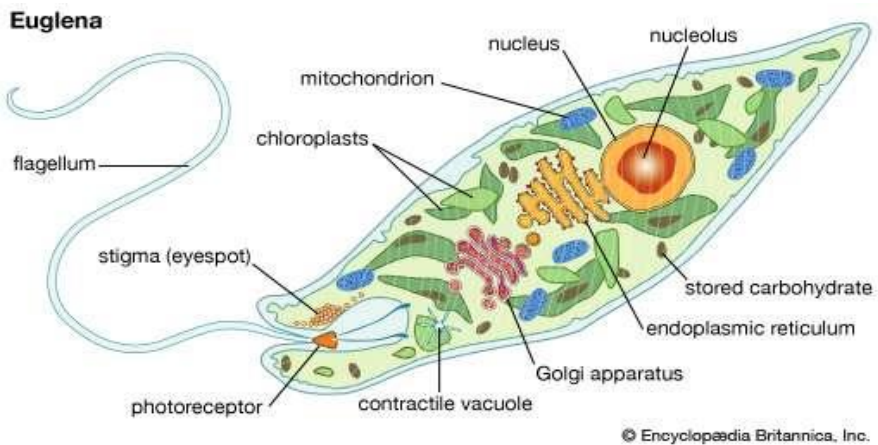
# Invertebrados

95% das espécies apresentam “visão”.

Diversos animais respondem à luz, mas nem todos possuem células fotossensíveis (Esponjas, Mesozoa e Placozoa).

A fotossensibilidade parece estar relacionada ao nicho ocupado pelos grupos - aqueles que não possuem são bentônicos, intersticiais ou parasitas.

Nos metazoários, a rodopsina, complexo molecular fotossensível, existe em diferentes formas, mas pode também ser encontrado em Arqueobactérias, Eubactérias e fungos.



- Alguns unicelulares (**protozoários**) - sensibilidade à luz - órgãos ou manchas pigmentárias do citoplasma, capazes de perceber as variações na intensidade da luz.
- Euglena - fotorreceptor na base do flagelo. Como ela é fotossintetizadora, ela utiliza este fotorreceptor para se orientar em direção à luz.



- Algumas **anêmonas e águas-vivas** - cílios modificados (atuam como células fotorreceptoras), estruturas muito rudimentares que percebem a luminosidade.



- Algumas **planárias** - órgãos primitivos (ocelos) - receptores que percebem a luminosidade e informam o sistema nervoso sobre a intensidade e direção da luz, mas não formam imagens.

Nos moluscos, apenas **gastrópodes e cefalópodes** - olhos bem desenvolvidos, dotados de cristalino e capazes de formar imagens. Os **bivalves** - receptores de luz semelhante a olhos com retina dupla, mas não formam imagens.



**Minhocas** - células fotossensíveis na epiderme detectam a presença de luz, sem formar imagens.



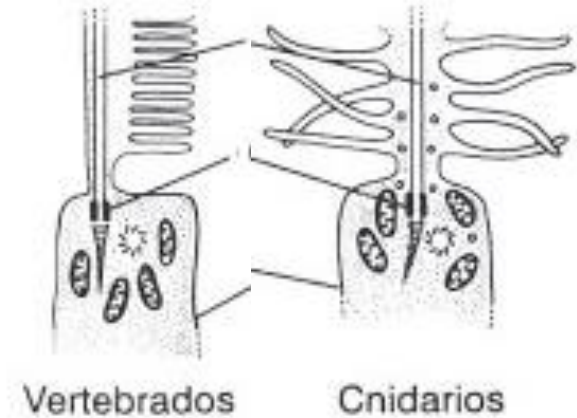
**Artrópodes** - estruturas sensoriais especializadas na captação de luz.

Três órgãos visuais: **ocelos** (não formam imagens), **olhos simples** e **olhos compostos** (forma imagens).



# Fotorreceptores

Existem 2 principais modificações estruturais para recepção do estímulo nos fotorreceptores

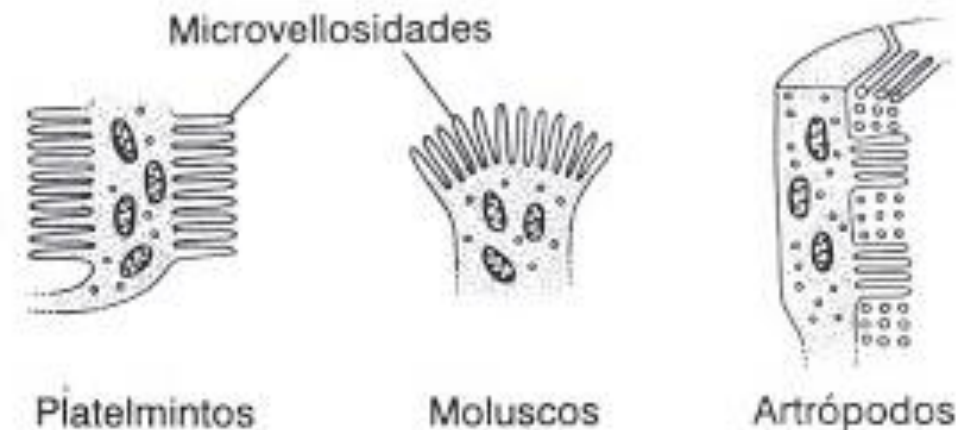


- **Fotorreceptores ciliados**

- superfície fotossensível é derivada da membrana de um cílio

- **Fotorreceptores rabdoméricos**

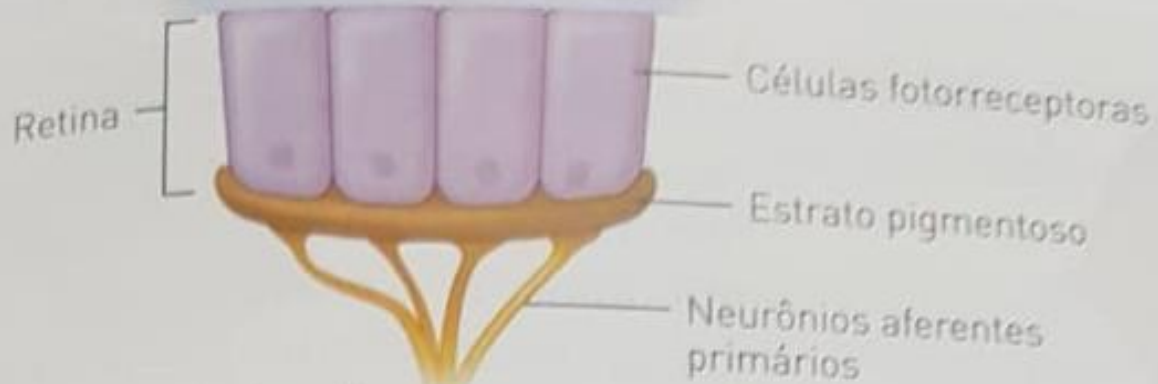
- modificação derivada de microvilosidades da superfície da célula



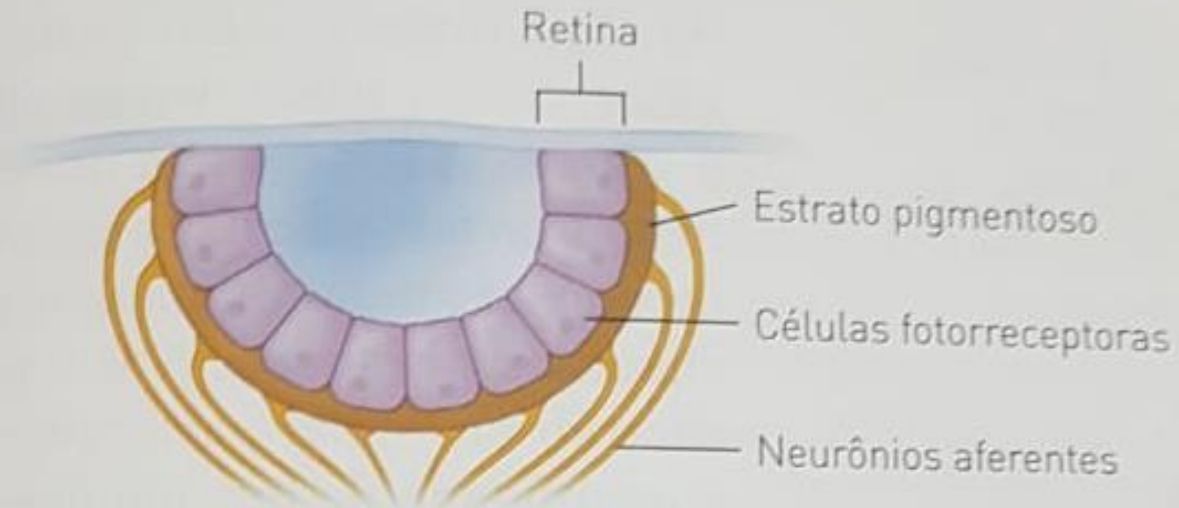
Alguns grupos podem apresentar tanto cílios, quanto microvilosidades em proporções parecidas ou um mais predominante que outro. Ou ainda, apenas cílios e apenas microvilosidades.

Todos os grupos apresentam cílios (exceto os Arthropoda), enquanto os bilaterais (Vermes achatados, moluscos, crustáceos, insetos, equinodermos e cordados) apresentam microvilosidades (exceto os Cnidaria e Ctenophor).

