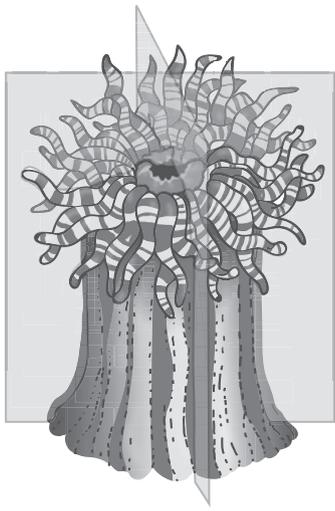
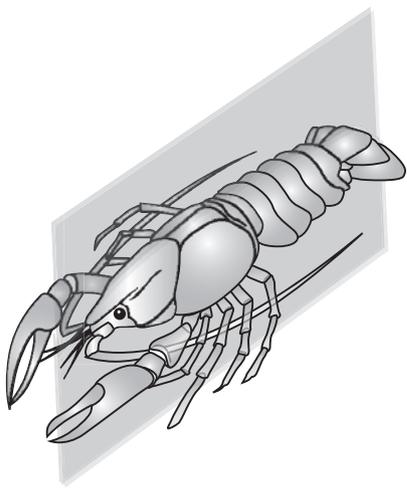


CAPÍTULO 3



Arquitetura Animal

Neste capítulo vamos **definir** o significado de plano de corpo, **diferenciando** protistas e animais simétricos de assimétricos. **Observando** os tipos de simetria, podemos **distinguir** grandes grupos zoológicos. Vamos **avaliar** a diferenciação celular, a formação das camadas germinativas e seu impacto na arquitetura animal, podendo assim, **destacar** os graus dos metazoários. **Analisando** as cavidades corporais **distinguiremos** três graus de complexidade dos eumetazoários triploblásticos.

A enorme diversidade observada na arquitetura, estrutura e funcionamento de um animal pode ser reduzida a um número de tópicos (temas) básicos facilmente compreensíveis.

O estudo da arquitetura animal não pode ser resumido apenas aos aspectos da forma e estrutura, como uma planta baixa de uma construção biológica. O estudo da arquitetura animal inclui tanto a variação estrutural quanto seus limites arquitetônicos, juntamente com seus aspectos funcionais. Deste estudo emergem as definições dos táxons. Os principais planos de corpo definem táxons no nível de Filo. Os planos de corpo são um reflexo das “estratégias” evolutivas presentes na história de cada grande grupo animal. A arquitetura animal engloba tanto o sucesso adaptativo quanto as restrições que operam desde o nível celular, passando pelo nível de tecidos e sistemas de órgãos, até o nível de organismo.

3.1 Bases da arquitetura de um animal

Todo animal necessita **adquirir, digerir e metabolizar o alimento**. Subsequentemente, **distribui** o produto útil da digestão para todas as partes do corpo. Precisa, também, obter **oxigênio** para os vários processos metabólicos. Por fim, necessita **eliminar restos metabólicos e materiais não digeridos**.

Apesar das estratégias de sobrevivência serem muito variadas, elas são baseadas em poucos princípios físicos, químicos e biológicos. Dentro das restrições impostas pelos planos de corpo particulares herdados, os grupos de animais têm um número limitado

de opções disponíveis para realizar as **funções vitais**. Entretanto, vamos ressaltar que a arquitetura é baseada na evolução das respostas adaptativas em níveis que transcendem as condições básicas para a **sobrevivência do indivíduo**. Desta forma, a arquitetura guarda relações com as condições mais complexas da **sobrevivência da espécie**, evoluindo num sistema simbiótico com todos os elementos que suportam a vida na terra!

Numa visão simplificada, vamos analisar o **transporte** de substâncias num organismo. A **difusão** é o princípio físico básico para esta função. Entretanto, a difusão é **restrita** a pequenas distâncias. Qual relação entre a distribuição de substâncias e o tamanho de um corpo? Observemos que o limite da difusão é uma séria restrição ao crescimento corporal. O desenvolvimento de uma cavidade gastrovascular nos Cnidaria é uma resposta evolutiva a esta restrição (Figura 3.1). De forma um pouco diferente, o desenvolvimento de um intestino ramificado nos Platyhelminthes também é uma resposta que criou uma solução para a restrição da difusão para o transporte a longa distância (Figura 3.2).

