

Nelson Ferreira Junior
Paulo Cesar de Paiva

Introdução à Zoologia





Fundação

CECIERJ

Consórcio **cederj**

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

Introdução à Zoologia

Volume 3 - Módulo 3

Nelson Ferreira Junior

Paulo Cesar de Paiva



**GOVERNO DO
Rio de Janeiro**

**SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA**



**Ministério
da Educação**



Apoio:



Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Rua Visconde de Niterói, 1364 – Mangueira – Rio de Janeiro, RJ – CEP 20943-001

Tel.: (21) 2334-1569 Fax: (21) 2568-0725

Presidente

Masako Oya Masuda

Vice-presidente

Mirian Crapez

Coordenação do Curso de Biologia

UENF - Milton Kanashiro

UFRJ - Ricardo Iglesias Rios

UERJ - Celly Saba

Material Didático

COORDENAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL E REVISÃO

Carmen Irene Correia de Oliveira

Marcia Pinheiro

Márcia Elisa Rendeiro

COORDENAÇÃO DE LINGUAGEM

Maria Angélica Alves

REVISÃO TÉCNICA

Marta Abdala

Departamento de Produção

EDITORA

Tereza Queiroz

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Jane Castellani

COORDENAÇÃO GRÁFICA

Jorge Moura

REVISÃO TIPOGRÁFICA

Ana Tereza de Andrade

PROGRAMAÇÃO VISUAL

Ana Paula Trece Pires

Katy Araújo

Guilherme Ashton

ILUSTRAÇÃO

Eduardo Bordoni

Jefferson Caçador

CAPA

David Amiel

PRODUÇÃO GRÁFICA

Oséias Ferraz

Verônica Paranhos

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Nelson Ferreira Junior

Fez graduação em Zoologia no Instituto de Biologia / UFRJ, mestrado em Morfologia de Insetos no Museu Nacional / UFRJ e doutorado em Filogenia de Insetos no Instituto de Biociências / USP. Atualmente, Nelson é Professor-adjunto do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia da UFRJ, leciona as disciplinas “Zoologia III – Arthropoda” e “Entomologia I”, para a graduação em Ciências Biológicas, Instituto de Biologia / UFRJ e colabora na disciplina “Ecologia de Insetos Aquáticos”, para a pós-graduação em Ecologia; Instituto de Biologia / UFRJ e para a pós-graduação em Zoologia, Museu Nacional / UFRJ.

Paulo Cesar de Paiva

Fez graduação em Ciências Biológicas no Instituto de Biociências / USP, mestrado em Comunidades de Polychaeta no Instituto Oceanográfico / USP e doutorado em Bentos de Zonas Rasas no Instituto Oceanográfico / USP. Atualmente, Paulo é Professor-adjunto do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia da UFRJ e leciona as disciplinas “Zoologia II – Mollusca, Annelida e Echinodermata”, “Invertebrados Marinhos”, para a graduação em Ciências Biológicas, Instituto de Biologia / UFRJ; “Ecologia de Bentos de Fundos Inconsolidados, para a pós-graduação em Ecologia; Instituto de Biologia / UFRJ; e Polychaeta, para a pós-graduação em Zoologia, Museu Nacional / UFRJ.

Copyright © 2005, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

F383z

Ferreira Junior, Nelson.

Introdução à zoologia v. 3 / Nelson Ferreira

Júnior. – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2010.

120p.; 19 x 26,5 cm.

ISBN: 85-7648-014-X

1. Zoologia. 2. Reino animal. 3. Anatomia animal. 4. Fisiologia animal. 5. Digestão I. Paiva, Paulo Cesar de. II. Título.

CDD: 590

Referências Bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador
Sérgio Cabral Filho

Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia
Alexandre Cardoso

Universidades Consorciadas

**UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**
Reitor: Almy Junior Cordeiro de Carvalho

**UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**
Reitor: Ricardo Vieiralves

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Reitor: Roberto de Souza Salles

**UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO**
Reitor: Aloísio Teixeira

**UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO**
Reitor: Ricardo Motta Miranda

**UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO**
Reitora: Malvina Tania Tuttman

SUMÁRIO

Aula 20 – Diversidade do Reino Animalia _____	7
<i>Nelson Ferreira Junior / Paulo Cesar de Paiva</i>	
Aula 21 – Suporte, locomoção e flutuabilidade _____	29
<i>Nelson Ferreira Junior</i>	
Aula 22 – Suporte e locomoção em esqueletos moles _____	43
<i>Nelson Ferreira Junior</i>	
Aula 23 – Suporte e locomoção em esqueletos rígidos _____	59
<i>Nelson Ferreira Junior / Paulo Cesar de Paiva</i>	
Aula 24 – Mecanismos de captura de alimento _____	81
<i>Nelson Ferreira Junior</i>	
Aula 25 – Digestão _____	101
<i>Nelson Ferreira Junior</i>	
Gabarito _____	115
Referências _____	119

Diversidade do Reino Animalia

AULA 20

objetivo

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer os principais grupos animais e seus planos corpóreos

Pré-requisitos

Aula 14 – Origem dos metazoários

Aula 15 – Arquitetura animal (Parte I)

Aula 16 – Arquitetura animal (Parte II)

Aula 17 – Origem do mesoderma

Aula 18 – Celoma, metameria e a diversidade animal

INTRODUÇÃO

PLANO CORPÓREO

A expressão plano corpóreo é utilizada aqui como uma tradução livre da palavra alemã *Bauplan*, de difícil tradução em outras línguas e, portanto, pode ser encontrada na sua forma original em diversos livros. Outras possíveis traduções de *Bauplan* seriam plano básico ou estrutura básica do corpo.

Como você viu em aulas anteriores, a origem dos metazoários começa com apenas uma célula, denominada ovo ou zigoto. A partir da divisão da célula ovo e de sua posterior diferenciação nos diversos tecidos é que se originam os diferentes **PLANOS CORPÓREOS** dos animais. A variação, nestes planos, está relacionada ao número de folhetos embrionários e com a presença de cavidades do corpo. Assim, os animais com dois folhetos embrionários apresentam a condição diploblástica, enquanto os com três têm a condição triploblástica. Nos animais triploblásticos, como visto, podem ocorrer ainda quatro outras condições: a acelomada, a pseudocelomada, a esquizocelomada e a enterocelomada, com as três últimas apresentando algum tipo de cavidade corpórea.

A diversificação de cada plano deu-se de forma distinta, e alguns deles, como o dos triploblásticos esquizocelomados, apresentam uma diversidade de formas e de espécies muito grandes, enquanto outros, como os diploblásticos, são restritos a uma baixa diversidade de formas e também de espécies. Para que você conheça melhor essa diversificação, vamos apresentar de forma sucinta os principais grupos animais atuais: os poríferos; os diploblásticos; os triploblásticos. Nas próximas disciplinas de Zoologia, você verá uma descrição mais detalhada sobre a morfologia e a biologia de cada grupo.

OS PORIFERA

Muitos autores consideram que os verdadeiros metazoários seriam apenas aqueles animais que apresentam tecidos verdadeiros. Desta forma, animais formados por aglomerados de células diferenciadas seriam considerados um grupo à parte, denominado **PARAZOA**. O único representante atual desse grupo são as populares esponjas, os demais estão extintos.

As esponjas formam o filo **PORIFERA**. Com aproximadamente 9.000 espécies atuais, as esponjas são animais de hábitos aquáticos, sendo que a grande maioria é representada por formas marinhas, e quase sempre sésseis. Elas apresentam as mais diferentes formas, podendo crescer sobre rochas e corais, denominadas incrustantes, ou podem ser formas mais maciças, algumas com forma de tubos de grandes dimensões (> 5 metros).

PARAZOA

Para = paralelo + *zoo* = animal.

PORIFERA

Do latim *porus* = orifício e *ferre* = portador. Refere-se ao corpo cheio de poros.