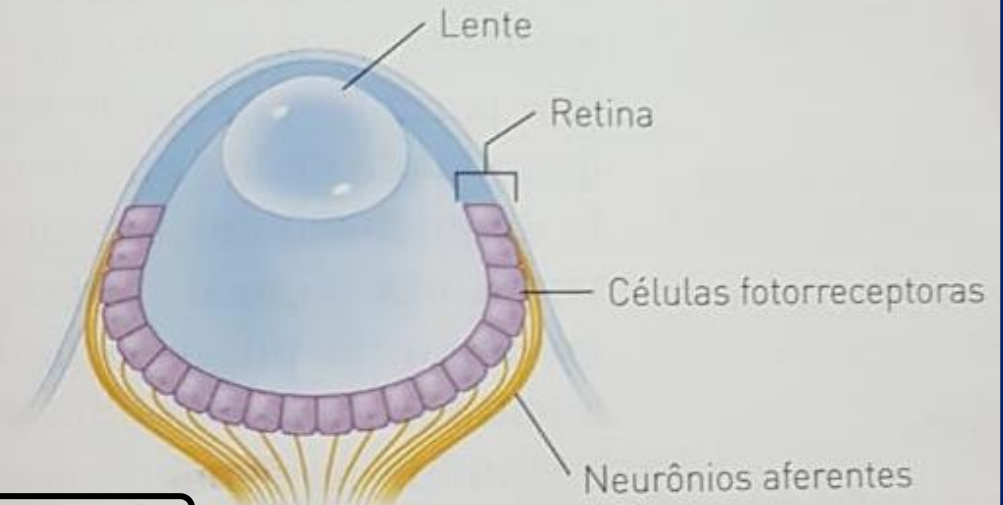
# Tipos de olhos



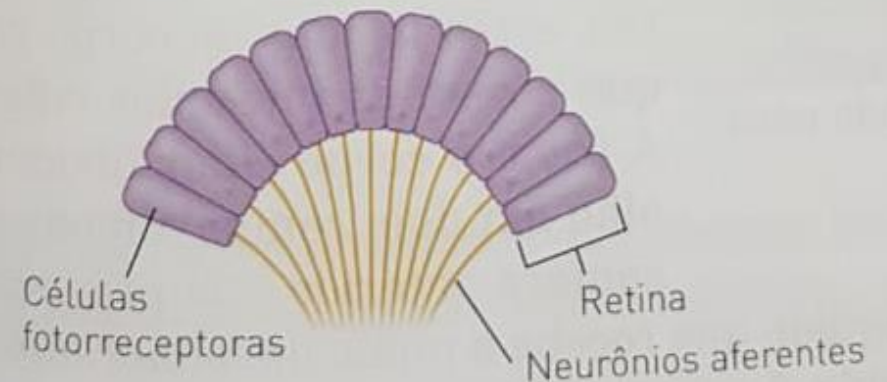
(a) Olho em lâmina plana



(b) Olho em forma de cálice

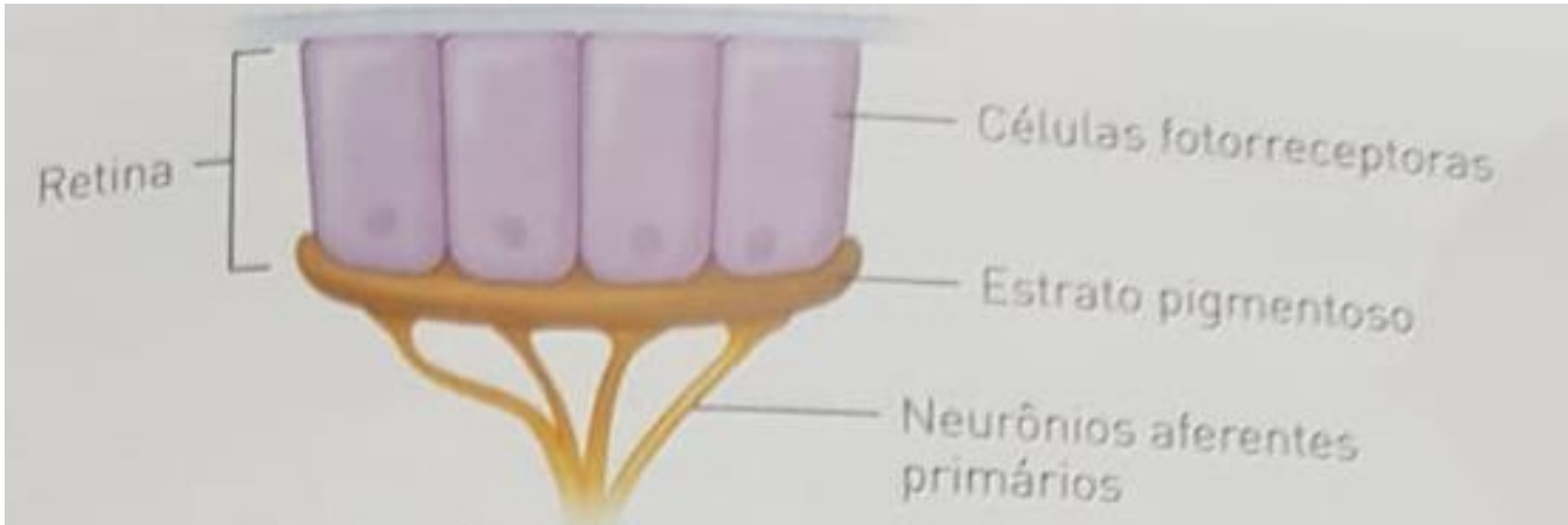


(c) Olho vesicular



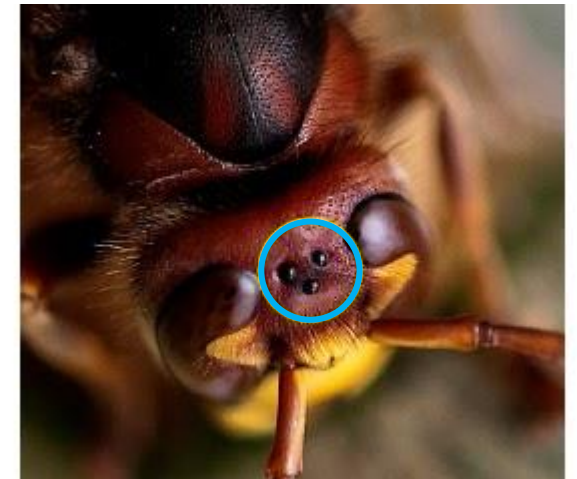
(d) Olho convexo

## Olho em lâmina plana (ocelo)

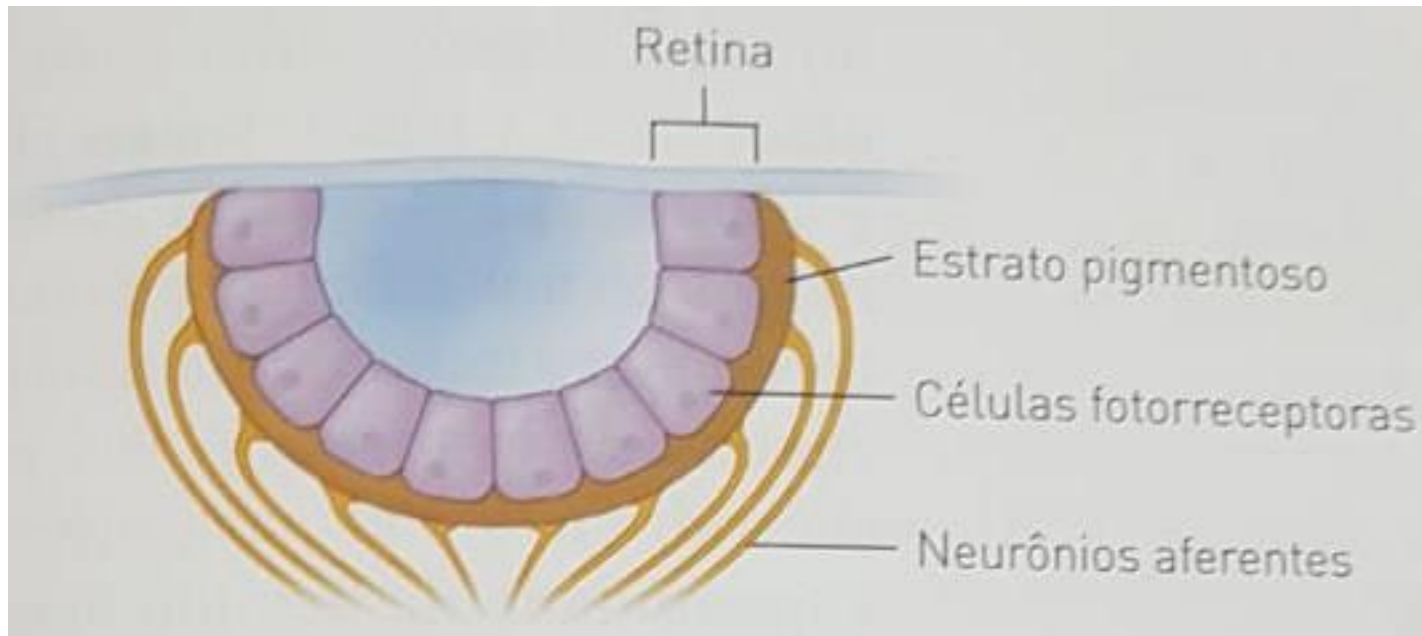


- Intensidade de luz
  - não forma imagens

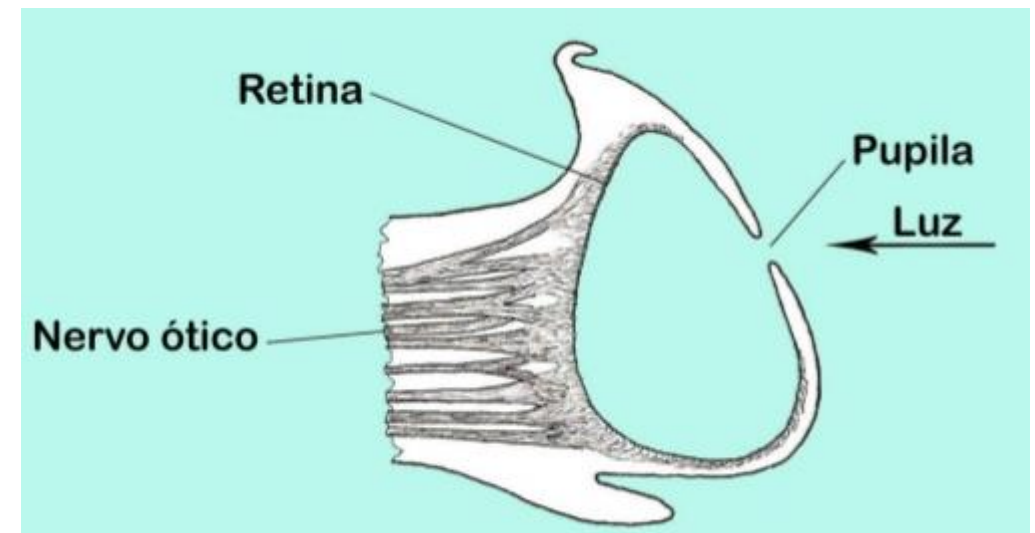
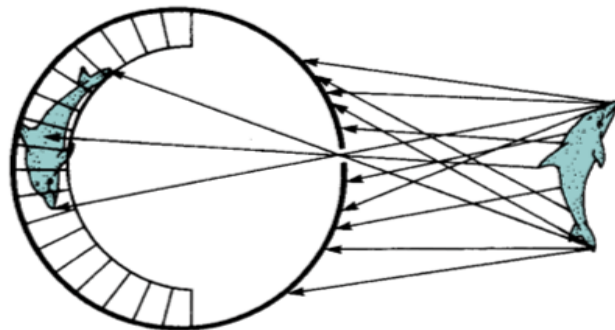
*Patella vulgata*:  
olhos primários



## Olho em forma de cálice (pinhole)

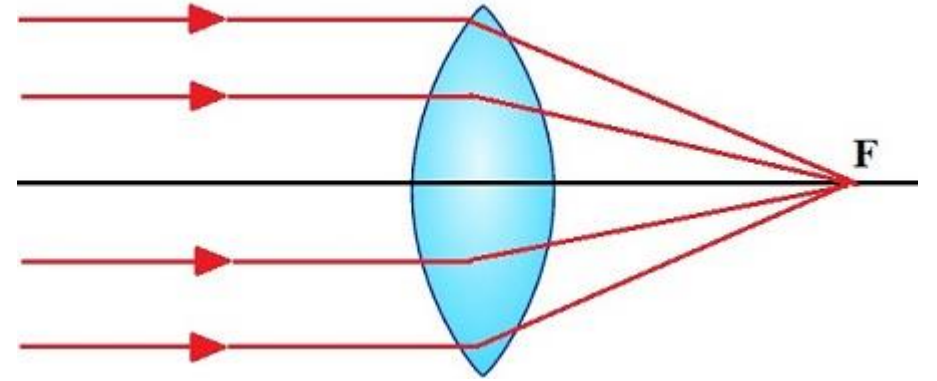
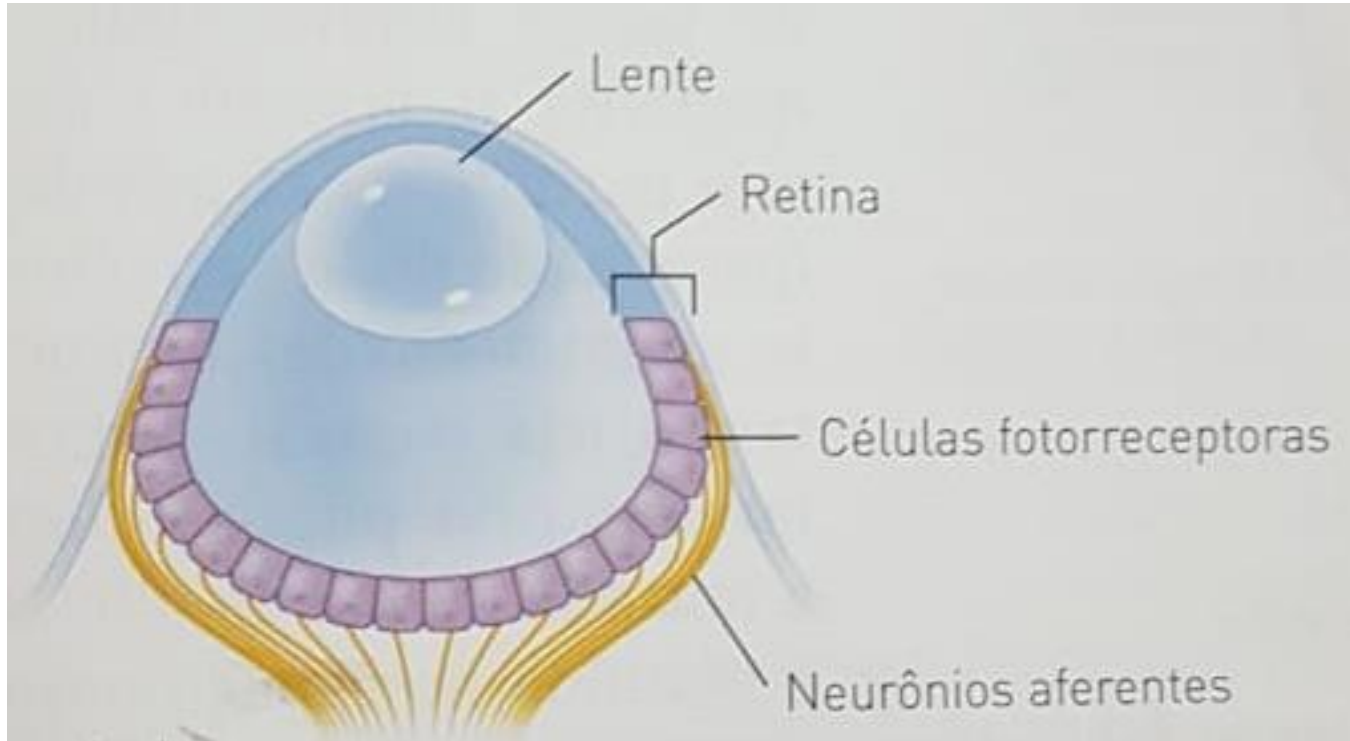


- Direção e intensidade de luz





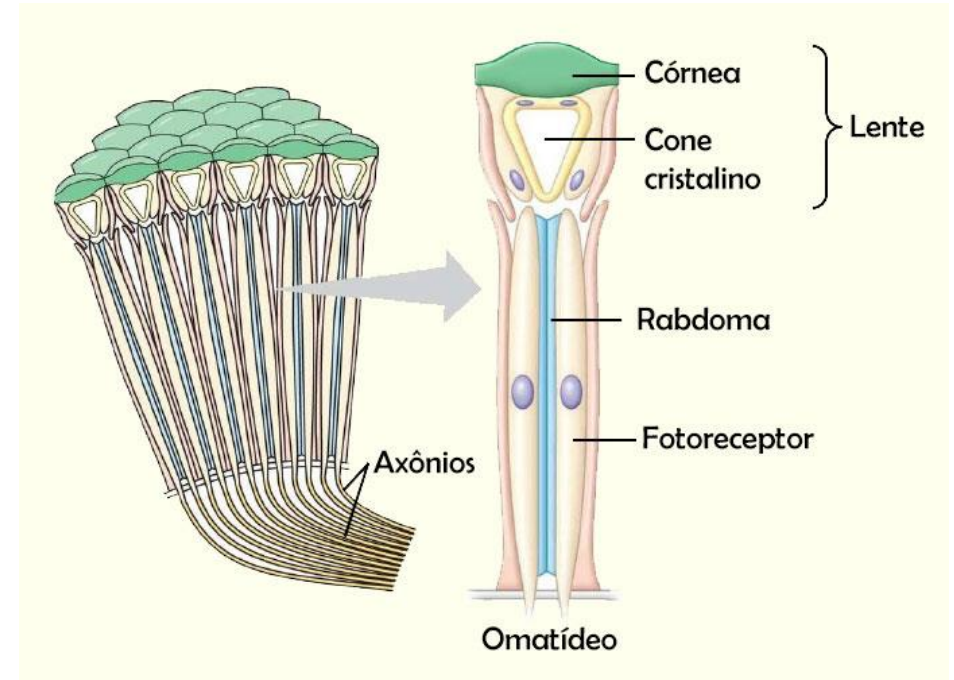
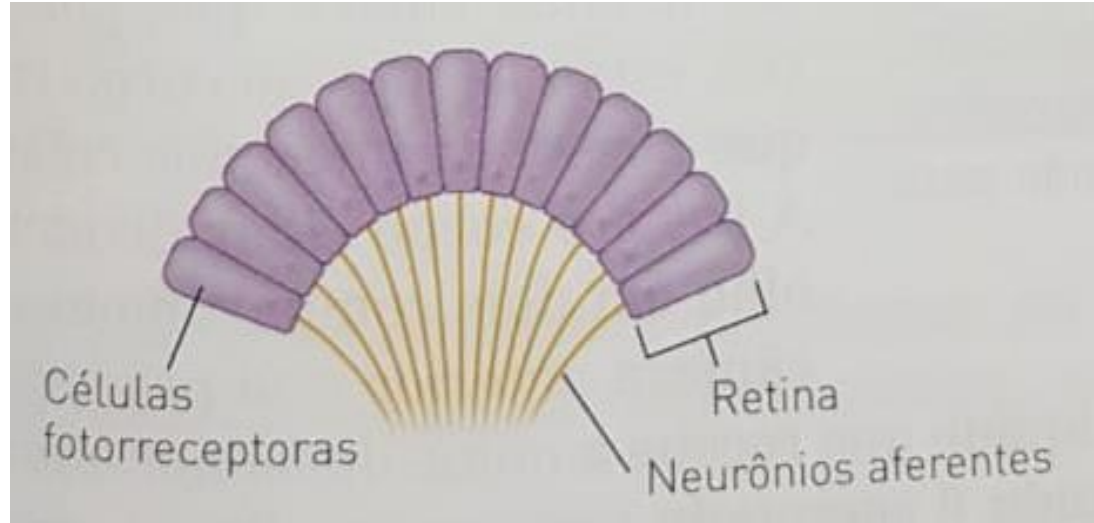
## Olho vesicular (em câmara)



- Formação de imagem nítida
  - convergência dos raios luminosos

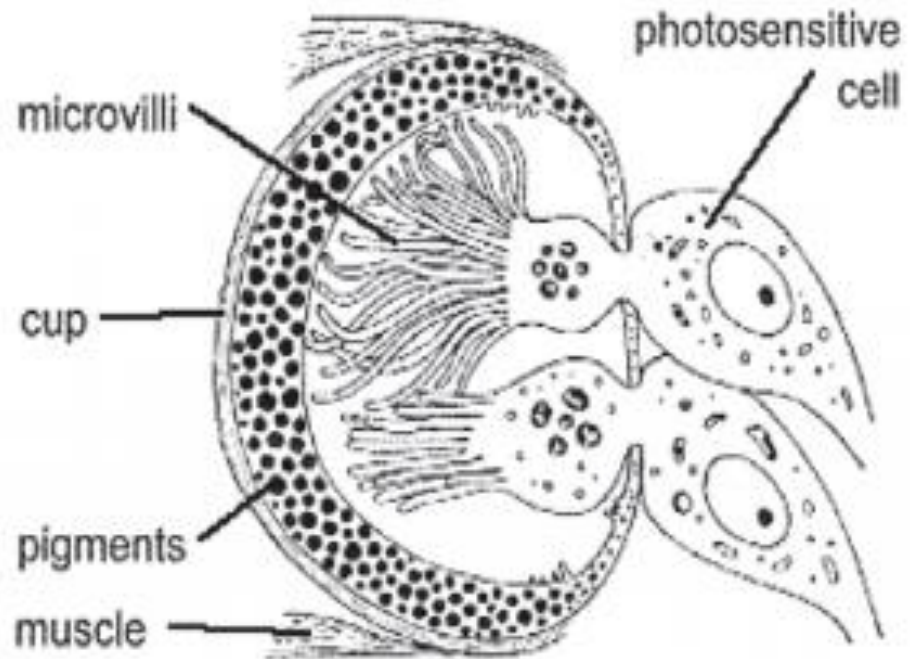
Olhos vesiculares resolveram o problema da nitidez dos olhos em forma de cálice com a inserção de uma lente na abertura.

# Olho convexo ou composto



## Filo Platyhelminthes

- Olho em lâmina plana (ocelo)
- Olho em forma de cálice convexo
  - visão espacial bruta



## Filo Nematoda

- Nematoides aquáticos
  - olho em lâmina plana (ocelo)



# Filo Molusca

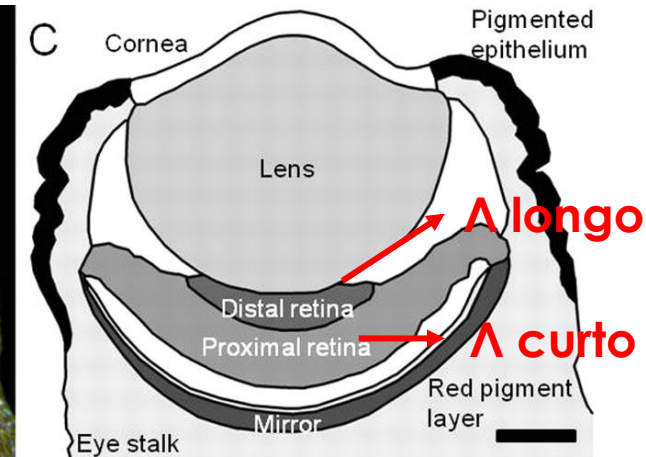
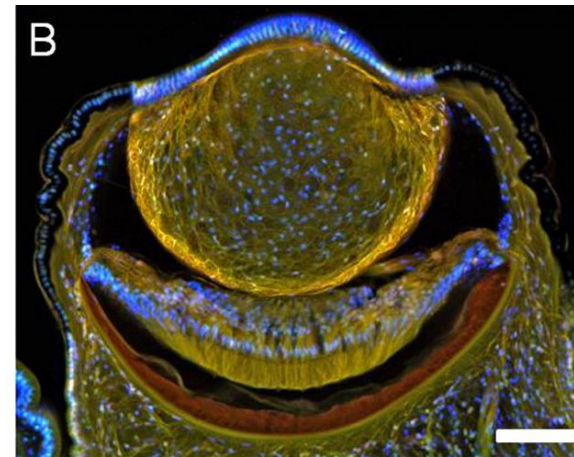
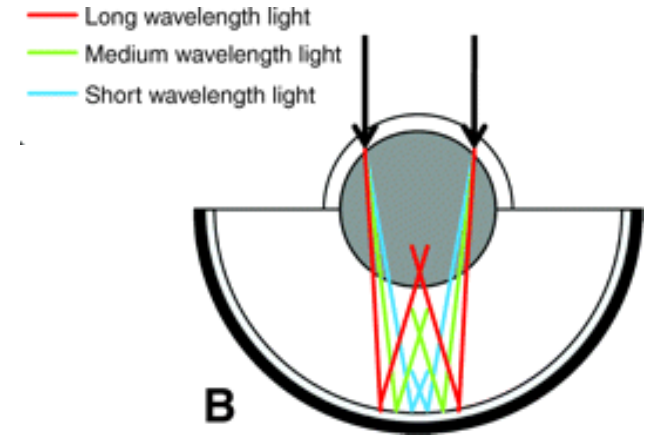
**Vieiras** - possuem olhos com lente e retina, mais complexos do que os de outros bivalves.

Não conseguem ver formas, mas detectar a luz e movimento.