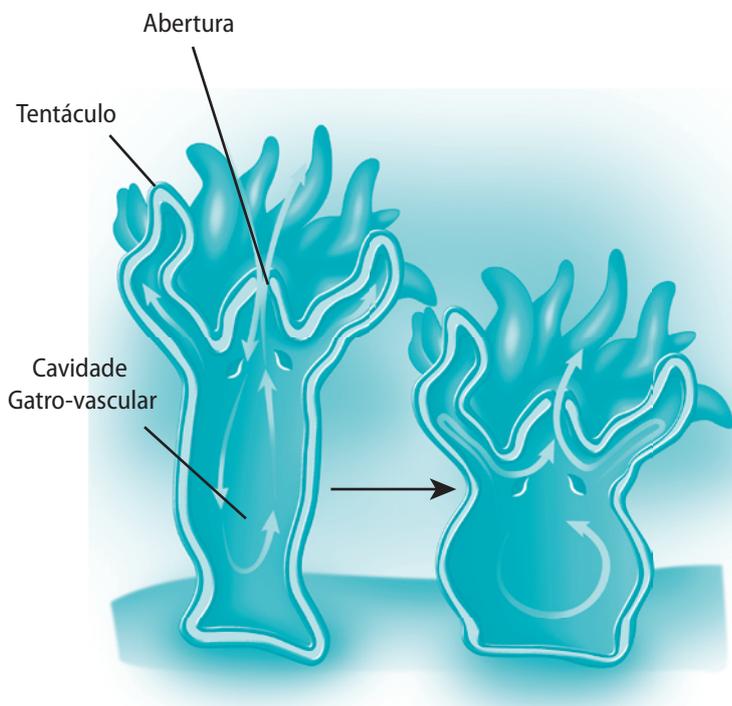


Figura 3.1 – Cavidade gastrovascular. As setas mostram a circulação de água provocadas pelas contrações do pólipo. A circulação de água na cavidade gastrovascular promove o transporte interno suplantando a restrição da difusão.

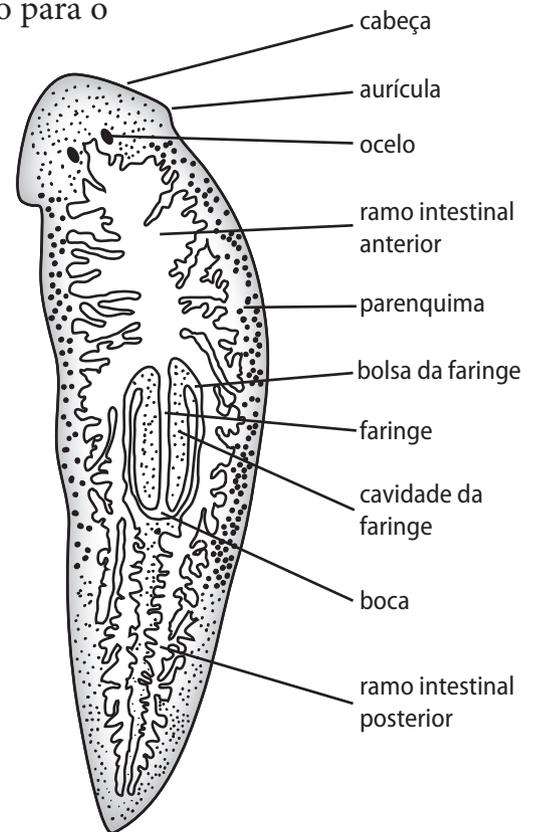


Figura 3.2 – Intestino de uma planária (Platyhelminthes: Turbellaria).

3.2 Aspectos da arquitetura animal

O primeiro conceito estudado pela arquitetura animal que está relacionado com a forma do corpo é a **simetria**. O segundo conceito estudado é a **diferenciação celular** e a formação de **camadas germinativas** que está relacionado com o crescimento do corpo e a complexidade estrutural.

3.2.1 Simetria

Os animais podem ser imaginariamente divididos por um ou mais **planos de simetria**. Um plano de simetria é aquele que ao “cortar” um animal divide-o em duas metades **especulares**. Metades especulares são aquelas onde uma se parece a imagem da outra no espelho. Duas metades especulares são ditas **metades simétricas**. Seres vivos que podem ser “cortados” por pelo menos um plano de simetria são chamados simétricos. Quando isto não ocorre, são chamados de assimétricos. Entre os protistas, as amebas (Rhizopoda) são um bom exemplo de seres assimétricos (Figura 3.3A). Entre os animais, existem muitas espécies de esponjas (Porifera) que são assimétricos (Figura 3.3B).