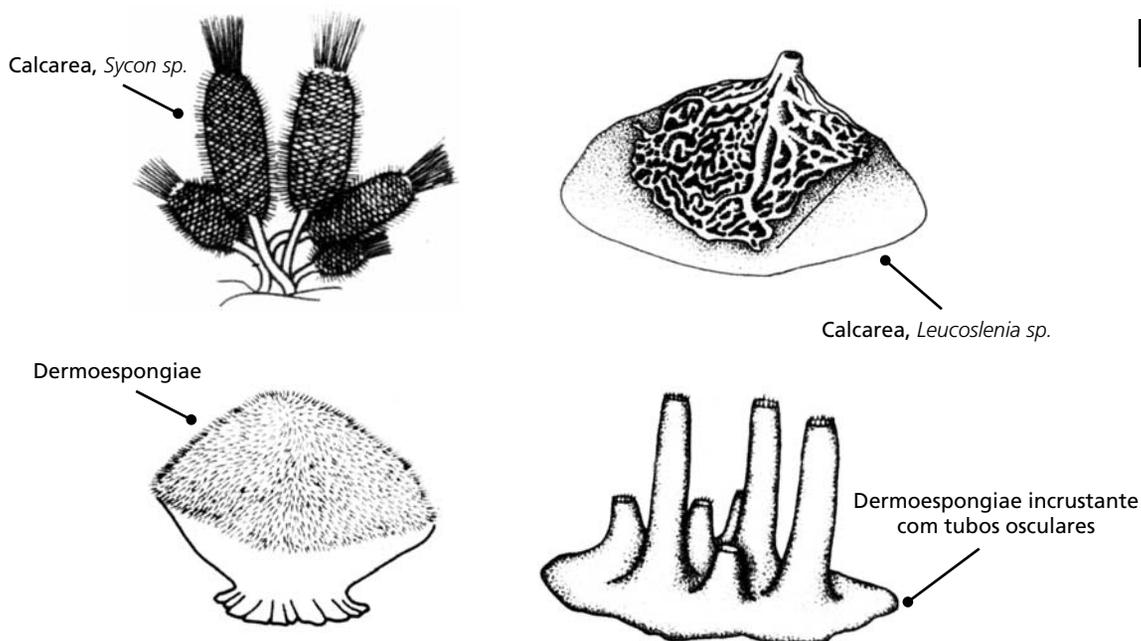


Figura 20.1: Diversidade de formas de Porifera.

As esponjas providas de esqueleto de espongina foram utilizadas, por muitos anos, como esponjas-de-banho com grande valor comercial até o aparecimento das esponjas sintéticas. Entretanto, boa parte das esponjas tem esqueletos com espículas e não podem ser utilizadas para banho, devendo ser manipuladas com cautela, pois podem causar ulcerações ou mesmo alergias.

OS DIPLOBLÁSTICOS

Os metazoários diploblásticos apresentam os dois primeiros folhetos embrionários: o ectoderma, externo; e o endoderma, interno. Localizada entre eles há uma camada gelatinosa denominada **mesogléia**. A mesogléia, em certos casos, contém algumas células e, embora possa ser considerada como precursora de um futuro mesoderma, não é considerada um folheto embrionário. Atualmente, são conhecidos dois grupos de diploblásticos: os cnidários e os ctenóforos. No passado, eles foram reunidos no grupo denominado **CELENERATA**, por possuírem um tubo digestivo em forma de saco oco com uma única abertura. Eles também foram denominados **RADIATA** em referência à sua simetria radial. As relações filogenéticas entre os diploblásticos e os demais animais ainda são bastante discutidas.

CELENERATA

Do grego *koilos*
= oco + *enteron* =
intestino.

RADIATA

Do latim *radiatu* =
que tem raios.

Cnidaria

CNIDARIA

Do grego *knide* = urtiga.

GASTROCELE

Do grego *gastro* = estômago + *coele* = cavidade.

O filo **CNIDARIA** é representado por formas móveis, tais como as águas-vivas ou medusas, as caravelas e as anêmonas-do-mar; e sésseis, como os corais. São conhecidas cerca de 9.000 espécies de cnidários, todas aquáticas, sendo a grande maioria marinhas. Os cnidários se caracterizam por um tubo digestivo, denominado **CASTROCELE**, com uma única abertura, que funciona como boca e ânus, e por apresentarem células urticantes muito especializadas, os **nematocistos** ou **cnidoblastos**. Estas células urticantes são utilizadas tanto para defesa como para o ataque, no caso dos animais predadores.

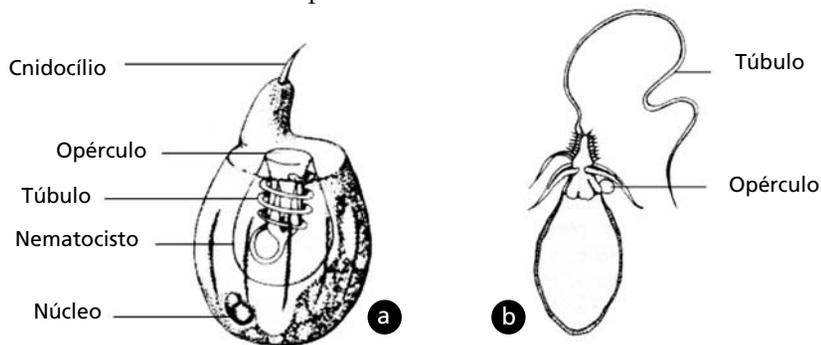


Figura 20.2: (a) Nematocistos em repouso e (b) descarregado com seu filamento urticante.