- olhos na borda do manto

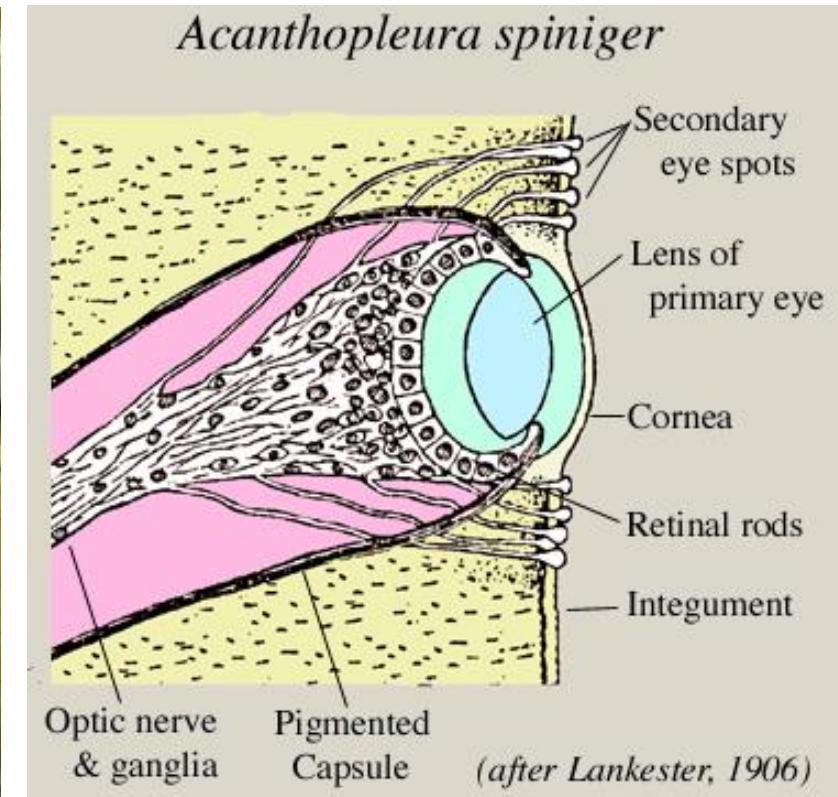
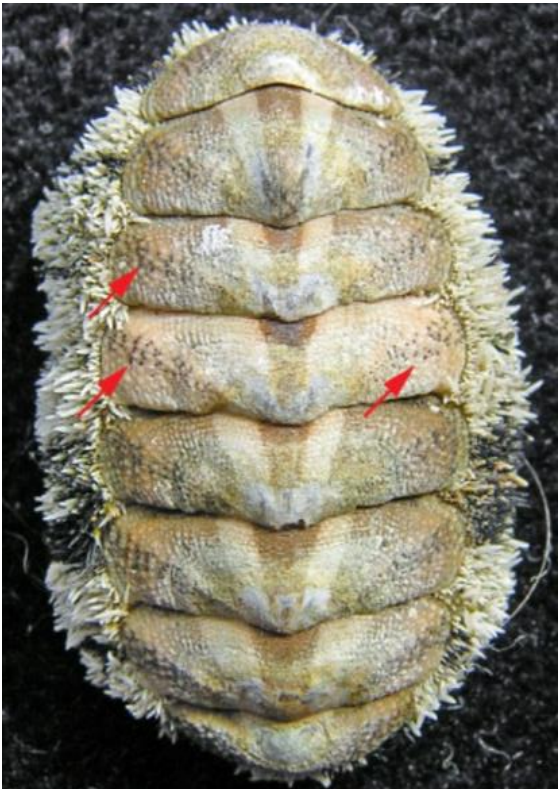


- córnea
- pupila grande
- lente
- retina dupla
- “espelho”



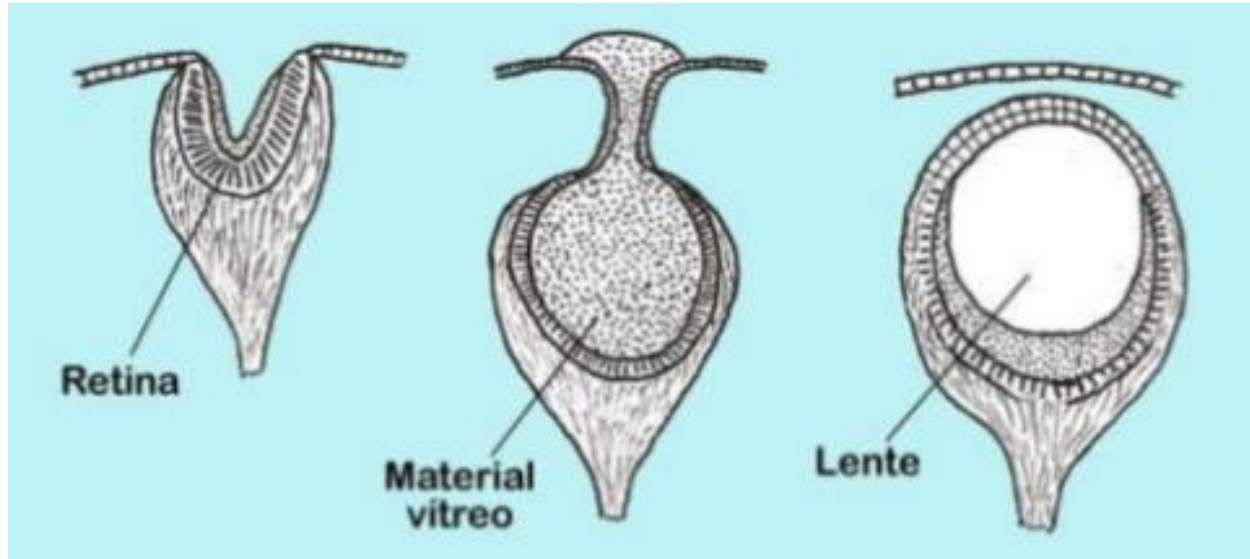
## Quítons (Polyplacophora)

- olhos encrustados nas valvas
- olhos vesiculares
- olhos em lâmina plana



# Gastrópoda

- olhos nos tentáculos



Diferentes tipos de olhos nos caracóis

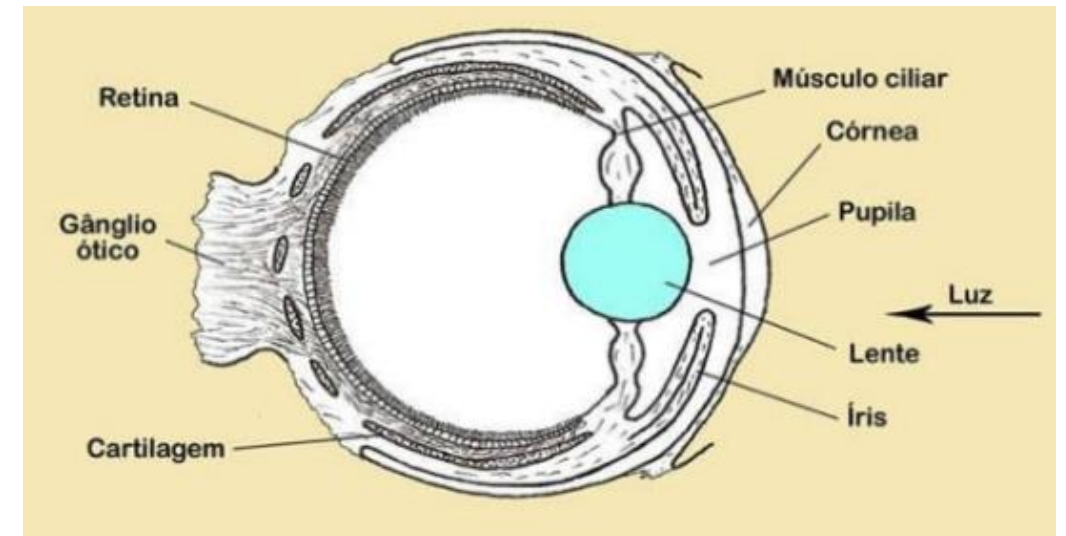
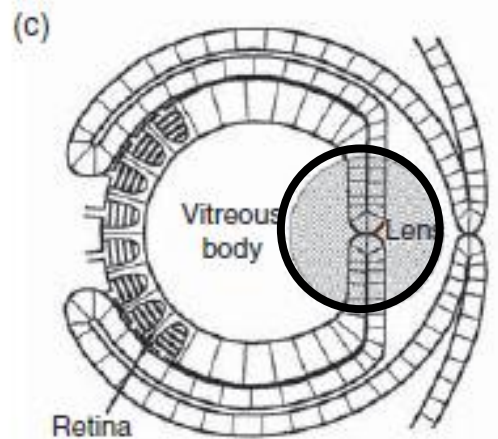
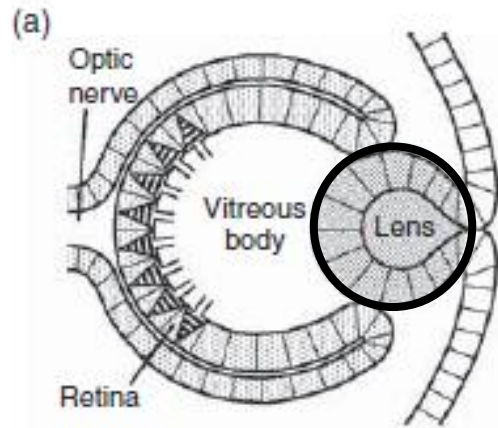
○ A formação de imagem depende do olho

- Não há músculos ciliares para acomodação da imagem
- Monocromatas



# Cefalópodes (polvo, lula e sépia)

- olhos semelhantes a vertebrados (exceto o náutilo)



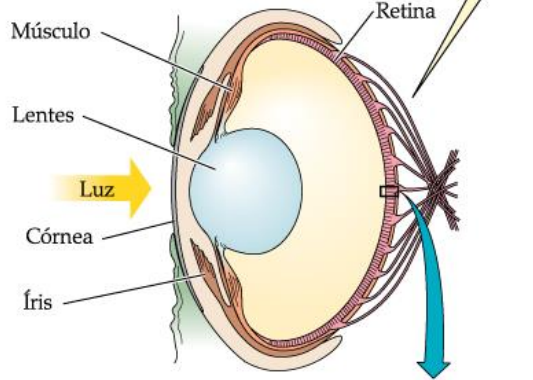
**Fig. 1.9** The composition of eyes in (a) vertebrates, (b) polychaete fan worms, (c) octopus and squid, (d) insects and crustaceans. Although there are only few ways of making functional eyes,



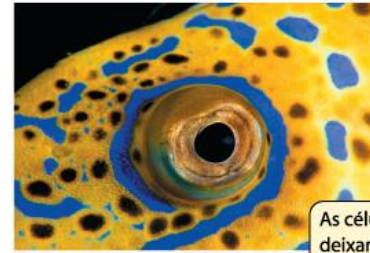
(a) Polvo



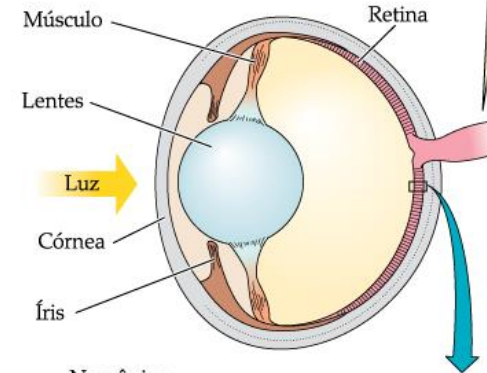
As células nervosas que conduzem sinais visuais dos receptores da retina ao cérebro deixam o olho diretamente em vários nervos ópticos.



(b) Peixe

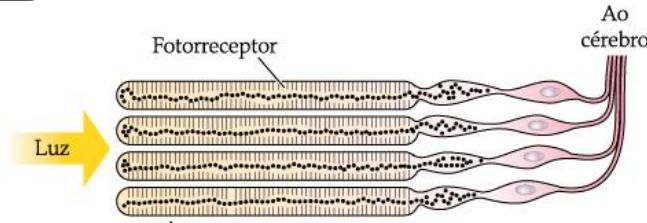


As células nervosas que deixam a retina seguem para um único nervo óptico.

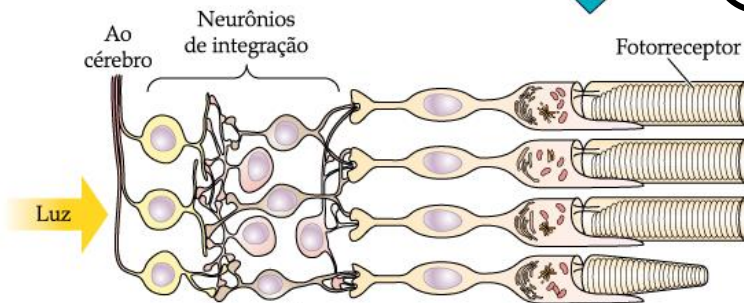


- Luz atravessa várias camadas celulares
- Sinal processado na retina (interneurônios)

- Luz incide diretamente nos fotorreceptores
- Sem interneurônios



No olho de um polvo ou de uma lula, os fotorreceptores apontam em direção à luz que chega.



As células nervosas na retina em um peixe ou outros vertebrados, ao contrário daquelas do polvo, formam redes que processam extensivamente a informação visual antes de os sinais irem para o cérebro.

No olho de um peixe ou de outro vertebrado, os fotorreceptores apontam da direção que a luz entra, de modo que a luz deve passar através do tecido da retina para estimular os fotorreceptores.

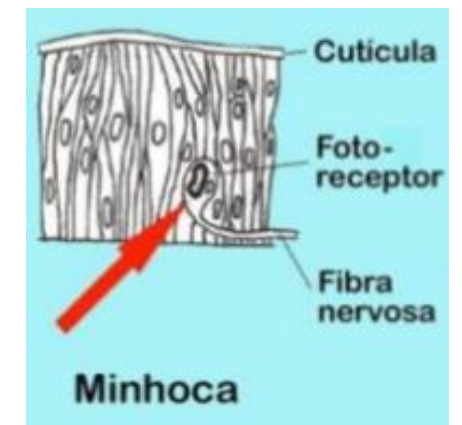
**Figura 1.4** As estruturas que são semelhantes em aparência grosseira, desempenho funcional e significado adaptativo podem diferir significativamente em detalhes de como se agrupam e trabalham Tanto os moluscos cefalópodes quanto os peixes desenvolveram visão excelente, mas eles usam mecanismos detalhados diferentes. (a adaptada de Wells, 1966 e Young, 1971; b adaptada de Walls, 1942.)

# Filo Annelida

Minhocas, vermes anelados marinhos e sanguessugas.

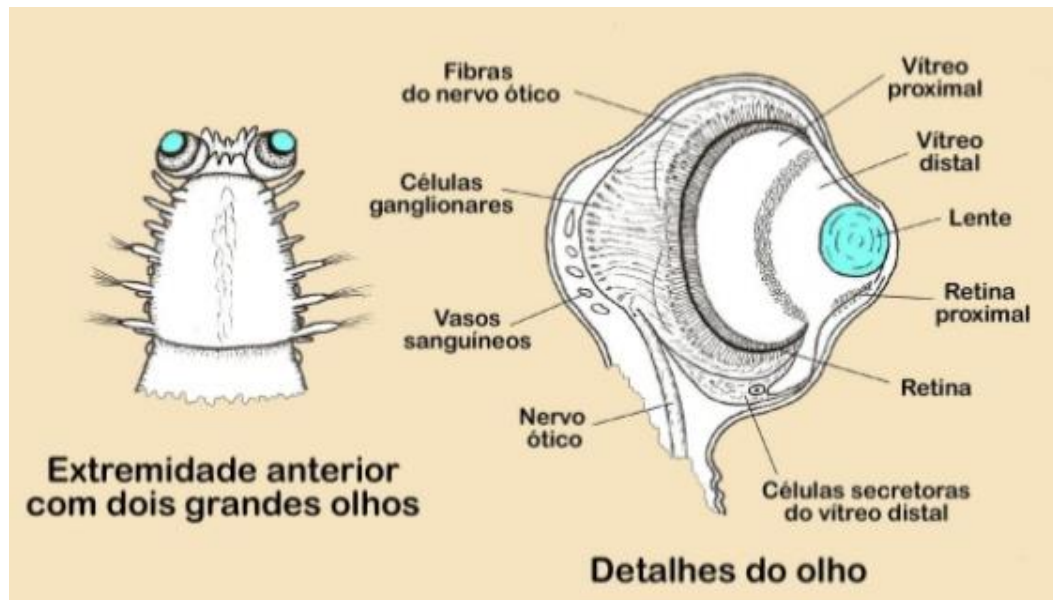
Diferentes tipos de fotorreceptores

- Olhos compostos
- Oito ocelos (Classe Hirudinea)
- Fotorreceptores dispersos na epiderme (Minhocas)