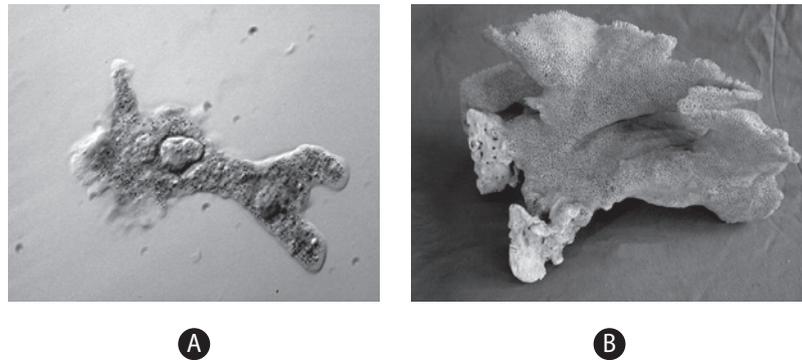


Figura 3.3 – Seres vivos assimétricos. A – Rhizopoda. B – Esponja do mar.

3.2.2 Tipos de simetria

Simetria esférica

A simetria esférica ocorre quando a forma do corpo de um organismo guarda relação com a figura geométrica de uma esfera.

Neste caso, podemos encontrar um número ilimitado de planos de simetria. Praticamente, todos os planos que passarem pelo ponto central do corpo serão planos de simetria.

A simetria esférica está associada às espécies sésseis ou planc-tônicas como os protistas actinópodes radiolários e heliozoários (Figura 3.4).

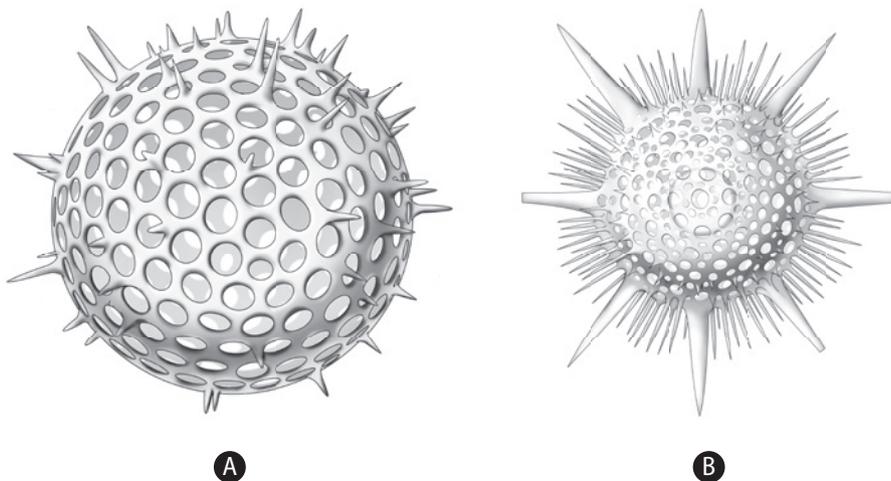


Figura 3.4 – Protista Actinopoda A – Radiolário). B – Heliozoário

Seres vivos com simetria esférica compartilham um estado de caráter com os seres assimétricos: a ausência de polaridade. A ausência de polaridade é caracterizada pela falta de diferenciação clara ao longo de um eixo. Por outro lado, em outras formas simétricas (radial e bilateral) há sempre algum nível de polaridade (presença de eixo). Com a polaridade surgem as especializações de regiões do corpo e suas estruturas.

Simetria radial

A simetria radial tem o cilindro como forma geométrica básica (figura 3.5). A forma cilíndrica possui um eixo principal pelo qual passam vários planos de simetria. Uma polaridade é evidenciada através das duas pontas desse eixo principal. Quando o animal tem boca, destacam-se duas superfícies: oral (no lado da boca) e aboral (no lado oposto da boca).