A popular caravela, as águas-vivas e as vespas-do-mar são conhecidas pelas queimaduras que provocam, devido à descarga de seus nematocistos, com alguns acidentes fatais conhecidos. Entretanto, a maioria dos cnidários é inofensiva e alguns, como os corais, têm uma importância ecológica muito grande. Seus esqueletos calcáreos formam os famosos recifes-de-coral em oceanos rasos de águas quentes, ambientes responsáveis por uma das maiores diversidades faunísticas e florísticas de todos os oceanos.

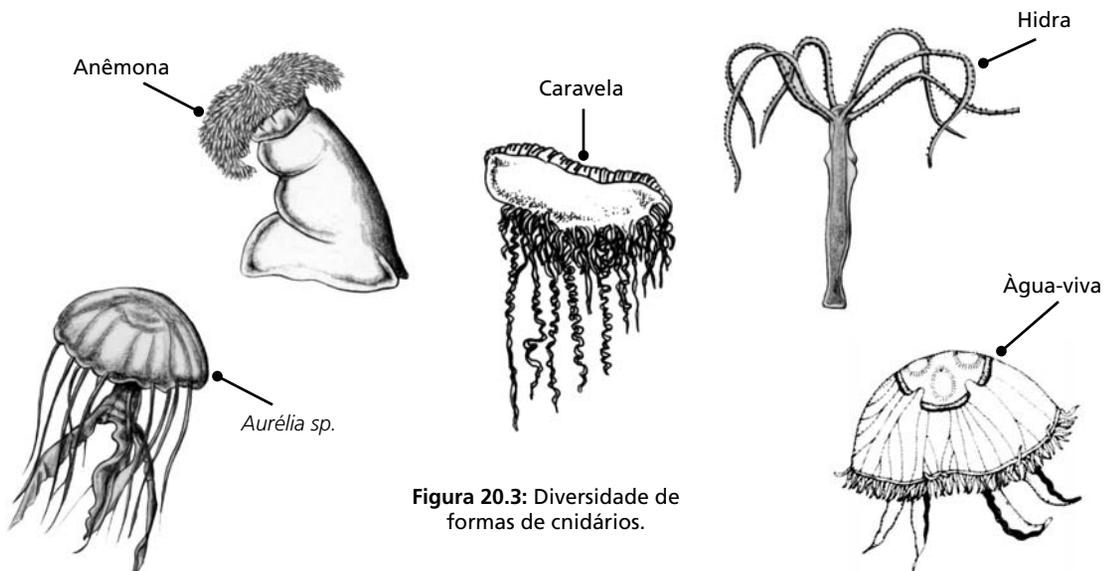


Figura 20.3: Diversidade de formas de cnidários.

Ctenophora

Com cerca de 100 espécies atuais, os ctenóforos são formas marinhas planctônicas de aparência gelatinosa, como a maioria das medusas (cnidários). Contudo, não possuem qualquer tipo de célula urticante. A aparência gelatinosa deles se deve à presença de uma mesogléia muito espessa com algumas células imersas.

Os **CTENÓFOROS** são muitas vezes confundidos com medusas ou águas-vivas, mas são geralmente formas ovais, muitas vezes encontradas jogadas na praia assemelhando-se em tamanho e em forma a carambolas.

CTENOPHORA

Do grego *cteno*
= pente + *foros*
= portador, em
referência às grandes
bandas de cílios
locomotórios que se
assemelham
a pentes.