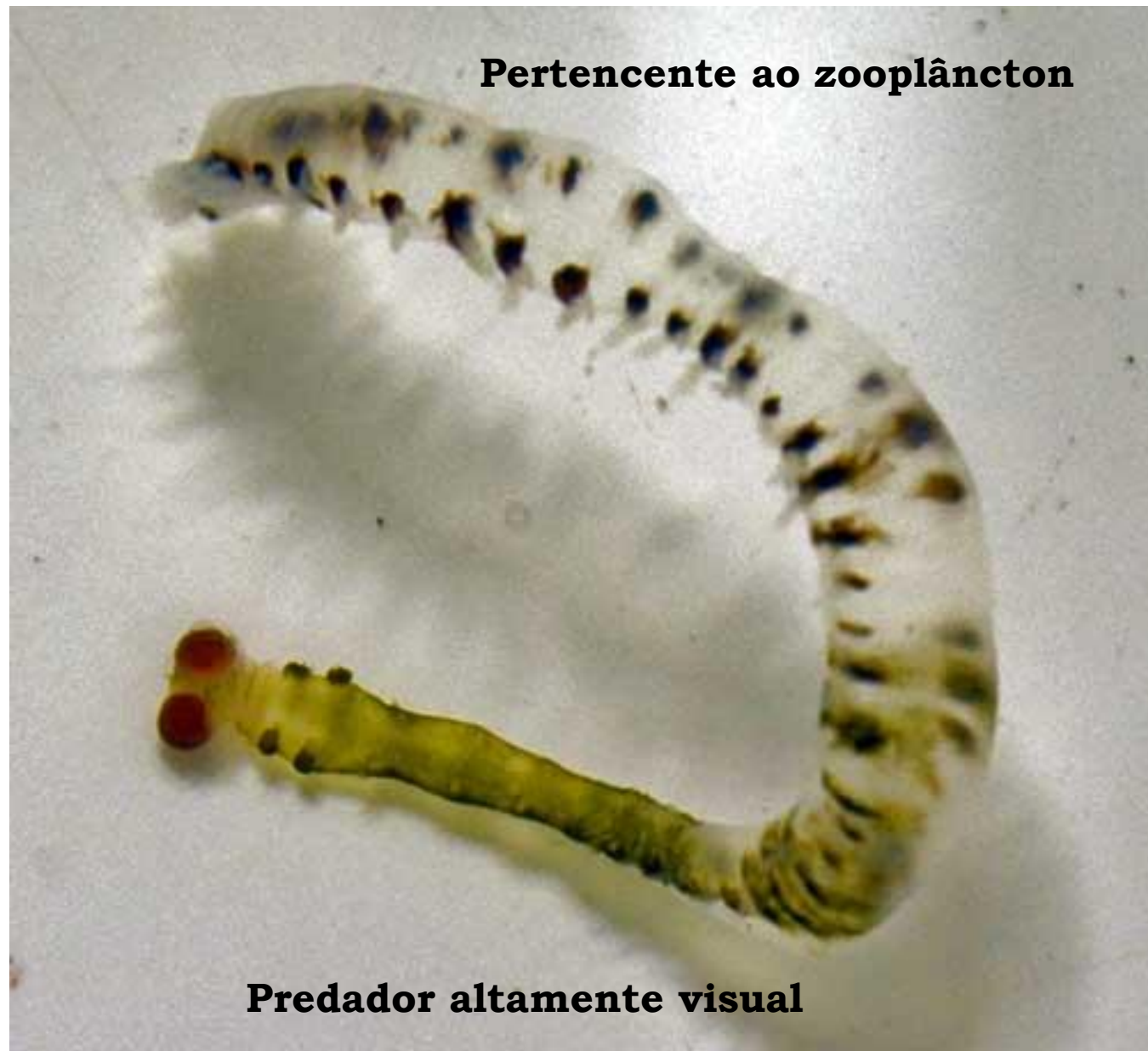


# Classe Poliqueta

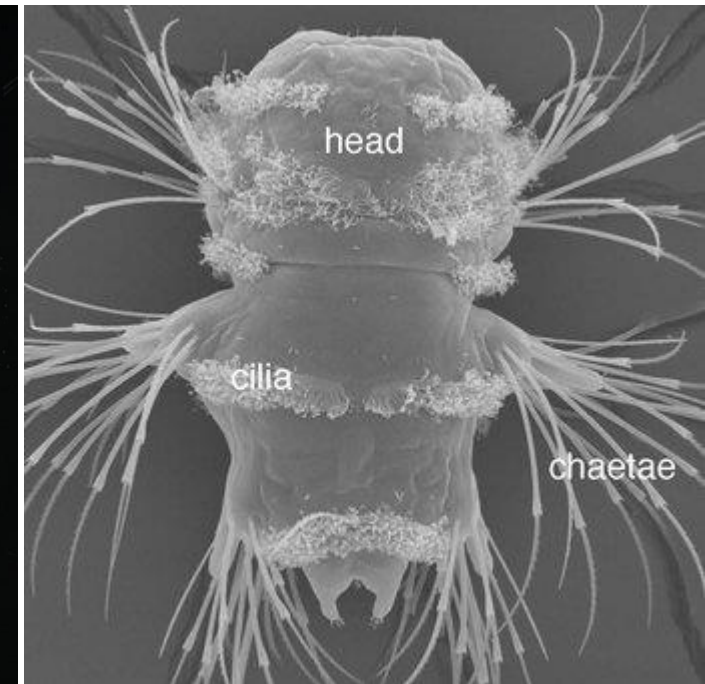
- *Vanadis sp*



**Olhos grandes e sofisticados**

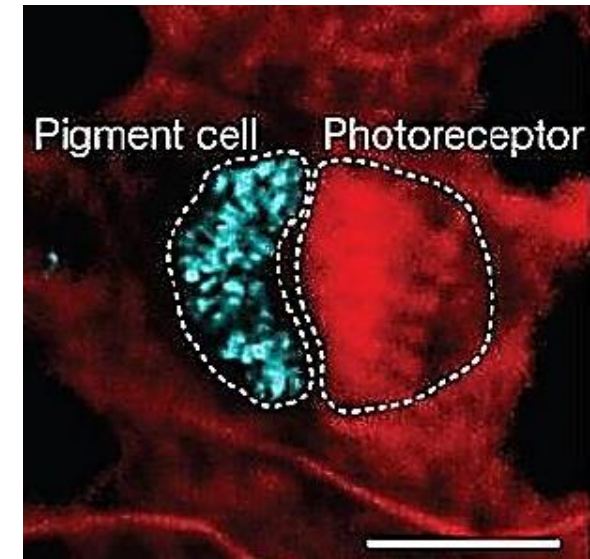
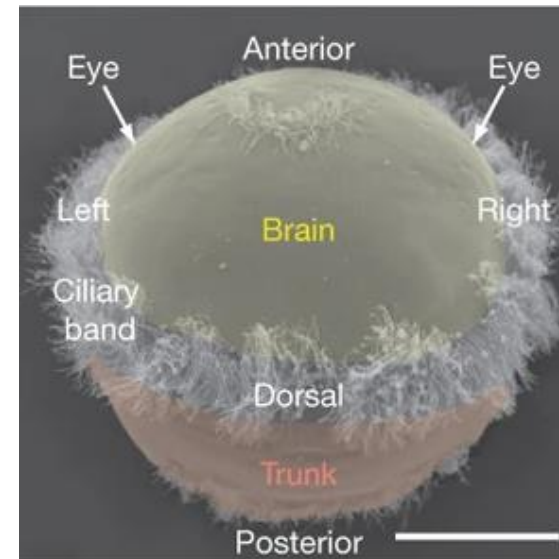


- ***Platynereis dumerilii***
- Larva → fototaxia
- Olhos mínimos
  - 1 célula recebe luz
  - 1 célula acumula pigmento



fotorreceptor → anel nervoso → cílios

Cílios → locomoção → fototaxia



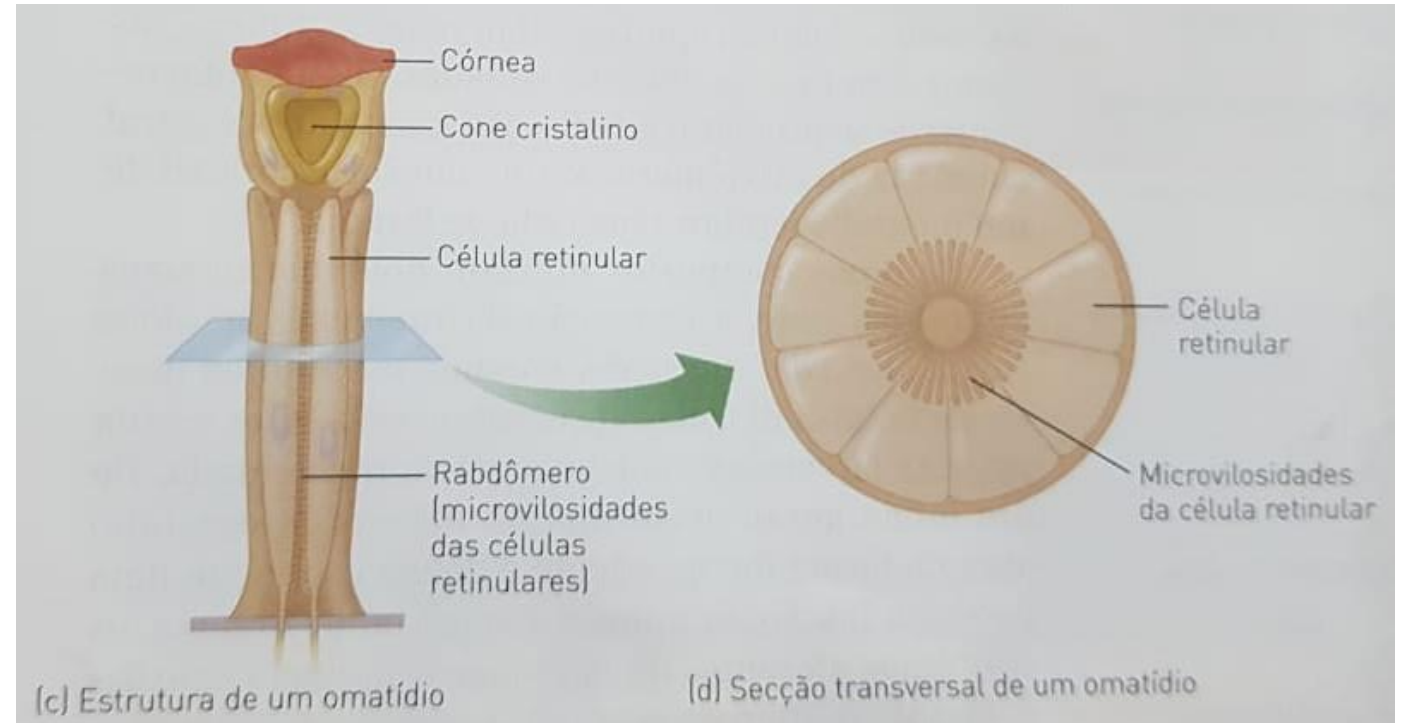
## Filo Arthropoda

- Órgãos visuais:
  - **Ocelos**
    - insetos e alguns crustáceos
  - **Olhos vesiculares**
  - **Olhos compostos**
    - boa visão próxima
    - omatídios → córnea e lente próprias



# Omatídio

- sistema óptico
  - faceta ou lente córnea
  - cone cristalino
- rabdomêro

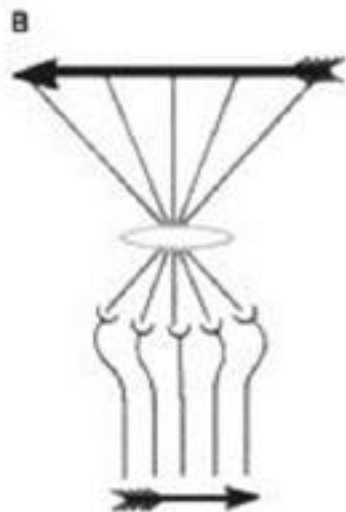




Olho composto



cada omatídio recebe uma região diferente do campo visual



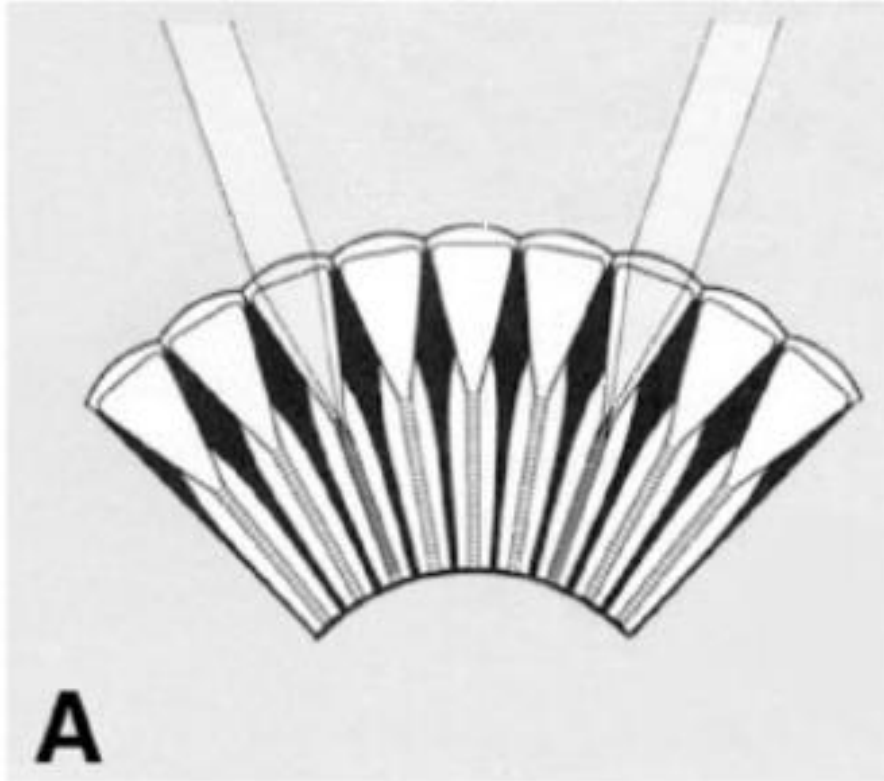
Olho do vertebrado



imagem única

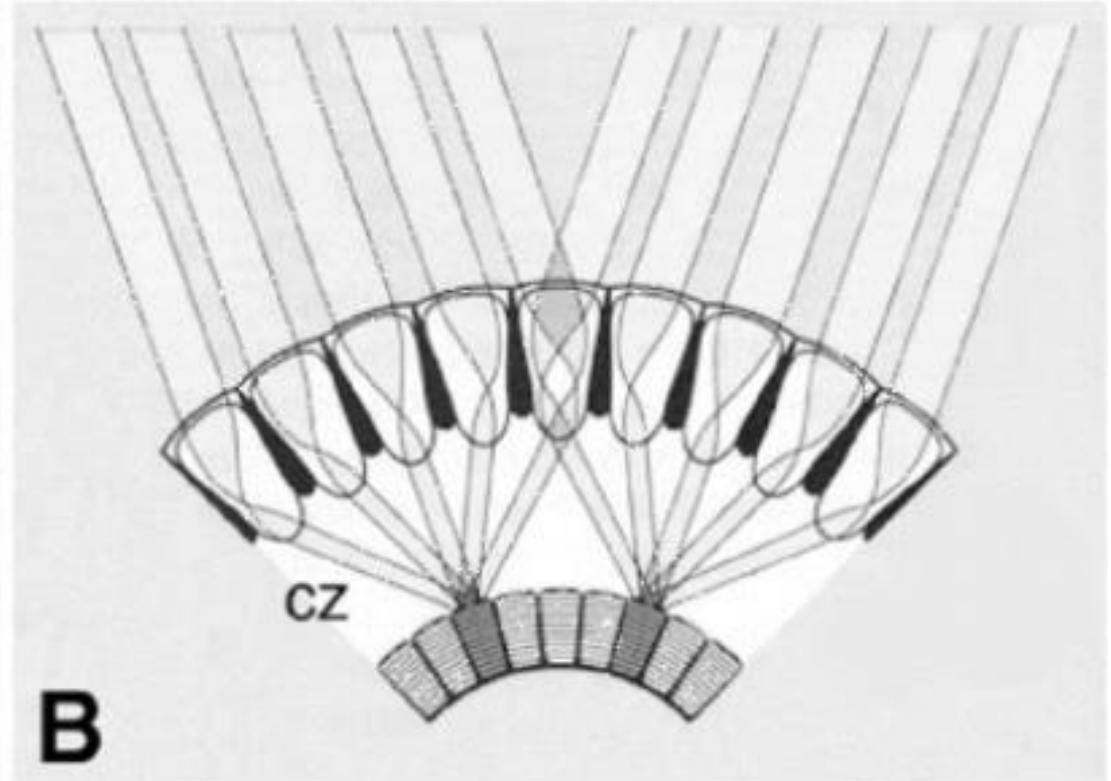
## Formação da imagem

- por aposição
- por sobreposição



(A) Olho Composto de Aposição

diurnos



(B) Olho Composto de Sobreposição

noturnos



28.000



360°

4.000

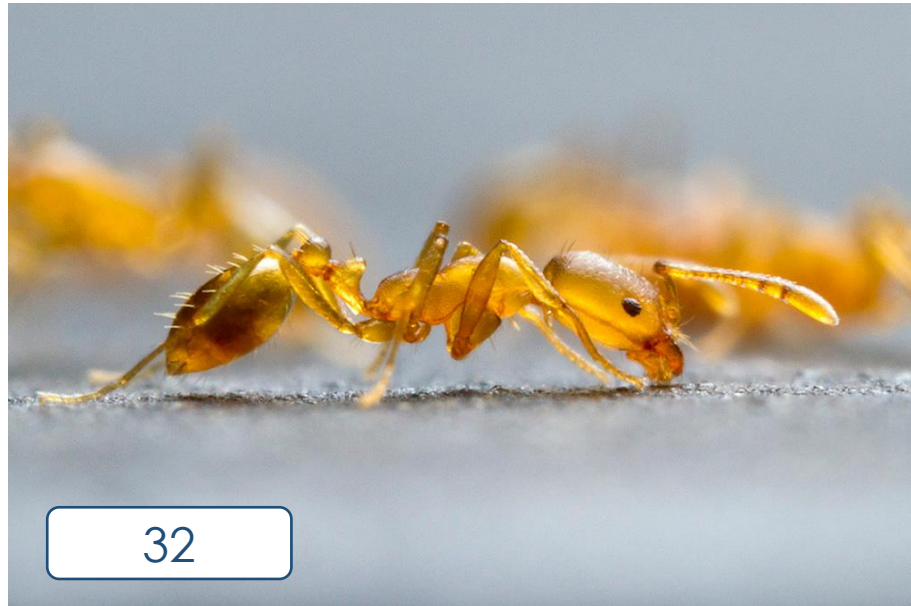


Número de omatídeos / acuidade visual

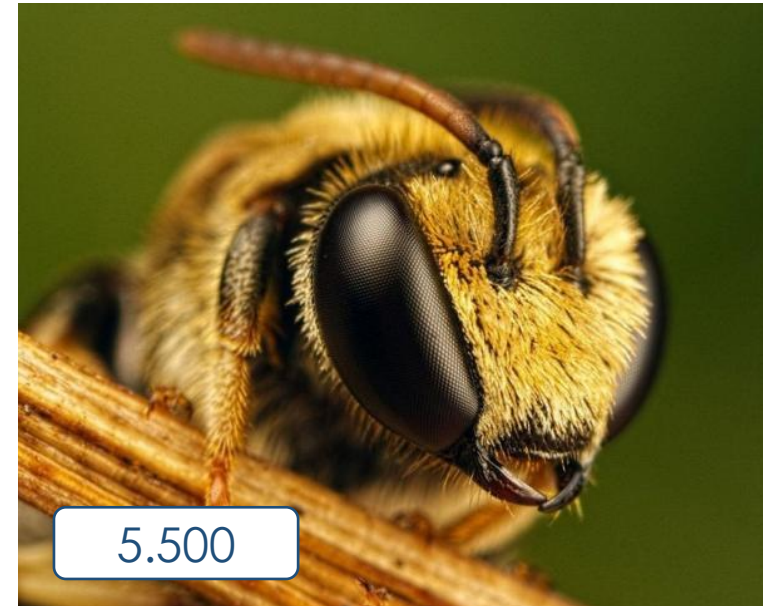
7.000



32



5.500



- **Olho composto**

- Distinção de 300 flashes por segundo (humanos 30)