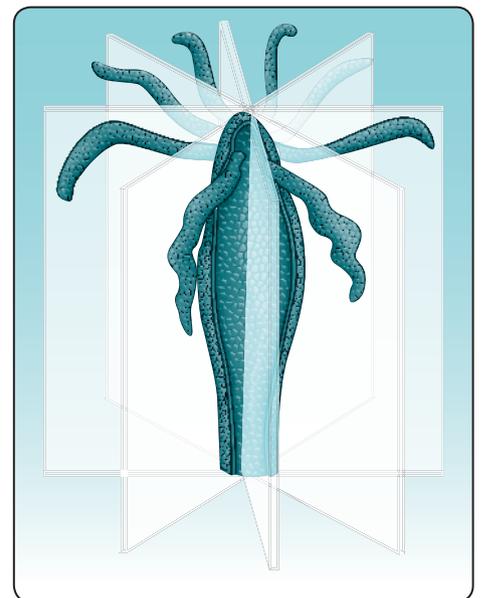


Figura 3.5 – Simetria radial de pólipos de Cnidaria

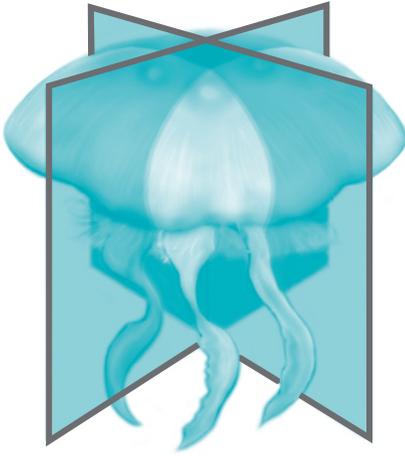


Figura 3.6 – Simetria radial de medusas.

Os animais radialmente simétricos confrontam o ambiente em várias direções. As estruturas de captura de alimento (tentáculos e braços orais) e órgãos sensitivos estão dispostos radialmente, cobrindo todas as direções em 360 graus (figura 3.6). Dependendo do número de planos, a simetria radial pode ser: birradial, tetrarradial, pentarradial e multirradial.

A **simetria birradial** ocorre devido a especializações regionais que deformam o cilindro, permitindo somente dois planos de simetria radial. A simetria birradial é encontrada em cnidários como as anêmonas-do-mar (Anthozoa) e em ctenóforos (Figuras 3.7 e 3.8).



Figura 3.7 – Simetria birradial de anêmona-do-mar

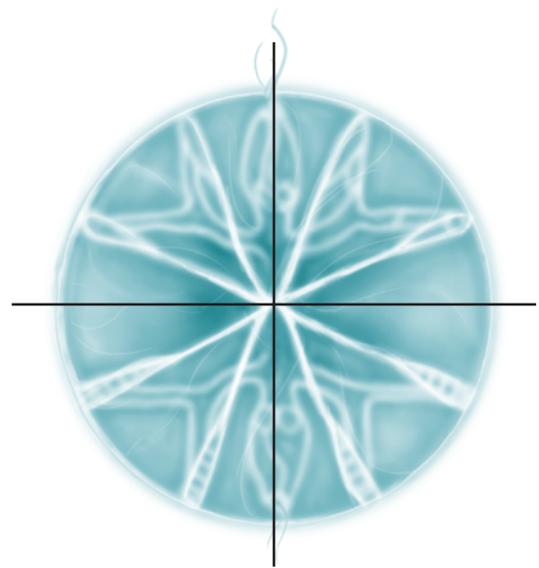
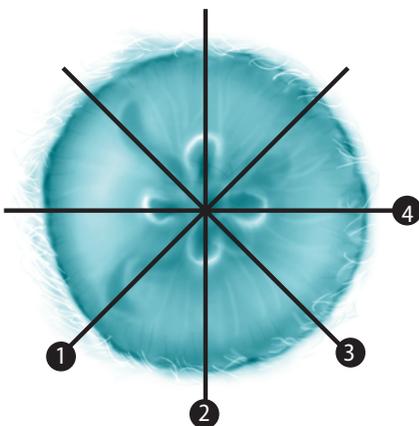


Figura 3.8 – Simetria birradial de um Ctenóforo. O esquema destaca os dois planos de simetria radial em corte transversal.



A **simetria tetrarradial** é caracterizada pela presença de apenas quatro planos de simetria. Típico de muitas medusas (Scyphozoa e Cubozoa), a simetria tetrarradial se deve à forma quadrangular e/ou à distribuição dos órgãos em quatro setores (Figuras 3.9).

Figura 3.9 – Uma cifomedusa em vista oral. As linha de 1 a 4 mostram os planos de simetria em corte transversal.

A **simetria pentarradial** é definida por cinco planos de simetria. Este tipo de simetria é encontrado na maioria dos equinodermos (figura 3.10).

A **simetria multirradial** ocorre quando há um número definido de muitos planos de simetria. Existem muitas estrelas-do-mar (Echinodermata: Asteroidea), esponjas-do-mar (Porifera), hidroides e hidromedusas (Cnidaria: Hydrozoa) que possuem simetria multirradial.

Simetria bilateral

A **simetria bilateral** ocorre quando há apenas um único plano de simetria possível. Este plano é denominado de **plano sagital** e divide o animal e duas metades simétricas sendo uma o lado direito e outra o lado esquerdo do corpo (figura 3.11).

A simetria bilateral é típica de animais com **mobilidade** controlada e tem como característica uma dupla polaridade definida pelos eixos anteroposterior e dorsoventral.



Figura 3.10 – Uma estrela do mar (Echinodermata) exemplificando a simetria pentarradial.