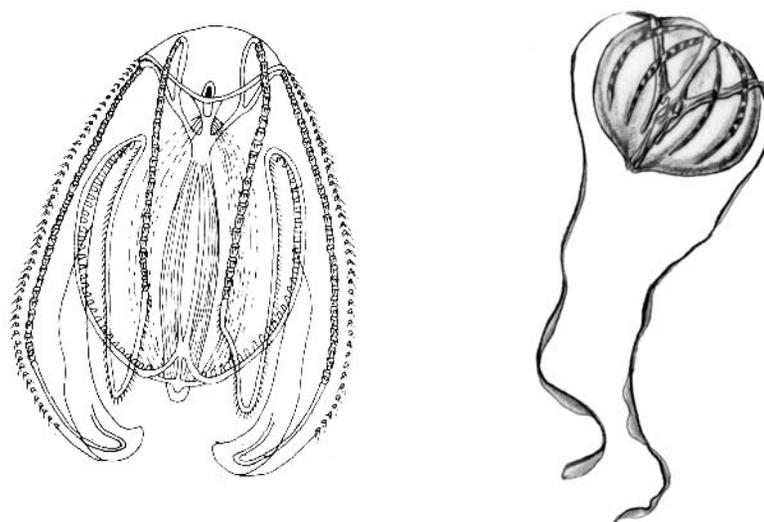


Figura 20.4: Diversidade de ctenóforos.

TRIPLOBLÁSTICOS

Nos triploblásticos, como visto no módulo anterior, surge um novo folheto embrionário, o mesoderma, localizado entre o ectoderma e o endoderma. Como visto na Aula 16, durante o desenvolvimento embrionário de alguns triploblásticos, o blastóporo origina a boca e o ânus, sendo denominados protostômios ou protostomados. Em outros triploblásticos, o blastóporo origina somente o ânus, sendo denominados deuterostômios ou deuterostomados. Três condições protostomadas ocorrem no reino animal: a acelomada, a pseudocelomada e a esquizocelomada; e ocorre apenas uma deuterostomada: a enterocelomada.

Acelomados

Nos acelomados, o mesoderma preenche totalmente o espaço entre o ectoderma e o endoderma, muito embora em alguns casos este tecido de preenchimento possa ser frouxo, ou seja, suas células não estão totalmente conectadas umas às outras, com uma grande quantidade de líquidos extracelulares.

PLATYHELMINTES

Do grego *platy* = chato + *helminthes* = verme, em referência à forma geralmente achatada do corpo.

Os **PLATYHELMINTES**, com cerca de 20.000 espécies atuais, são os acelomados mais conhecidos, vivendo em ambientes marinhos e de água doce, além de muitas formas parasitas. Podendo atingir dezenas de centímetros, mas com uma espessura de apenas alguns milímetros, as formas de vida livre são as que melhor traduzem a denominação “vermes chatos”. Entre elas, destacam-se as populares planárias e, entre as formas parasitas, destacam-se o esquistossomo (causador da esquistossomose e de grande impacto para a saúde pública) e as populares solitárias.

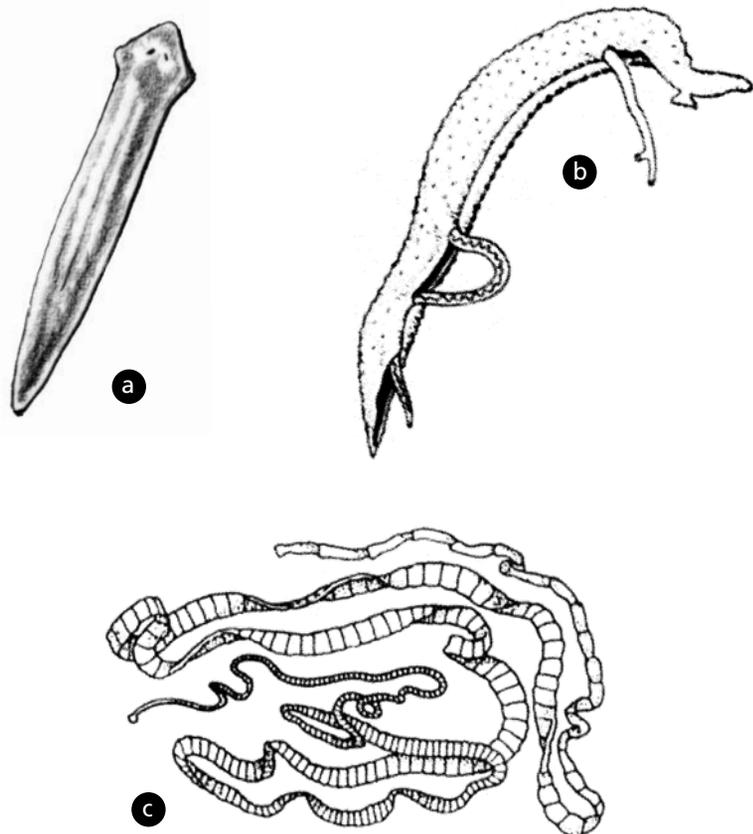


Figura 20.5: (a) planária, (b) esquistossomo e (c) solitária.