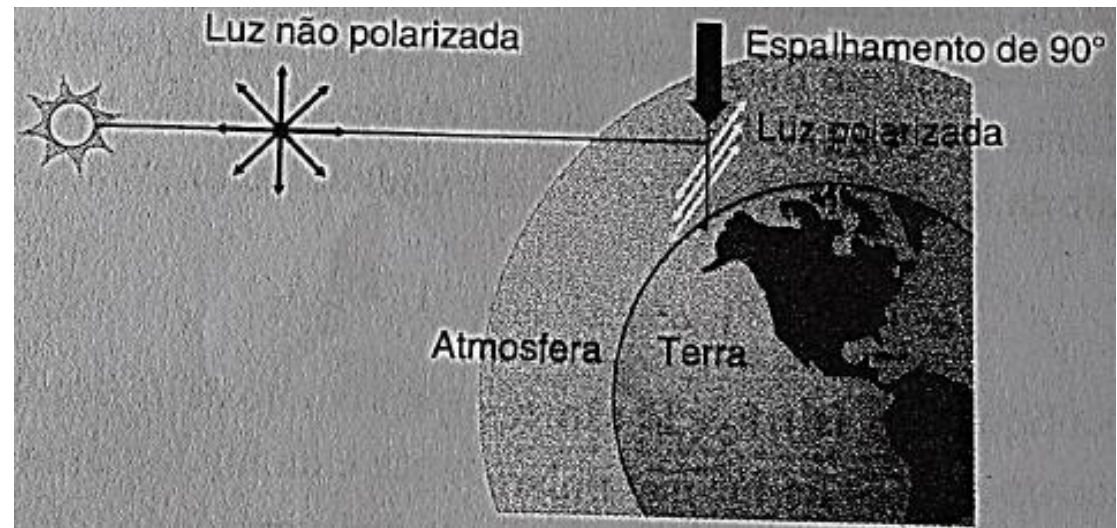
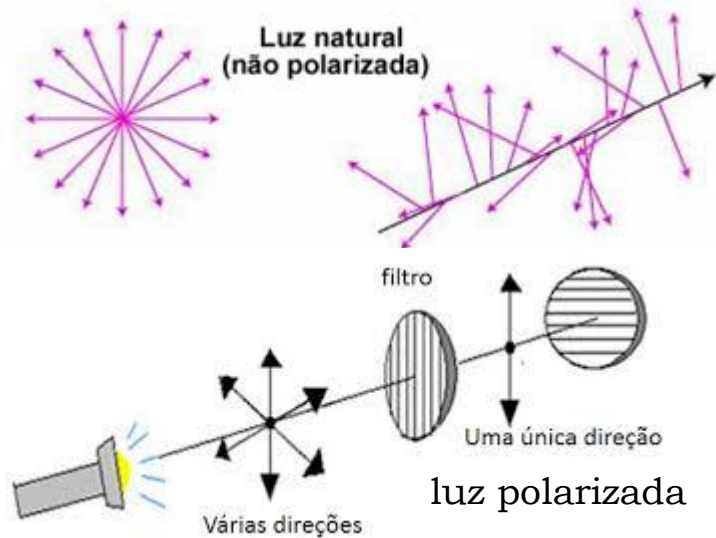
- Visão ultravioleta

- 313 a 650 nm

- Luz polarizada



luz não polarizada

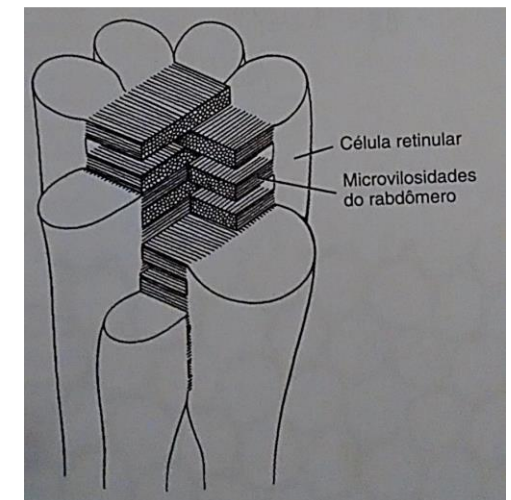


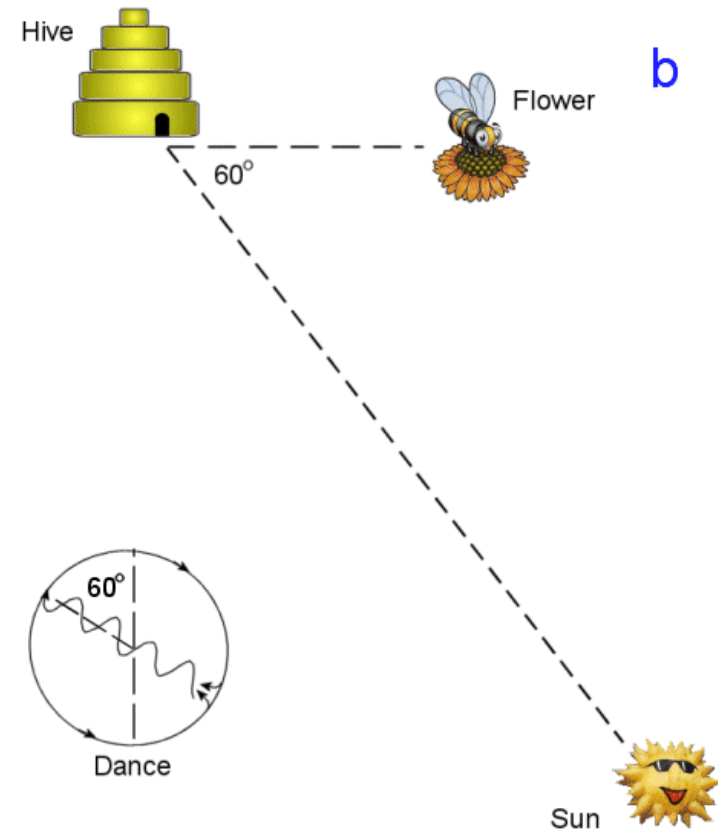
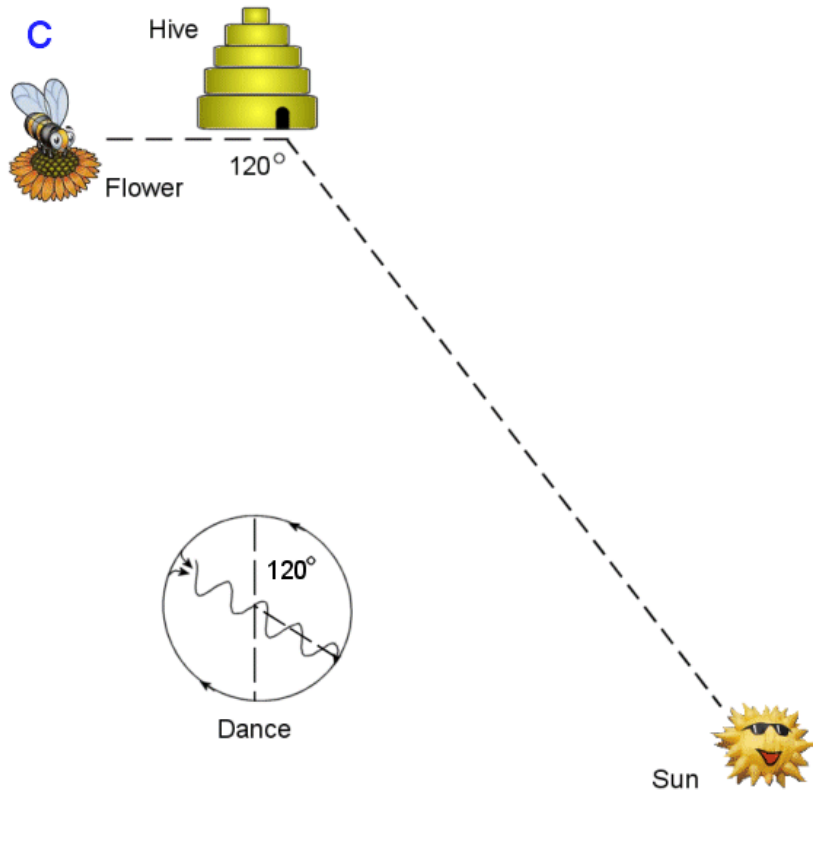
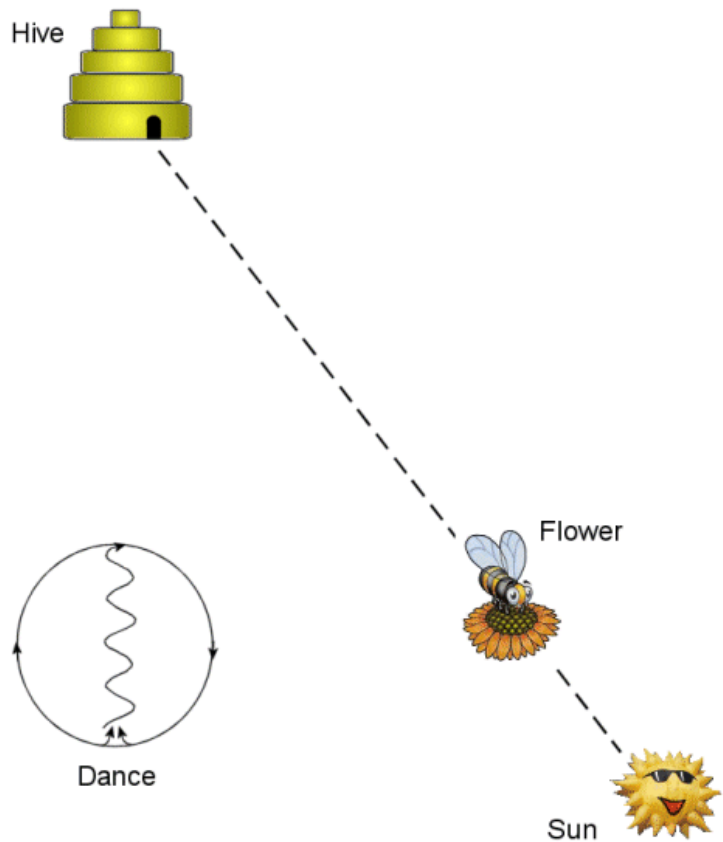
- Luz polarizada indica a posição relativa do sol

As microvilosidades nos rabdômeros - orientadas de modo que a luz sensibiliza uma célula fotorreceptora, permitindo a detecção da polarização da luz e a posição do sol.

Assim, as abelhas conseguem se localizar e indicar a localização do alimento para as companheiras por meio de danças (requebrado).

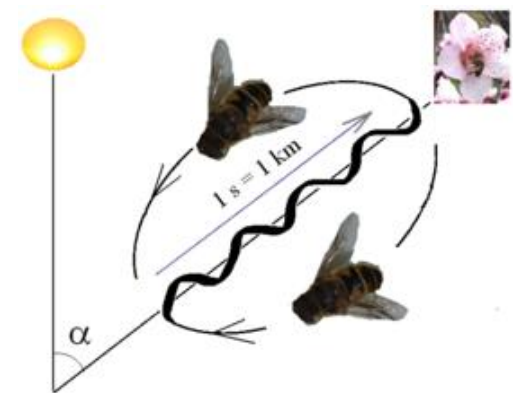
A dança é realizada em um ângulo e a velocidade que são sinais para as outras abelhas.





Se o ângulo formado entre a flor e a colmeia, em relação ao sol, for de  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  ou  $180^\circ$ , esse vai ser o ângulo da dança.

Cada segundo de requebrada equivale a um quilômetro de distância.



**A dança das abelhas - importante meio de comunicação** - informa a localização do alimento a partir da detecção do sinal luminoso do sol.

**Três tipos de dança:**

- **Dança em círculo** – alimento a menos de 100 m de distância da colmeia;
- **Dança do requebrado** – a mais de 100m;
- **Dança da foice** – dança de transição até 100m.

Local das danças: **dentro da colmeia, sobre um favo, ou no alvado (entrada da colmeia).**

Durante a dança, a **operária campeira indica a direção da fonte de alimento em relação à posição da colmeia e do sol.**

A **distância** da colmeia até o alimento é informada pelo **número de vibrações** (requebrados) e **intensidade do som emitido durante a dança**. Quanto menor a distância, maior o número de vibrações.

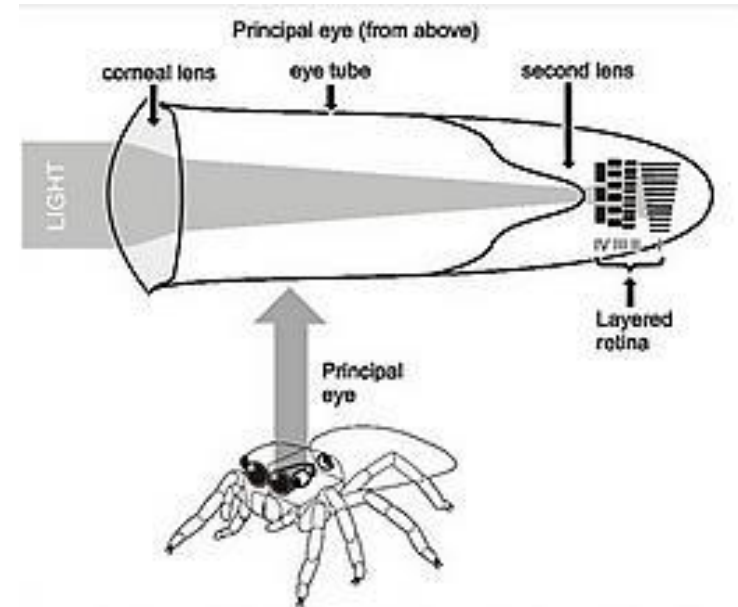
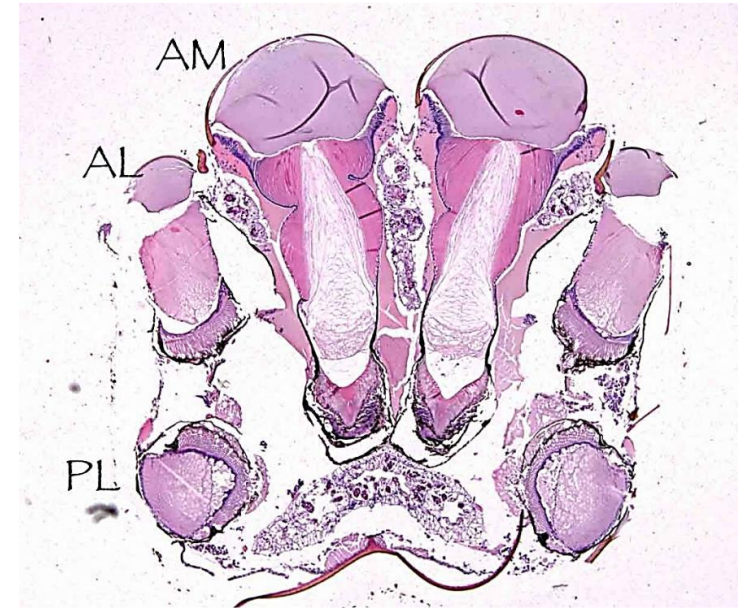
A campeira pode interromper a dança, algumas vezes, e oferecer às operárias que estão observando uma gota do néctar que coletou. Assim, a campeira informa o odor da flor para que as operárias saiam em busca do néctar.

A vivacidade e a duração da dança aumentam o recrutamento.



## Aranhas saltadoras

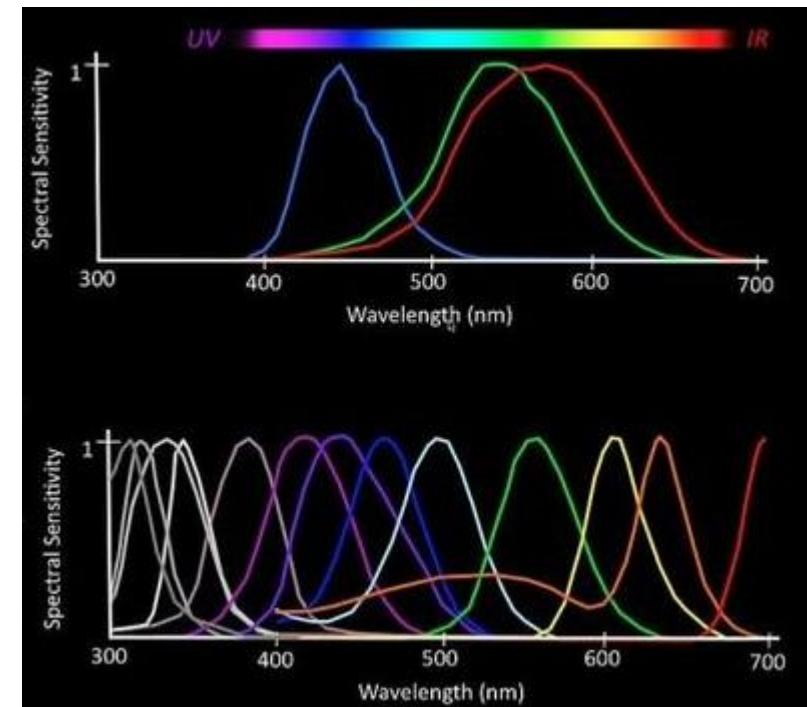
- Quatro pares de olhos
  - 1 par central → tamanho, cor, forma
  - 3 pares secundários → movimento



# Camarão Mantis

- 2 olhos com 3 pontos focais cada
  - movimentos independentes
- 16 tipos de cones
- luz polarizada
- capazes de enxergar do espectro ultravioleta ao infravermelho - únicos olhos do mundo que possuem essa capacidade de percepção.