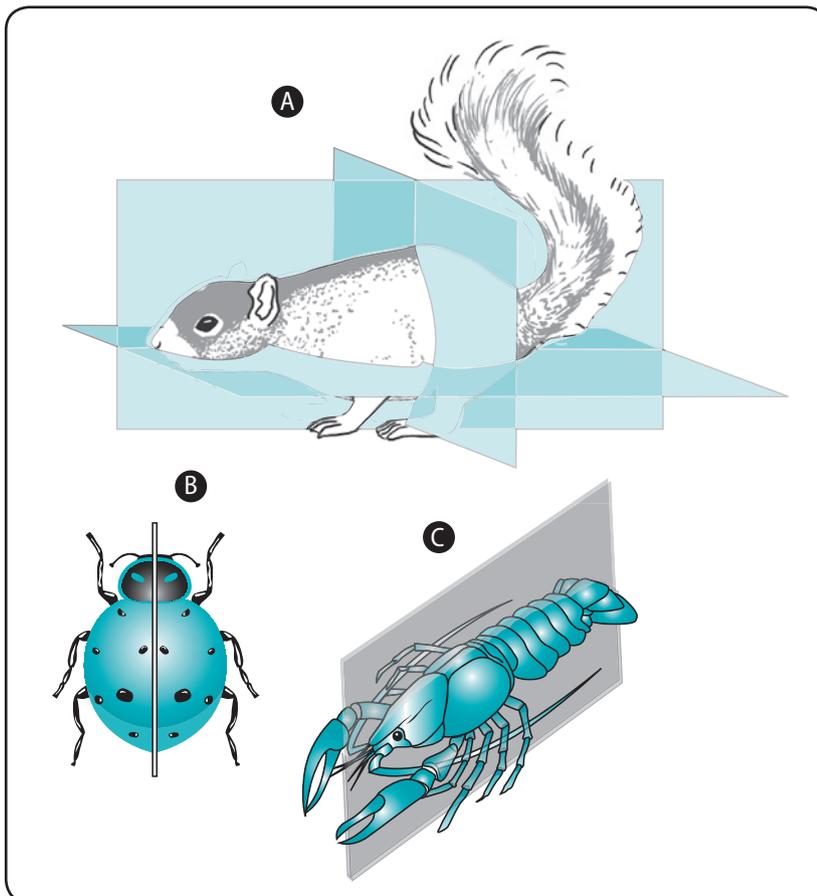


Figura 3.11 – Exemplos de simetria bilateral. (A) Plano frontal: não simétrico que separa os pólos ventral e dorsal; Plano transverso: não simétrico que separa os pólos anterior e posterior; Plano sagital: simétrico: separa os lados direito e esquerdo. (B) um inseto sendo cortado pelo plano sagital; (C) um crustáceo sendo cortado pelo plano sagital.

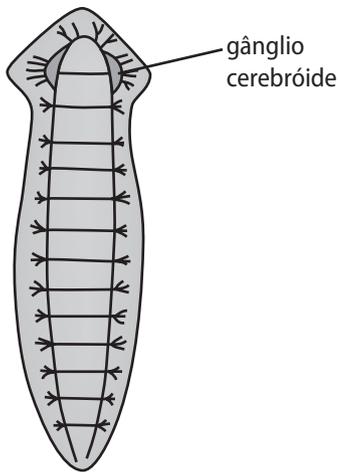
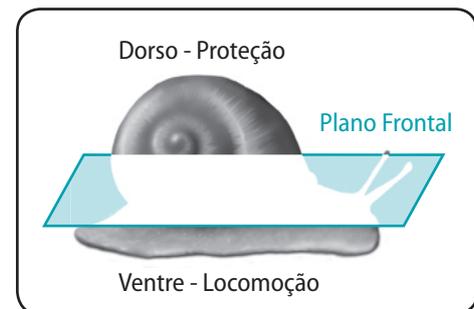


Figura 3.12 – Desenho esquemático de uma planária mostrando o sistema nervoso. Note que na região anterior formam-se dois gânglios cerebroides, uma das principais características da cefalização.

A diferenciação no eixo anteroposterior guarda relação com o hábito bentônico. Isto se deve ao movimento unidirecional, resultante dos movimentos de rastejar sobre o fundo, desenvolvido pelo ancestral dos animais bilaterais. Este tipo de movimento fez com que o animal recebesse os estímulos ambientais principalmente pela região anterior do corpo. Este fato é responsável pelo fenômeno da **cefalização**, isto é, da concentração de órgãos sensitivos na região anterior do corpo, o que leva a uma concentração anterior do sistema nervoso. Inicialmente a cefalização formou gânglios cerebroides (Figura 3.12). Esta tendência evolutiva levou os animais bilaterais a desenvolverem, progressivamente, cérebros cada vez mais complexos. O plano que divide o animal em metades anterior e posterior é denominado de **plano transverso** e não é simétrico.