Pseudocelomados

Os **PSEUDOCELOMADOS** apresentam um trato digestivo completo, com boca e ânus. Como o fluxo de alimento agora se dá em um único sentido, pode ocorrer uma especialização regional da parede do tubo e, portanto, nem todas as partes do tubo digestivo estão envolvidas em todo o processo digestivo. A região anterior, por exemplo, pode ser responsável pela captura do alimento; uma outra pela maceração (digestão mecânica); outra, mais a seguir, pela secreção de enzimas digestivas (digestão química); outra pela absorção do alimento e assim por diante. Embora existam diversos grupos de pseudocelomados, veremos agora apenas os mais conhecidos.

Nematoda

Os **NEMATODA** são pequenos (milimétricos) e de corpo cilíndrico, com a cutícula translúcida. São conhecidas cerca de 12.000 espécies de vida livre ou parasitas. Entretanto, este número é muito aproximado, pois pouco se conhece sobre as espécies de vida livre, que habitam todos os tipos de ambientes marinhos, de água doce ou mesmo aéreos.

Alguns parasitas são comuns em humanos, causando uma série de doenças. O mais conhecido é a **LOMBRIGA** (causadora da ascaridíase) imortalizada por Monteiro Lobato através do seu personagem Jeca Tatu. Outras doenças causadas por nematódeos são o **AMARELÃO** e a **ELEFANTIASE**, estas duas bem mais graves.

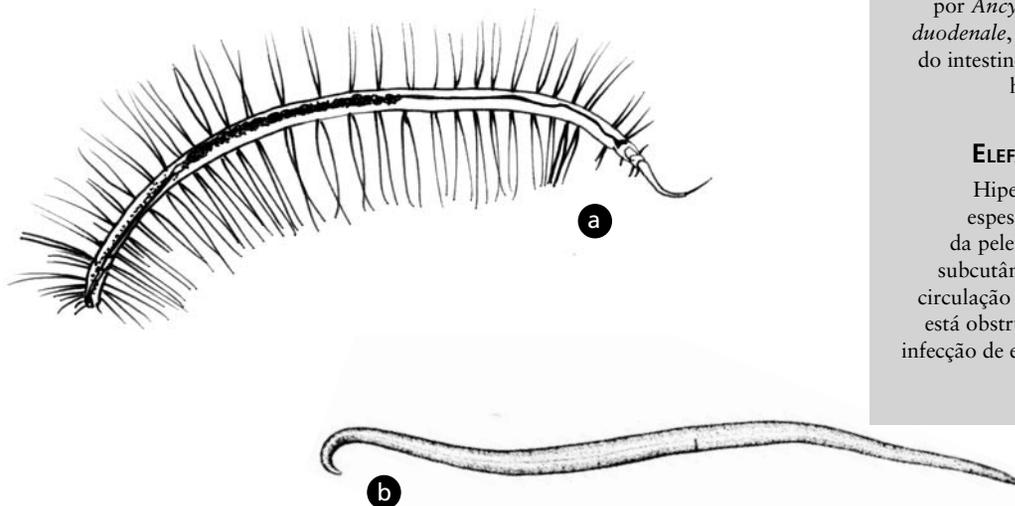


Figura 20.6: (a) nemátoda de vida livre e (b) lombriga.

PSEUDOCELOMADOS

Como visto anteriormente, o nome pseudoceloma se refere apenas à blastocel embriônica que permanece nos adultos de alguns grupos animais. Estes grupos, cujas afinidades se restringem à presença desta cavidade, são normalmente reunidos sob o nome de pseudocelomados e, provavelmente, não formam um grupo monofilético.

NEMATODA

Do grego *nematos* = fio, em referência à forma do corpo.

LOMBRIGA humana
Ascaris lumbricoides. Outros animais como porcos ou mesmo bois possuem lombrigas de outras espécies.

AMARELÃO

Doença causada por *Ancylostoma duodenale*, parasita do intestino grosso humano.