Seres humanos tem 2 olhos com 1 ponto focal cada (visão 3D)  
- camarão visão 6D?  
16 tipos de cones (12 pra cores, 2 pra IV e 2 para UV)





## Lagostas-boxeadoras

(*Odontodactylus scyllarus*)

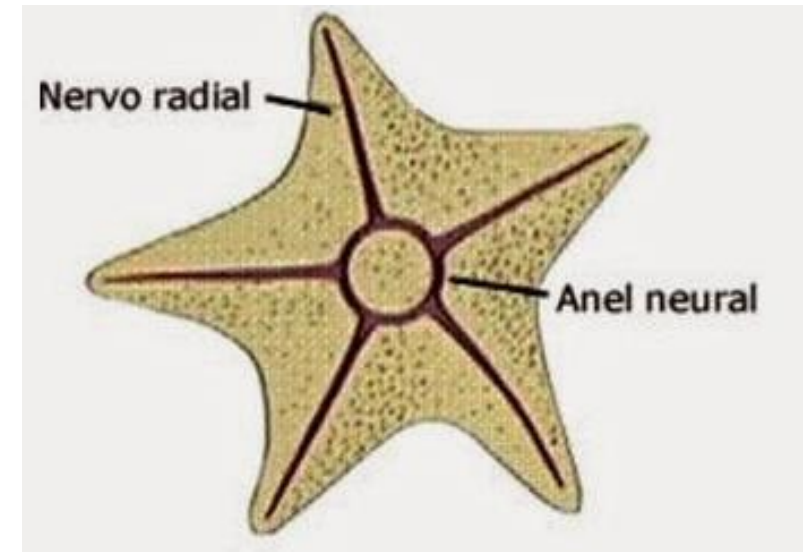
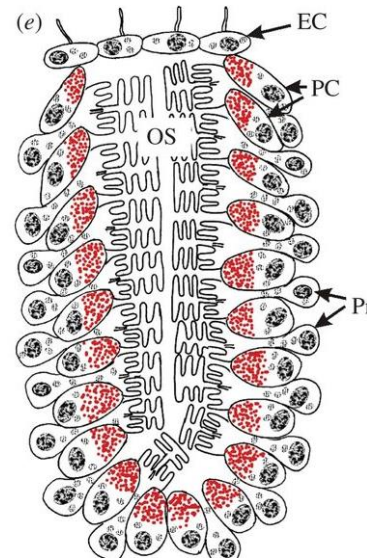
- 2 olhos com 3 pontos focais cada
  - movimentos independentes
- 16 tipos de cones
- luz polarizada



# Filo Echinodermata

## Estrela-do-mar

- olhos compostos na ponta dos braços
- fotorreceptores intermediários



## Filo Chordata

- olhos vesiculares
- habitat
- nicho ecológico



# Peixes

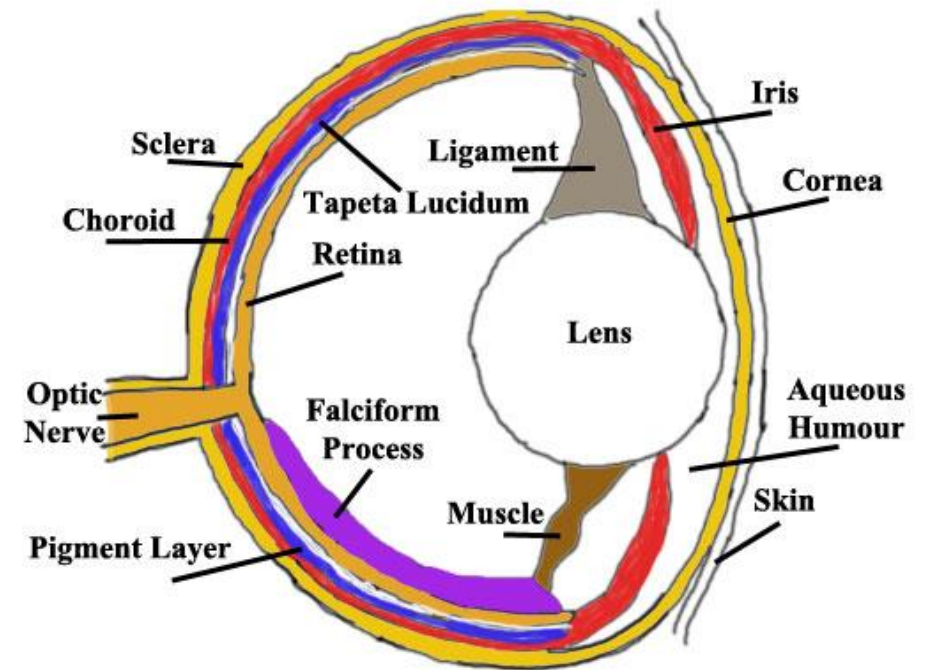
- cristalino esférico



Objeto próximo:  
cristalino move-se para  
frente

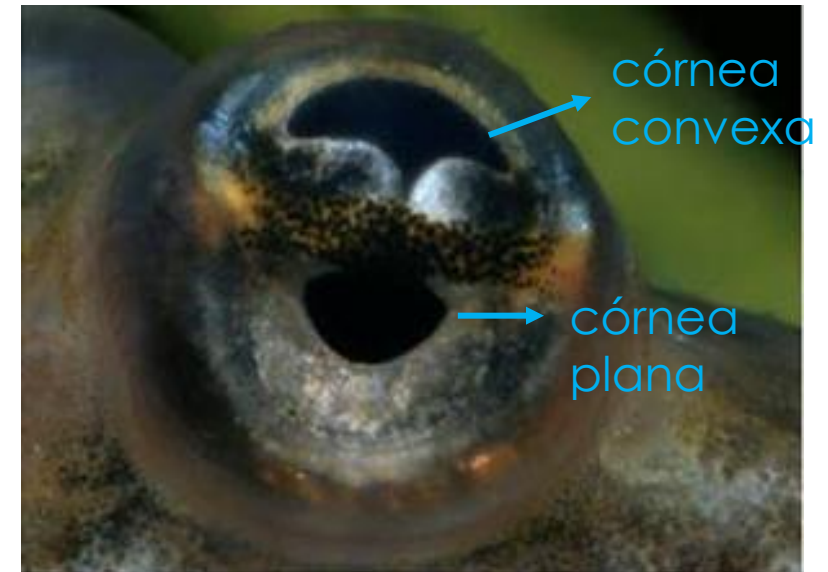


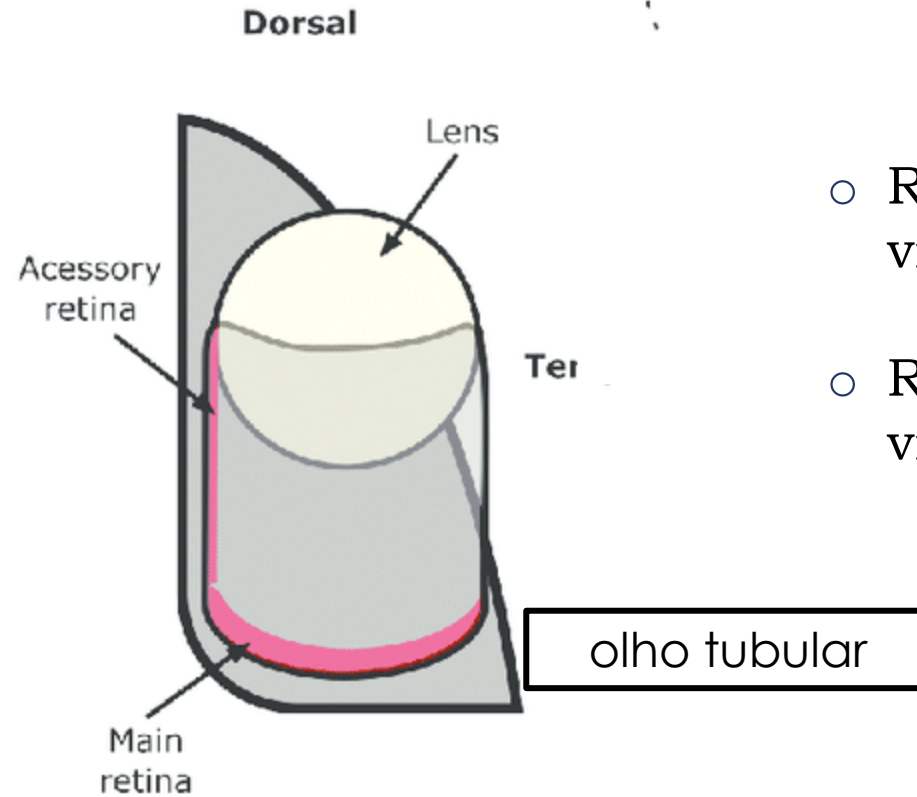
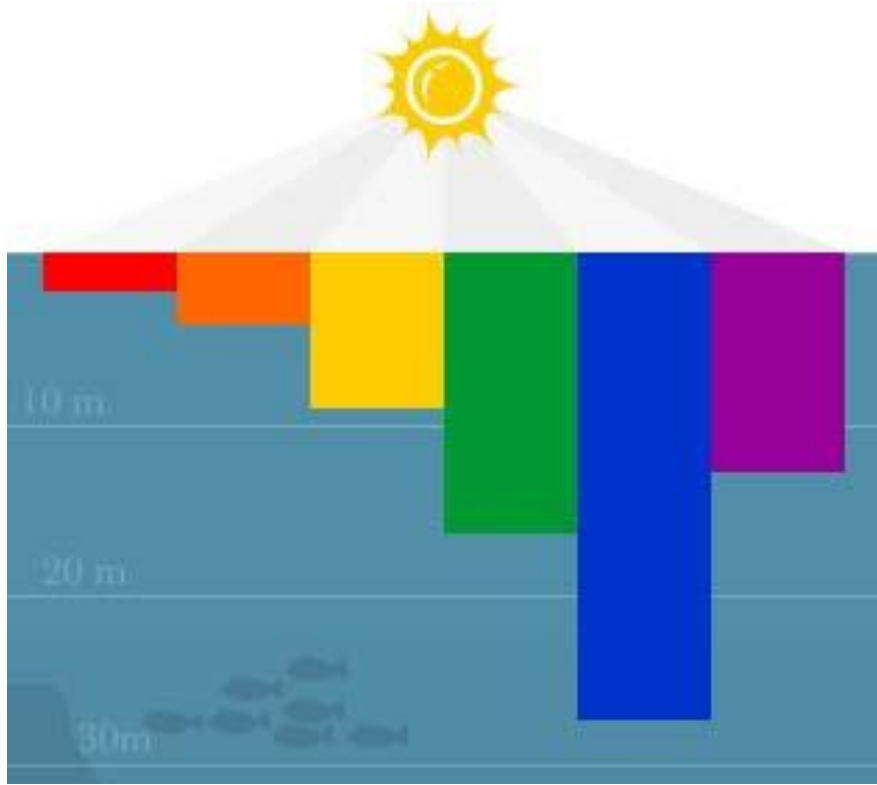
Objeto distante:  
cristalino move-se para  
trás



## *Anableps anableps*

- olhos com estrutura dupla
- superior: verde
- inferior: amarelo
- total: UV e azul





- Retina principal: visão próxima
- Retina acessória: visão distante

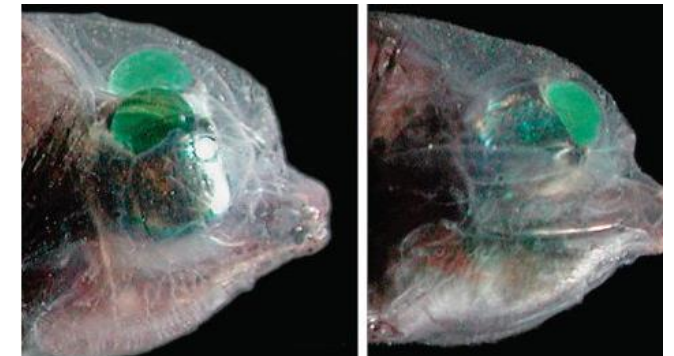
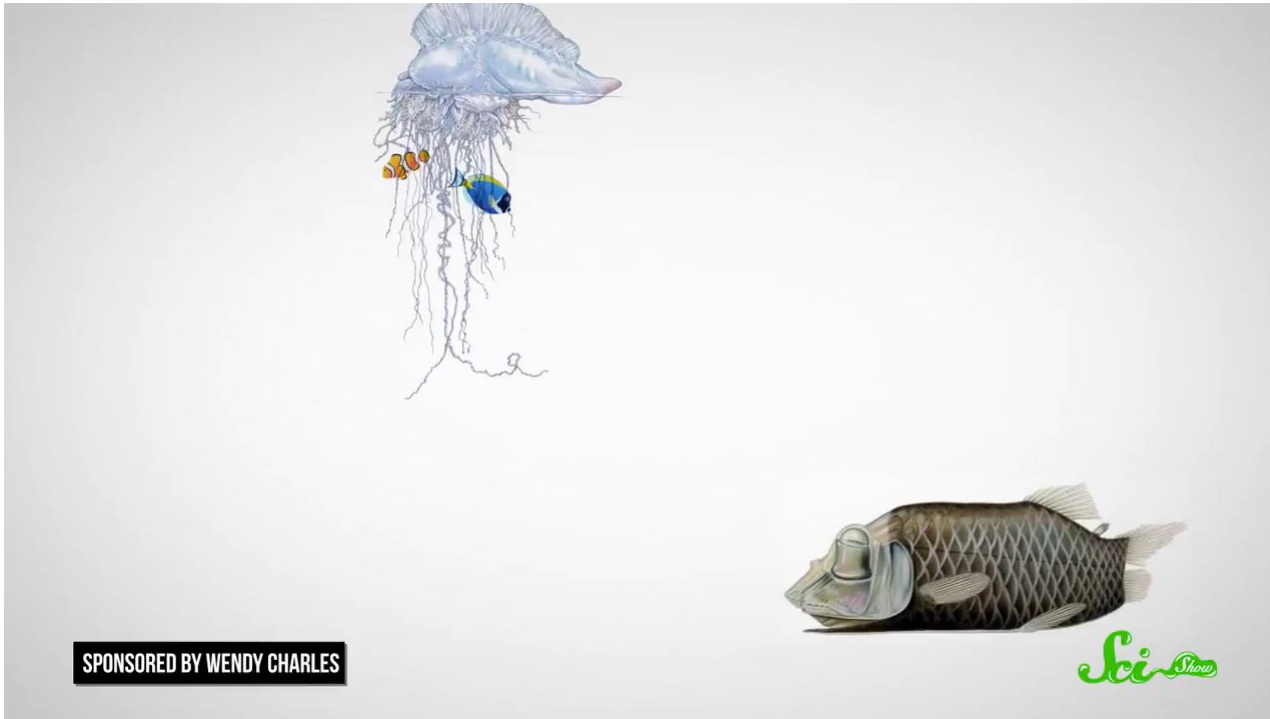
**Problema da visão em ambientes aquáticos** - além da refração da luz causada pela água, é a penetração das ondas luminosas.

O **azul** é o que possui maior grau de penetrância.

**Adaptação** para ambientes mais profundos - **olhos tubulares** (altura maior), que aumentam a quantidade de luz que entra no olho (semelhante à um binóculo), e permite maior captação de luz e melhor percepção de profundidade, mas diminui o campo de visão.

# *Macropinna microstoma*

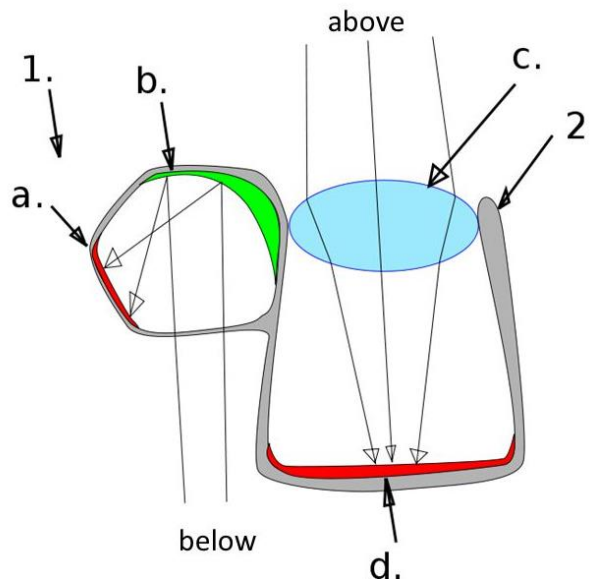
Peixe da cabeça transparente



Os olhos tubulares são verdes, pois conseguem filtrar qualquer luz solar que ainda esteja presente na água e destacar a bioluminescência das águas vivas

# *Dolichopteryx longipes*

- olhos com estrutura dupla
  - superior: tubular
  - inferior: “espelho”



1. Olho espelhado
  - a) Retina
  - b) Espelho
2. Olho tubular
  - c) Cristalino
  - d) Retina

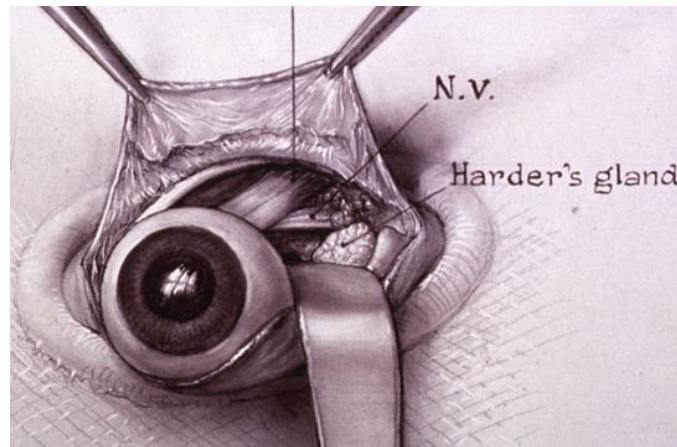
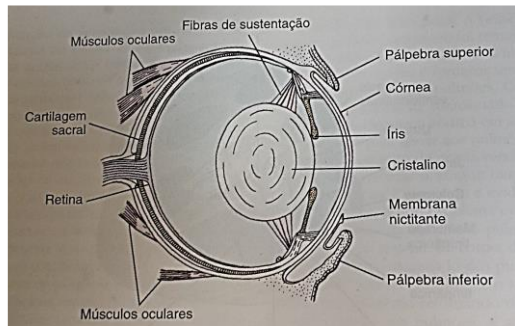


Olho é dividido na porção superior, que tem estrutura tubular, e a inferior, que possui espelho para formação da imagem na retina.