A outra polaridade dos animais bilaterais é resultante da diferenciação dorsoventral. O desenvolvimento da simetria bilateral está relacionado como o movimento rastejante sobre o fundo. Consequentemente, define-se uma **superfície ventral**, voltada para o substrato e especializada da **locomoção**. No outro pólo, forma-se uma **superfície dorsal**, voltada para o meio e especializada na **proteção**. O **plano frontal** divide o corpo do animal em metades dorsal e ventral não simétricas (Figura 3.13).

Figura 3.13 – Esquema de um gastópode. Observe que o plano frontal divide o corpo deste animal em metade dorsal (especializada na proteção – concha) e metade ventral (especializada na locomoção – pé).



3.2.3 Graus de organização de Protista e Animalia com base em sua construção corporal

Os graus de organização podem ser definidos por quatro critérios: 1) número de células que compõem a unidade corporal; 2) diferenciação celular e formação de tecidos; 3) formação de camadas germinativas; 4) formação de cavidades corporais.

Tabela 3.1 – Graus de organização de Protista e Animalia de acordo com a construção de corpo

Grau Unicelular	Reino Protista			
Grau Pluricelular Reino Animalia (= <i>Metazoa</i>)	Grau Mesozoa	Filos Orthonectida, Rhombozoa e Placozoa		
	Grau Parazoa	Filo Porifera		
	Grau Eumetazoa (com tecido verdadeiro)	Grau Diploblástico (sem mesoderme) "Radiata" (simetria radial)	Filos Cnidaria e Ctenophora	
		Grau Tripoblástico (com mesoderme) "Bilateria" (simetria bilateral)	Grau Acoelomata (a única cavidade é a digestiva)	Filo Platyhelminthes
			Grau Blastocoelomata (blastocela persistente formando uma cavidade além da cavidade digestiva)	Filos Acanthocephala, Gastrotricha, Entoprocta, Gnathostomulida, Kinorhyncha, Loricifera, Nemata, Nematomorpha e Rotifera
Grau Eucoelomata (com celoma verdadeiro – cavidade mesodérmica)	Filos Nemertea, Phoronida, Ectoprocta, Brachiopoda, Sipuncula, Echiura, Mollusca, Priapula, Onychophora, Tardigrada, Annelida, Arthropoda, Echinodermata, Caetognatha, Hemichordata e Chordata			

- a) Os protistas são considerados seres vivos pertencentes ao **grau unicelular**. Estes organismos unicelulares chegam a atingir a organização colonial simples ou com diferenciação celular, porém nunca chegam a formar tecido verdadeiro.
- b) Por sua vez, os **Animalia (=Metazoa)** são considerados dentro do **grau pluricelular**. A presença de **tecido verdadeiro** é uma das principais características para definir o **grau pluricelular**, diferenciando-o de colônias de unicelulares. No entanto, encontramos uma hierarquia no acréscimo de complexidade estrutural dentro dos Animalia onde nem sempre encontramos o tecido verdadeiro. Este é o caso dos **graus "Mesozoa" e "Parazoa"** que só atingem o nível de pseudotecido, assemelhando-se aos protistas coloniais mais complexos. O nível de tecido verdadeiro só é atingido pelo **grau "Eumetazoa"**.

- **Tecido**
- Tecido é um agregado de
- células morfológicamente
- similares e organizadas para
- uma função particular.

Não há sinapomorfias, isto é, não existe hipótese sustentada para um ancestral comum exclusivo – veja capítulo 2.

- c) O grau “**Mesozoa**” é composto por animais sem tecidos verdadeiros. Apresentam apenas tecidos incipientes, isto é, com diferenciação celular incompleta. Os mesozoários apresentam os primórdios do desenvolvimento embrionário chegando no máximo ao estágio de blástula (figura 3.14). Cabe destacar que os mesozoários não formam um grupo natural, isto é, “Mesozoa” é um **grupo polifilético**. São animais pouco conhecidos e não são estudados no ensino médio. Os mesozoários estão aqui representados pelos Filos Placozoa, Rhombozoa e Ortonectida.