ELEFANTIASE

Hipertrofia e espessamento da pele e tecido subcutâneo, cuja circulação linfática está obstruída por infecção de evolução crônica.

Rotifera

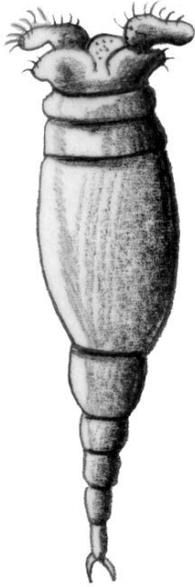


Figura 20.7: Rotíferos.

Os **ROTIFEROS**, com cerca de 1.800 espécies conhecidas, são pequenos pseudocelomados de vida livre muito comuns em ambientes de água doce, principalmente ambientes temporários, como poças d'água e pequenos lagos. Quando formam-se poças após uma chuva, eles são os primeiros a colonizar o ambiente, graças à capacidade que possuem de produzir ovos de resistência, os quais ficam dormentes até que haja condições adequadas para eclodirem.

ROTIFERA

Do latim *rota* = roda + *fero* = possuidor. O nome refere-se aos movimentos rotatórios realizados por uma coroa de cílios vibráteis, que se movem de forma extremamente coordenada, localizada na extremidade anterior do corpo do animal.

Esquizocelomados

Como visto na Aula 17, nos protostomados esquizocelomados, o celoma origina-se a partir de uma fissão interna na massa mesodérmica. A maioria deles são também animais metamerizados.

ANNELIDA

Do grego *annulatus* = anelado. Em referência à aparência externa do corpo que, devido à metameria, é formado por uma série de anéis.

Annelida

O filo **ANNELIDA** é o que melhor representa o plano básico dos celomados metaméricos. São conhecidas atualmente cerca de 15.300 espécies dos mais diferentes tamanhos (desde menos de 1 milímetro até 2 metros) e de corpo geralmente cilíndrico. Os anelídeos são muito abundantes em todos os ambientes (marinhos, dulciaquícolas e terrestres).

POLYCHAETA (POLIQUETA)

Do grego *polys* = muito + *chaeta* = cerda. Possuem muitas cerdas em cada um dos segmentos ou metâmeros.

A maioria das formas marinhas pertence aos **POLYCHAETA**, vivendo em praias, fundos arenosos, corais, flutuando na água, fixo em rochas etc. Os poliquetas são de grande mobilidade ou sésseis, sendo conhecidos como vermes-do-mar ou minhocas-marinhas, principalmente pelos pescadores que os utilizam como isca.

As formas de água doce e terrestre pertencem aos **OLIGOCHAETA** e aos **HIRUDINEA**. Os oligoquetas terrestres são as populares minhocas que têm uma importância ecológica e econômica muito grande, sendo responsáveis pelo enriquecimento do solo para a agricultura, através da produção de suas fezes denominada húmus.

Os hirudíneos são principalmente habitantes de água doce onde podem ser predadores ou sugadores de líquidos corpóreos; devido a isto, as formas sugadoras são popularmente conhecidas como sanguessugas (o nome, é claro, não precisa de tradução). As sanguessugas apresentam uma importância média muito grande, pois produzem uma proteína que é, entre outras coisas, um excelente anticoagulante e, portanto, útil para evitar a coagulação do sangue durante cirurgias.

OLIGOCHAETA (OLIGOQUETA)

Do grego *oligos* = pouco + *chaeta* = cerda. Possuem poucas cerdas em cada um dos segmentos ou metâmeros.

HIRUDINEA

Do latim *hirudu* = sanguessuga.