# Anfibios

- fase larval
  - cristalino esférico
- fase adulta
  - cristalino oval, pouco flexível
  - membrana nictitante
  - pálpebras
  - glândulas lacrimais e de Harder

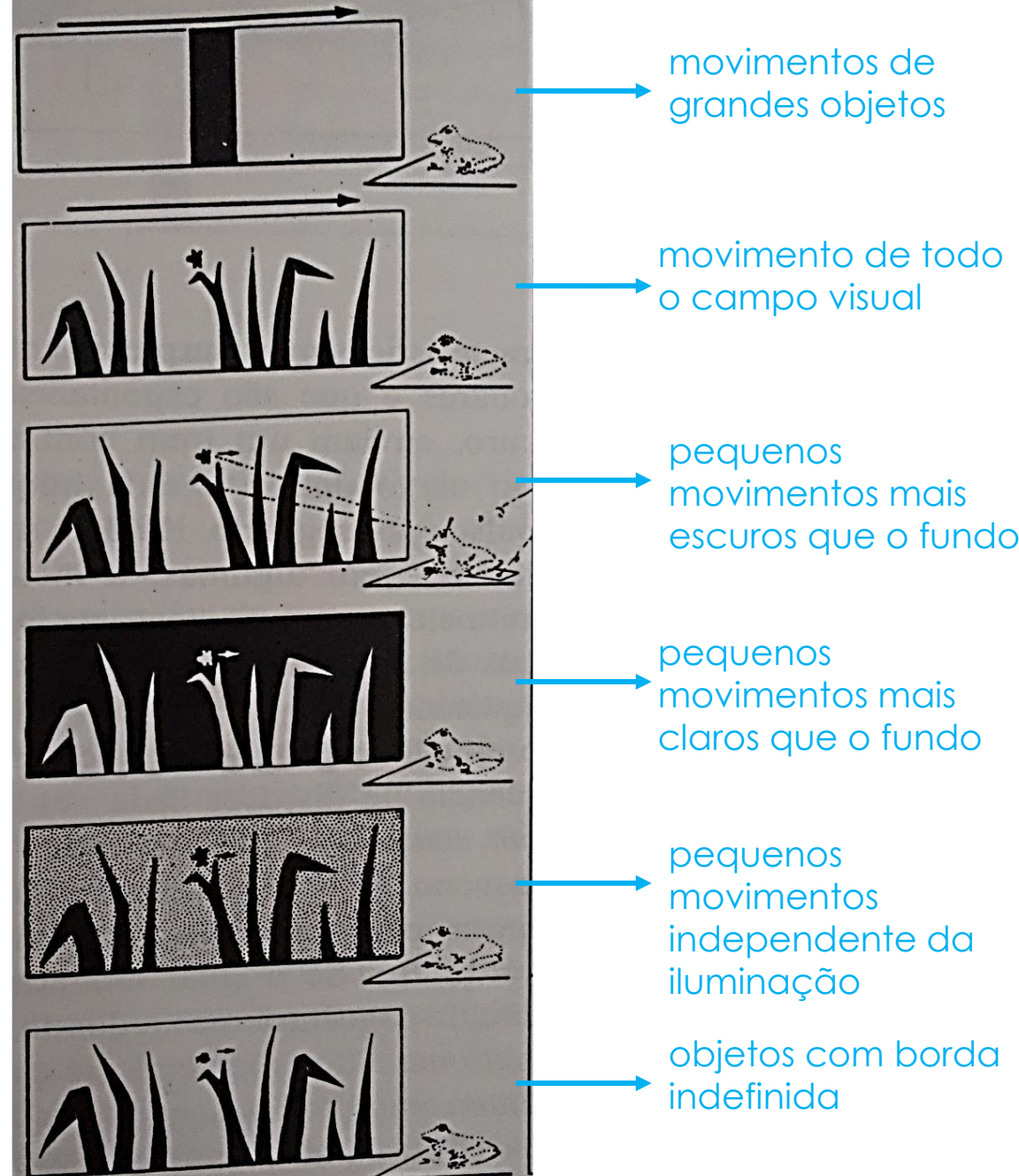


## Rãs

- **Olho sem fóvea**
  - **fibras on** (respondem início da iluminação)
  - **fibras off** (final da iluminação)
  - **fibras on-off** (início e final da iluminação)
  - **fibras detectoras de insetos**
  - **receptores de borda**
    - estacionário
    - em movimento



Retina: análise dos sinais visuais

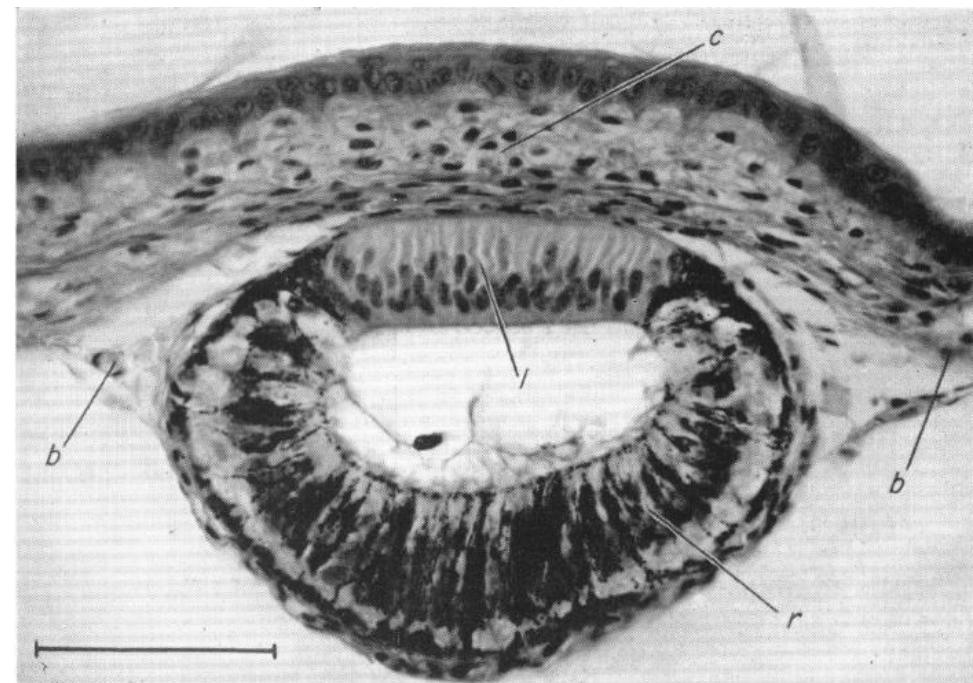
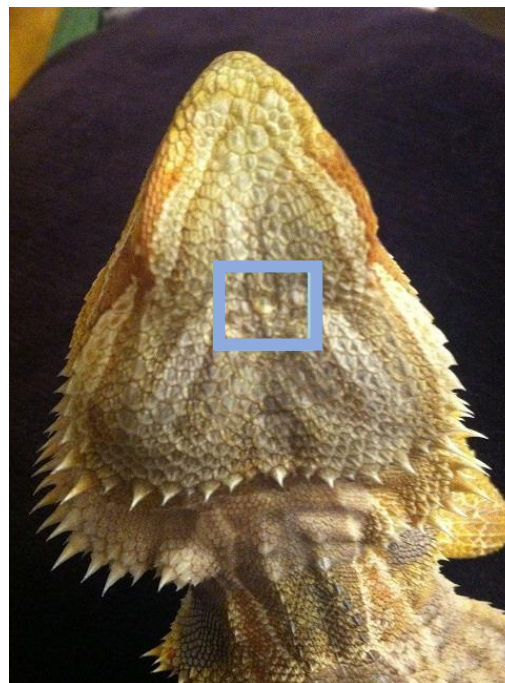
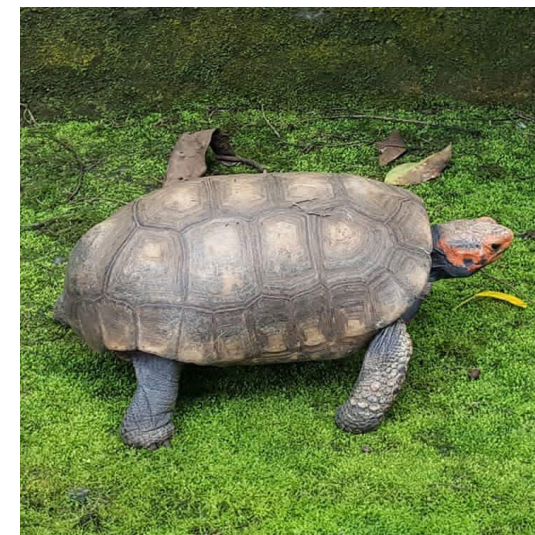


## Répteis

- cristalino flexível
- acuidade visual variável

## Lagartos

- olho parietal
  - corpo pineal → regulador do tempo de atividades



## Camaleão

- pálpebras fundidas (controle separado dos olhos)
- ótima focalização ( $180^\circ$  - move o olho em todas as direções)
- acomodação visual rápida
- fóvea desenvolvida (como aves de rapina)



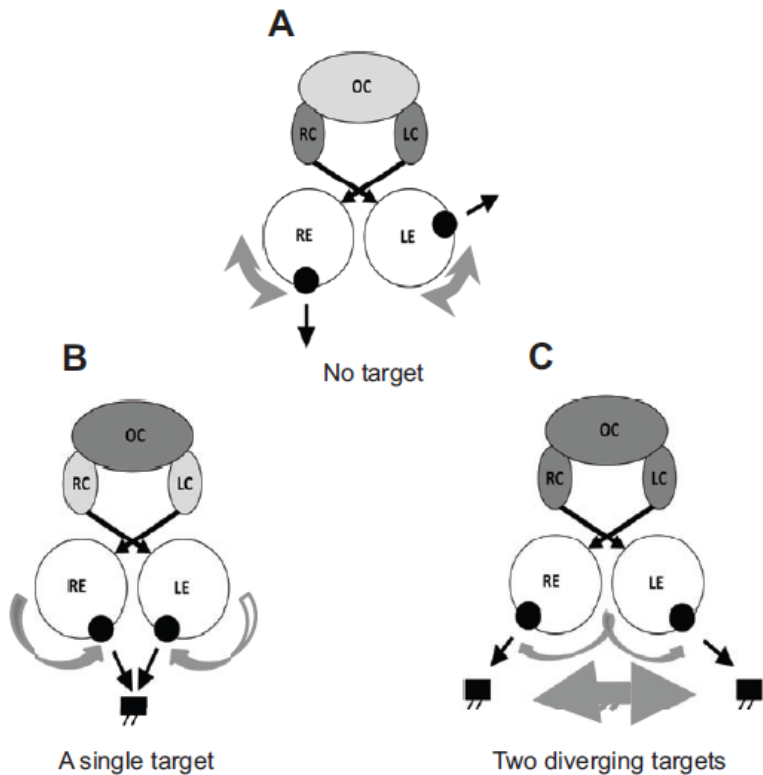


Fig. 9. A model for context dependence of eye movements in the chameleon. The model depicts the chameleon's capacity to switch between different patterns of eye movements under differing target conditions. (A) When scanning the environment without a specific target, eye movements are disconjugate. (B) When fixating a single moving target, the eyes converge binocularly and move in a coordinated manner at the gross level, yet show disconjugate patterns at the fine level of steady and steps. (C) When faced with two targets moving in opposite directions, each eye fixates monocularly on one of the targets. The eyes move in a conjugate manner at the gross level and show disconjugate patterns at the fine level. The frequency and duration of fine eye movements show a high coordination between the two. The model assumes a motor control over the separate monocular controls of the eyes. RE, right eye; LE, left eye; RC, right eye motor control; LC, left eye motor control; OC, overall motor control; solid rectangle, prey. Low and high levels of activation of the motor controls are depicted by light and dark gray, respectively; gray arrows indicate eye movements, black arrows indicate gaze direction.

**Olhos dos camaleões** - podem enxergar em duas direções ao mesmo tempo. As pálpebras superiores e inferiores são unidas, formando um dispositivo circular com apenas uma abertura suficiente para a pupila funcionar.

Olhos podem rodar separadamente, focar dois objetos diferentes simultaneamente, o que permite que os olhos se movam independentemente um do outro, vantagem contra predadores.

Estudo (J. Exp. Biol.) mostrou que o olhar do camaleão não é tão autônomo assim: cada um dos olhos sabe o que o outro vê, e assim coordena seu movimento.

Ketter Katz, H. et al. (2015). Eye movements in chameleons are not truly independent – evidence from simultaneous monocular tracking of two targets. J. Exp. Biol. 218, 2097-2105.

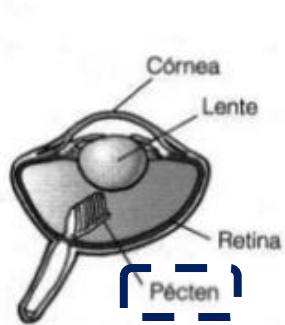
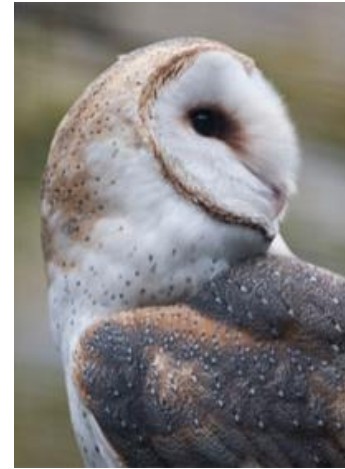


Photo credit: Idan Shapira.

# Aves

- **olhos grandes**

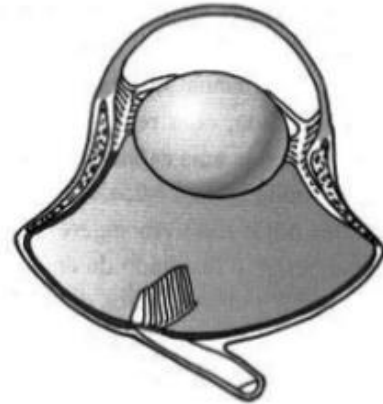
- aves de rapina → 15% do peso da cabeça



Típico: achatado



Falcões: Globular

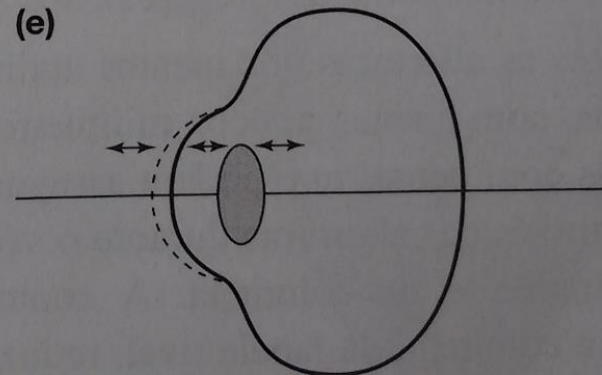
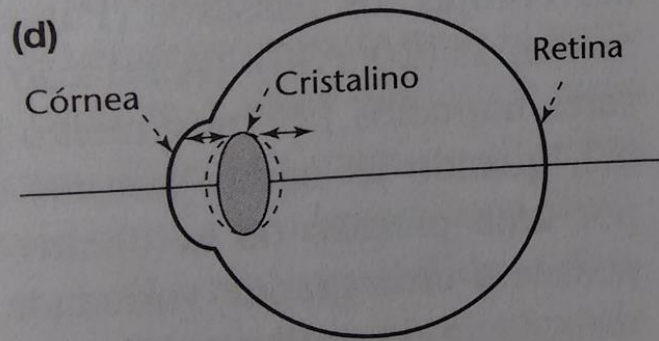
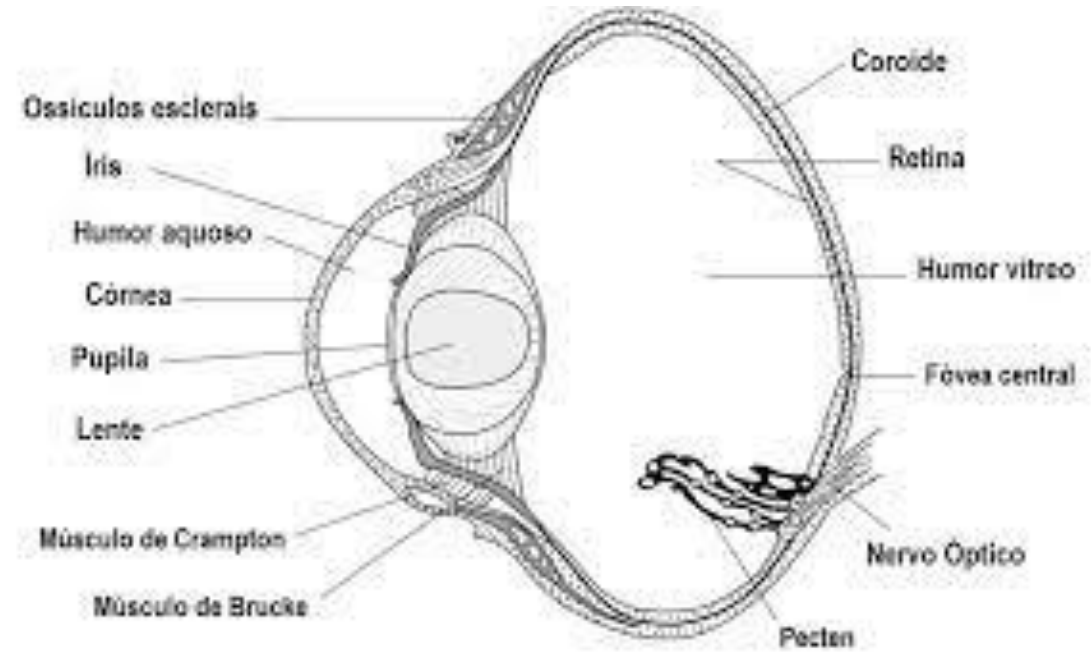


Corujas e algumas águias: Tubular



Pecten – capilares envoltos por tecido pigmentado (não se sabe função – redução da claridade/ponto de referencia visual?)