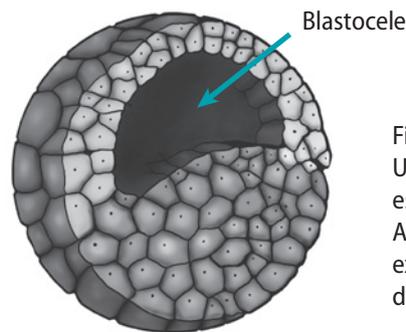


Figura 3.14 – Esquema da fase de blástula. Uma única camada de tecidos caracteriza esta fase do desenvolvimento embrionário. A figura mostra uma celoblástula onde existe a formação de uma cavidade interna denominada de blastocele.

- d) O grau “**Parazoa**” é também composto por animais sem tecido verdadeiro. Apresentam muitos pseudotecidos, conferidos pela diferenciação incompleta. Os parazoários diferenciam-se dos mesozoários por possuírem, comparativamente, uma grande complexidade estrutural. Os parazoários têm uma arquitetura definida por um sistema intrincado de canais internos e várias camadas com tipos de pseudotecidos diferentes. Os parazoários diferenciam-se dos mesozoários por possuírem um desenvolvimento embrionário que pode ultrapassar ao estágio de blástula. Dois **padrões ontogenéticos** podem ser observados. No desenvolvimento embrionário mais simples, ocorre uma inversão da blástula, o que, literalmente, vira o embrião do avesso, formando a larva **anfibrástula** (figura 3.15). A partir da inversão é difícil encontrar uma ontogenia típica. O outro padrão ontogenético encontrado nestes animais é comparável ao padrão **diploblástico**, originado de uma gastrulação que formará uma larva chamada de **parenquímula**. O Filo Porifera (figura 3.16-A) é o único representante vivo dos parazoários. Existe um grupo totalmente fóssil que tem uma arquitetura de parazoário, o Filo Archaeocyatha (Figura 3.16-B).

Padrões ontogenéticos
Padrões de desenvolvimento embrionário.

Diploblástico
Com gastrulação típica formando dois folhetos embrionários.

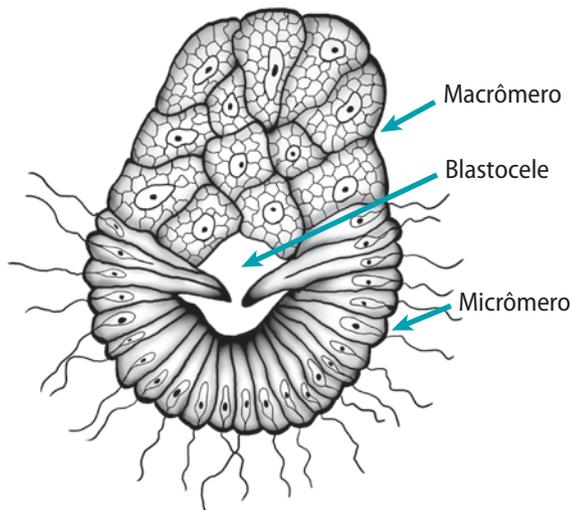


Figura 3.15 – Desenho esquemático da Larva Anfibrástula. Esta larva é o resultado da inversão da blástula. Observe que a blastocele ainda está persistente, mesmo após a inversão. Os macrômeros são células embrionárias maiores e os micrômeros (flagelados) são células embrionárias de menor tamanho.

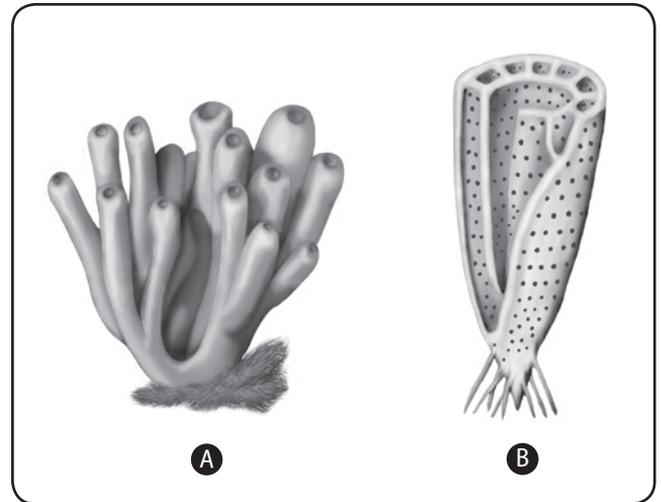


Figura 3.16 – (A) Porifera, único Filo vivo dos parazoários. (B) Achaecyatha, Filo extinto, interpretado como um parazoário.

- e) O grau “**Eumetazoa**” é composto por animais que se desenvolvem através de estádios ontogenéticos típicos, onde a **gastrulação** (figura 6.7 – capítulo 6) está sempre presente. O desenvolvimento embrionário dos eumetazoários leva à formação de camadas de tecidos verdadeiros. Os eumetazoários encontram-se divididos em dois graus, definidos pelo número de folhetos embrionários: **animais diploblásticos** e **animais triploblásticos**.
- f) Os animais **diploblásticos** apresentam dois folhetos embrionários: a **ectoderme** (camada externa) e a **endoderme** (camada interna). Dois grupos de animais são diploblásticos, os filos Cnidaria e Ctenophora. Estes animais diploblásticos têm simetria radial. Devido à restrição de possuírem apenas dois folhetos embrionários, estes animais radiados têm um potencial de diferenciação limitado.
- g) Os animais **triploblásticos** formam uma camada intermediária entre a endoderme e a ectoderme chamada **mesoderme**, derivada da endoderme. O embrião triploblástico tem potencial de diferenciação maior, formando grupos de arquitetura

sofisticada. Os triploblásticos têm sempre simetria bilateral e são subdivididos em três níveis de complexidade estrutural, dependendo do tipo de cavidade corporal: grau Acoelomata, grau Blastocoelomata (=Pseudocoelomata) e grau Eucoelomata.

- h) Os animais acelomados, **grau Acoelomata**, não possuem cavidade corporal além do aparelho digestório. Isto lhes confere uma estrutura simplificada. Atualmente, só existe um grupo de organismos acelomados, o Filo Platyhelminthes, formado pelos vermes planos.
- i) Um número um pouco maior de animais possuem uma cavidade corporal além do aparelho digestório. Entretanto, esta cavidade não é um celoma verdadeiro e por isso, foi inicialmente chamada de **pseudoceloma**. Nos últimos anos, as pesquisas científicas têm revelado que este pseudoceloma é um resquício de **blastoceloma embrionária** (figura 3.14) que permanece na forma adulta e, por esta razão, passou a ser chamada de blastoceloma. Os animais com blastoceloma são denominados de blastocoelomados (antes chamados de pseudocoelomados) e formam o **grau Blastocoelomata** (antes chamado de Pseudocoelomata).
- j) A grande maioria dos animais possui um celoma verdadeiro (**euceloma**) e formam o **grau Eucoelomata** ou animais eucelomados. O celoma é uma cavidade corporal que se forma na mesoderme (o terceiro folheto embrionário).

Os graus de organização aqui descritos vão definir os **rumos da arquitetura dos protistas e de cada grande grupo animal**. Nos capítulos subsequentes serão descritas as arquiteturas dos grupos enfocados neste livro, com foco na estrutura relacionada com as seguintes funções básicas para a sobrevivência:

1. Locomoção e suporte;
2. Mecanismos de alimentação;
3. Excreção e osmorregulação;
4. Circulação e trocas gasosas;
5. Sistema nervoso, órgãos dos sentidos, sistema hormonal e feromônios;
6. Reprodução.

Pseudoceloma

pseudo = falso + celoma.

Blastoceloma embrionária

Cavidade cheia de líquido que se forma durante o estágio de blástula, durante a ontogenia.

Resumo

A arquitetura animal resume padrões de forma, estrutura e sua relação com o funcionamento do organismo. A arquitetura exprime as estratégias evolutivas dos grandes grupos zoológicos com suas principais novidades evolutivas (avanços e restrições). Táxons de categorias superiores (Filo e Classe) são definidos por seus padrões arquitetônicos. Os principais aspectos estudados são: a simetria, o desenvolvimento embrionário (formação de camadas germinativas) e a presença de cavidades corporais. A simetria guarda relação com a forma do adulto. Por sua vez, o desenvolvimento embrionário e a formação de cavidades guardam relação com a estrutura e a complexidade atingida. Os “Radiata” são diploblásticos, o que limita seu potencial de desenvolvimento. Os “Bilateria” são triploblásticos e formam um grande grupo diverso, com espécies que atingem grande complexidade. Pelos graus de organização corporal podemos distinguir: Protista (grau unicelular) de Animalia (grau pluricelular). Os animais podem ser separados em três graus: Mesozoa, Parazoa e Eumetazoa. Os Eumetazoa, por sua vez, podem ser separados em Diploblásticos e Triploblásticos. O grau Triploblástico pode ser ainda subdividido em: Acoelomata, Blastocoelomata (Pseudocoelomata) e Eucoelomata. A arquitetura dos protistas e dos animais é descrita em cada grande grupo (Táxons em nível de Filo) baseada nas principais funções para a sobrevivência destes seres vivos.

Bibliografia

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. **Invertebrates**. Sunderland: Sinauer Associates, 2003.

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados**. São Paulo: Roca, 2006.