- Focalização:
  - músculos ciliares
  - músculos de Brucke e de Crampton



- maior quantidade de fotorreceptores (3x mais que os humanos)
- midríase e miose voluntárias
- lentes flexíveis (córnea e cristalino) – foco mais rápido
- visão ultravioleta (4º pigmento) – beija-flor (flores), pombos e aves de rapina (urina)





## Visão ultravioleta nas aves

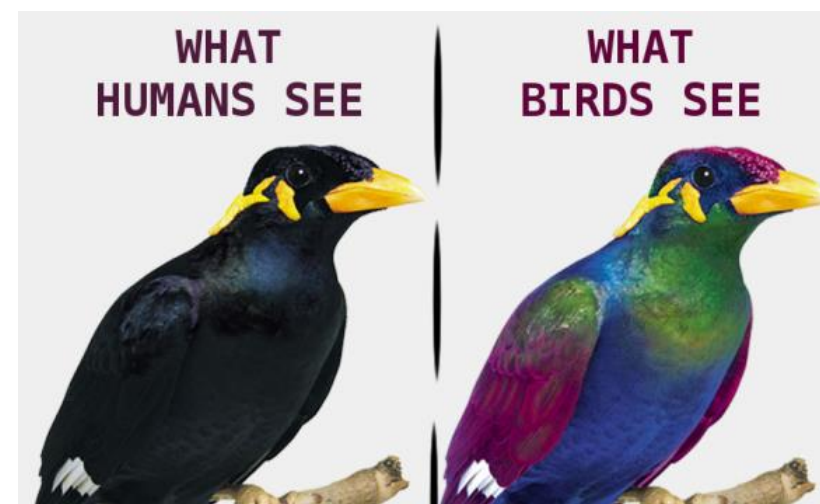
- alimentação
- navegação
- reprodução



## Radiação UV – Vit D

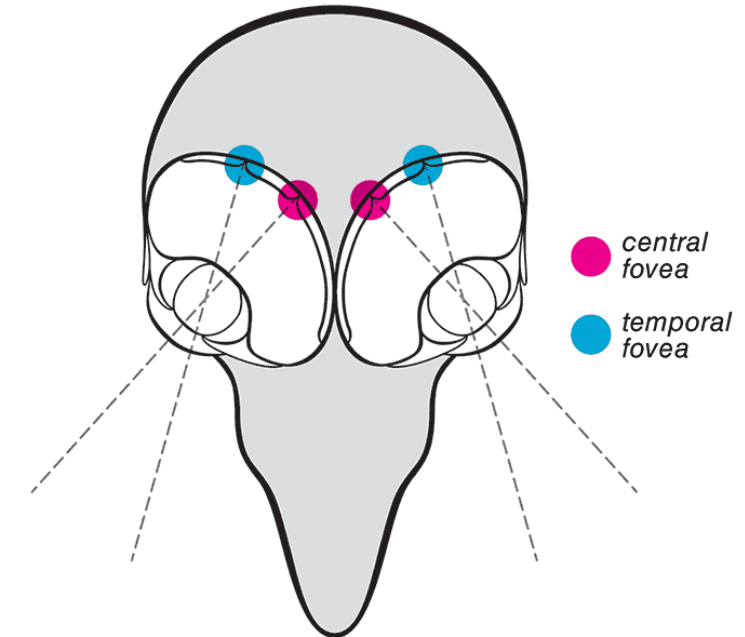
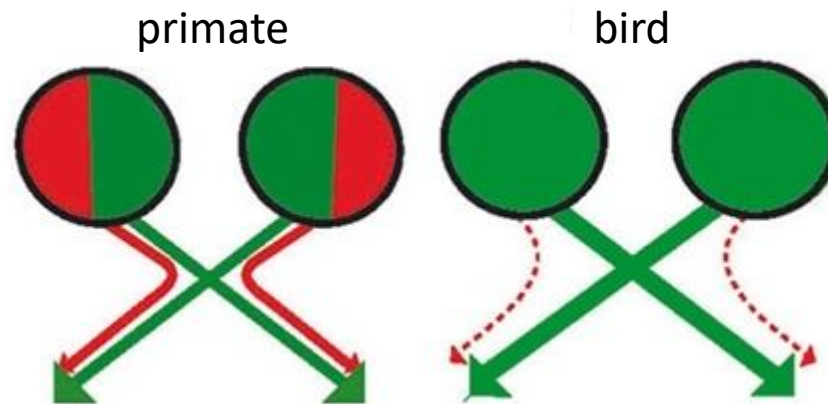
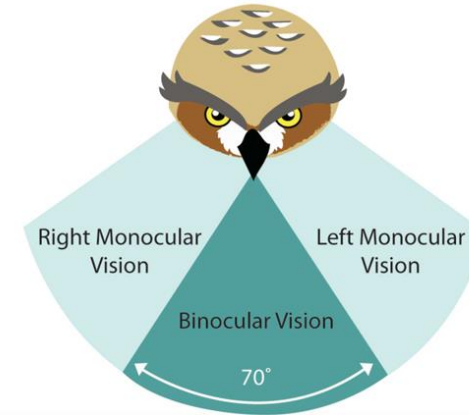


Glândula uropigial – impermeabilizante das penas + pré vitamina D – absorção da radiação UV e percepção pelas aves – diferenciação de machos e fêmeas



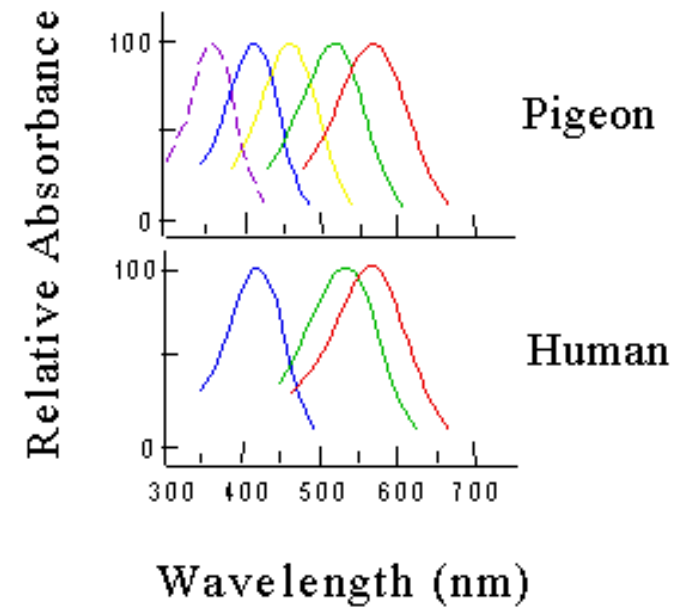
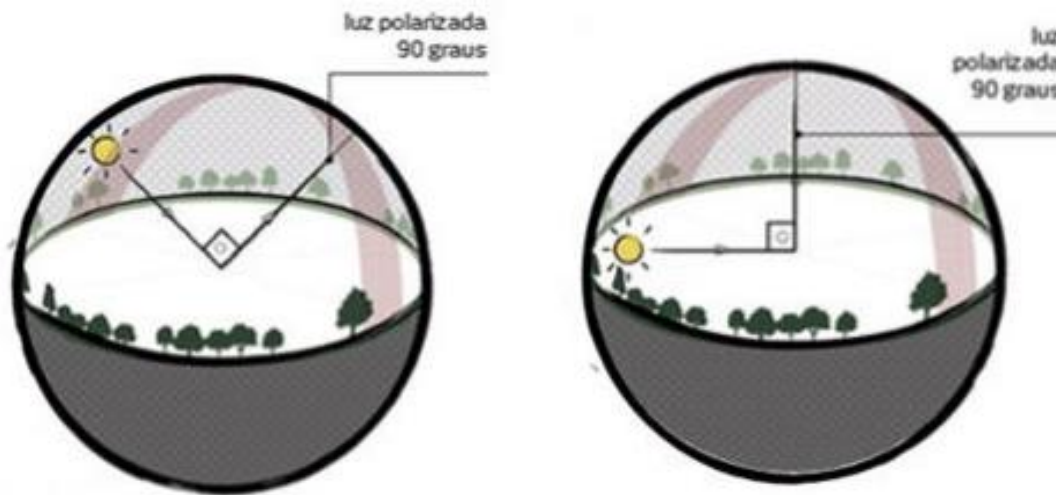
## Aves de rapina

- olhos anteriores
  - manobras e ataques
- duas fóveas
- maior quantidade de cruzamentos no quiasma
- diurnas → cores/ultravioleta
- noturnas → monocromatas



# Pombos

- visão penta cromática
- luz polarizada

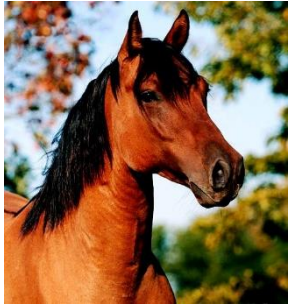


Luz polarizada em pombos – junto com a audição infrassom, partículas de ferro no bico (bússola), **luz UV do sol** fornece informações naturais, aumentando a capacidade de orientação → pombos correios



# Mamíferos

- sensibilidade visual > acuidade visual



Trichromatic view  
(blues, greens, and reds)



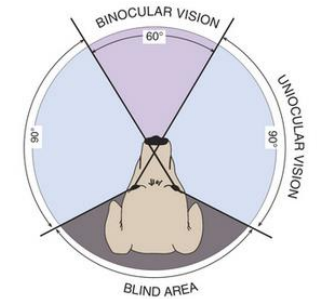
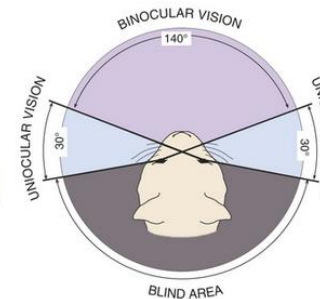
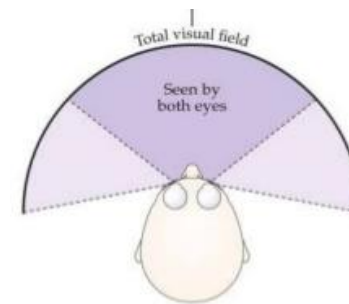
Dichromatic view  
(only blues and greens)



Monochromatic view  
(no blues, greens, or reds)

# Caninos e Felinos

- visão dicromática
- não possuem fóvea
- visão noturna
- visão periférica



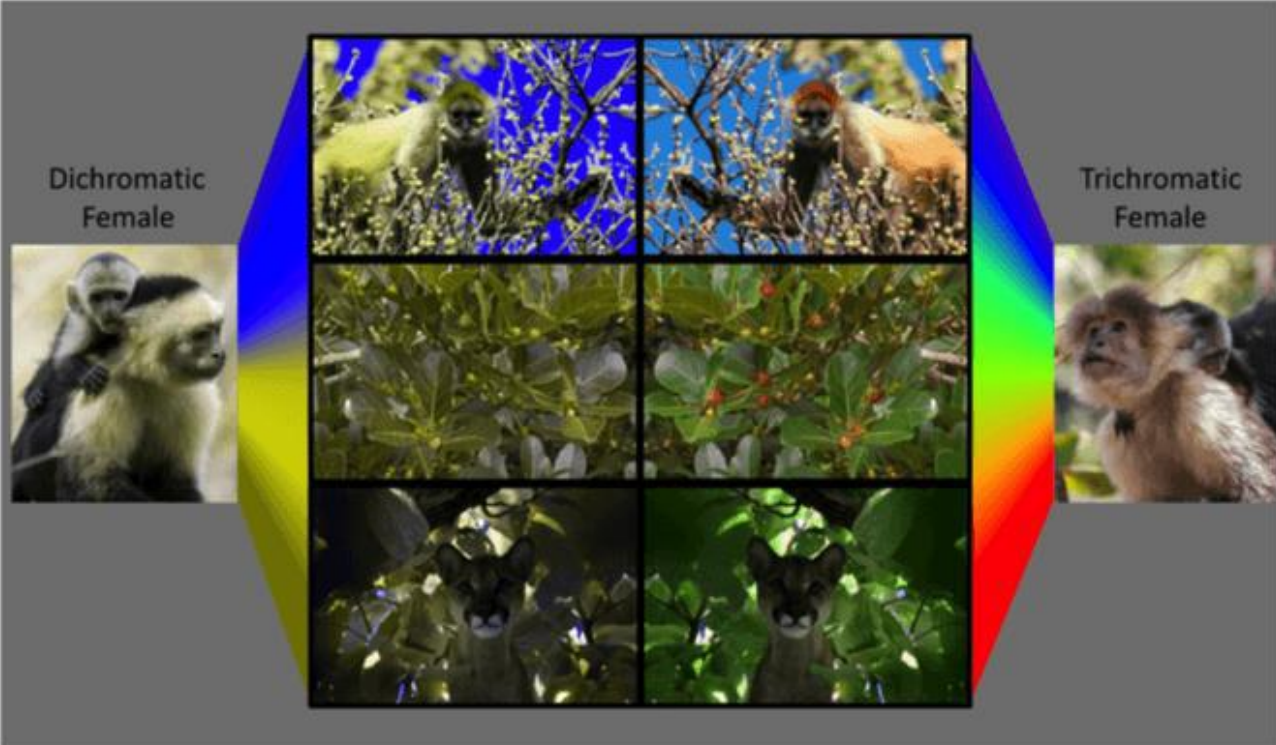
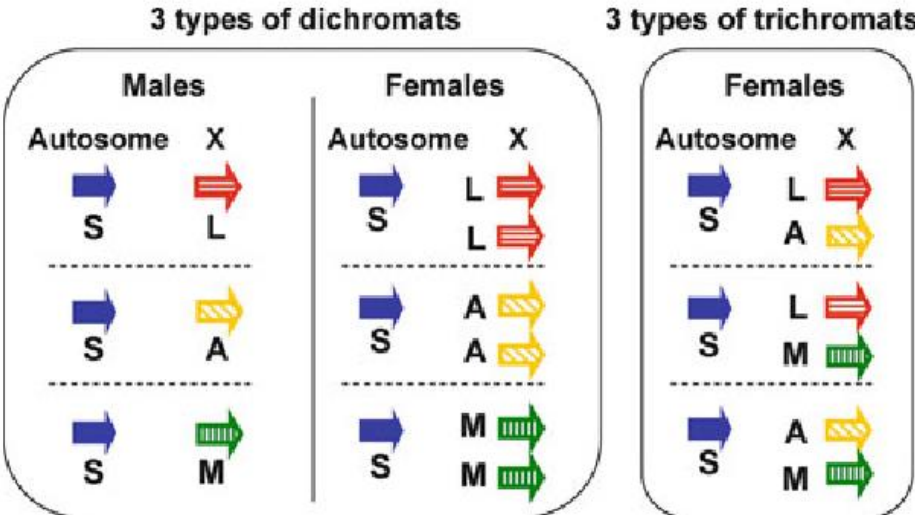
# *Aubentonia madagascarienses*

- visão azul, quase ultravioleta
- encontrar comida?



# Macacos do novo mundo

- visão
  - herança ligada ao sexo

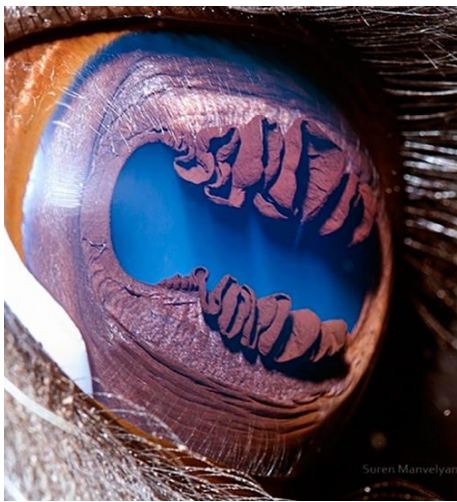


## Ratos

- movimentos oculares durante a corrida, direções opostas, vertical e horizontal;
- não há uma única imagem, mas o espaço acima deles fica à vista.



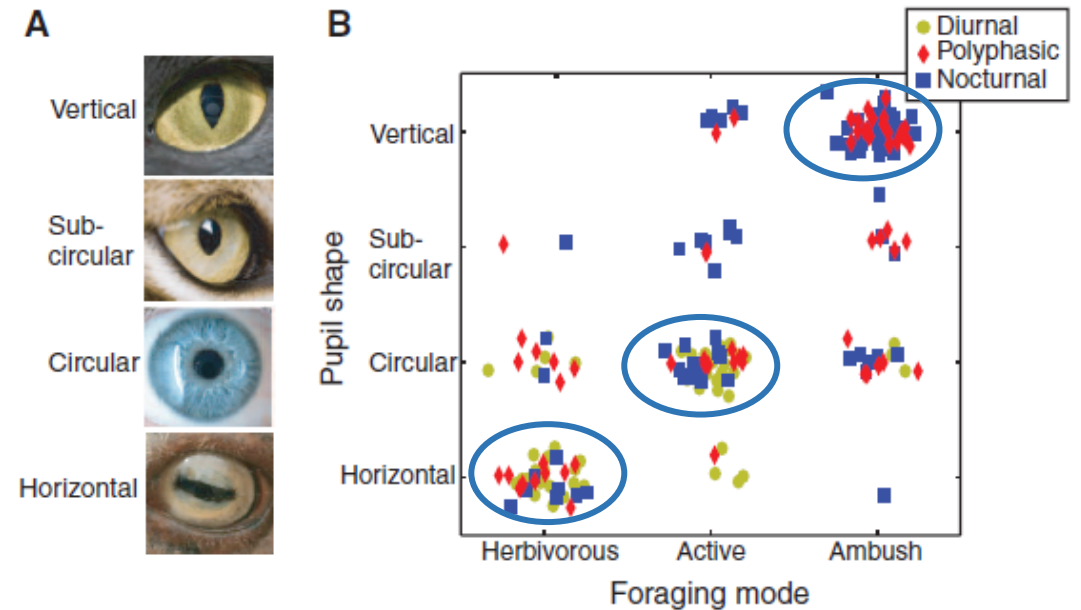




- pupilas horizontais: presas
  - visão panorâmica
- pupilas verticais: predadores
  - profundidade
  - distância



- pupilas redondas: predadores maiores
  - distância
  - visão panorâmica



JAN	09	T		<p>Tema 1 – Visão nos peixes/animais aquáticos (x alunos)</p> <p>Tema 2 – Visão nas cobras (x alunos)</p> <p>Tema 3 – Visão nos insetos/invertebrados (x alunos)</p>
	13	T	30 alunos – 8 trios + 3 grupos de 2 (11 seminários)	<p>Tema 4 – Audição nos morcegos (x alunos)</p> <p>Tema 5 – Audição nos golfinhos (x alunos)</p> <p>Tema 6 – Circulação: Girafa (x alunos)</p>
	16	T		<p>Tema 7 – Chernobyl: consequências na saúde da população (x alunos)</p> <p>Tema 8: Chernobyl: consequências ecológicas (x alunos)</p> <p>Tema 9 – Acidente nuclear de Fukushima (x alunos)</p>
	20	T		<p>Tema 10 – Acidente nuclear de Goiânia (x alunos)</p> <p>Tema 11 – Radiação UV - Benefícios e riscos - Filtros solares (x alunos)</p>