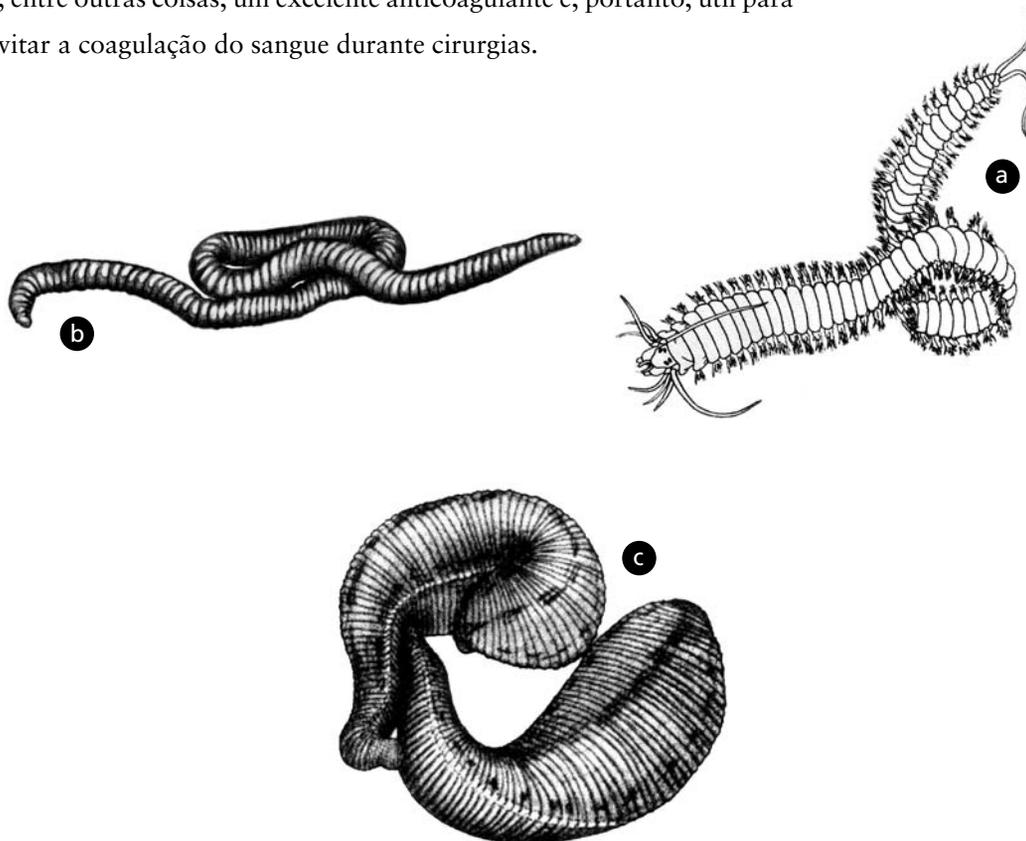


Figura 20.8: (a) poliqueta (*Nereis sp.*), (b) oligoqueta (Minhoca) e (c) hirudínea (sanguessuga).

MOLLUSCA

Do latim *mollis*, referindo-se ao corpo mole desses animais.

POLYPLACOPHORA

Do grego *polys* = muito + *placo* = placas + *phoros* = portador. Referindo-se às oito placas que cobrem dorsalmente o seu corpo.

GASTROPODA

Do grego *gastro* = estômago + *podos* = pés. Em referência ao pé muscular sair direto da massa visceral que está dentro da concha, onde fica o estômago do animal.

BIVALVIA

Do latim *bi* = dois + *valva* = concha. Os nomes bivalves e pelecypoda são utilizados como sinônimos e ambos são comuns na literatura.

CEPHALOPODA

Do grego *cephalus* = cabeça + *podos* = pés. Os pés ou braços saem diretamente da cabeça volumosa do animal.

Mollusca

Os **MOLLUSCA** vivem principalmente em ambientes marinhos ou em ambientes dulciaquícolas ou aéreos. É um grupo muito diverso, sendo conhecidas atualmente cerca de 50.000 espécies. Embora sejam incluídos entre os celomados metaméricos, as formas atuais não apresentam uma metameria muito clara nos adultos, com exceção dos **POLYPLACÓFOROS**, também conhecidos como quítons.

Os moluscos mais conhecidos são os **GASTROPODA**, os **BIVALVIA** e os **CEPHALOPODA**.

Entre os gastrópodes, os mais conhecidos são os caramujos terrestres e marinhos, o caracol e as lesmas terrestres. Dentre os bivalves, as formas mais conhecidas são marinhas, como os mexilhões, as ostras, os mariscos, a vieira, o berbigão, as unhas-de-velho e mais uma infinidade de animais cujas conchas são jogadas em nossas praias. Os cefalópodes mais conhecidos são os polvos e as lulas, cujos “pés” se apresentam na forma de uma série de braços ou tentáculos.

Os moluscos, de maneira geral, são muito utilizados na alimentação e estão entre os “frutos-do-mar” mais apreciados em todo o mundo. Até mesmo os moluscos terrestres são utilizados na alimentação, como é o caso do *escargot*, um caramujo muito apreciado pela culinária francesa.

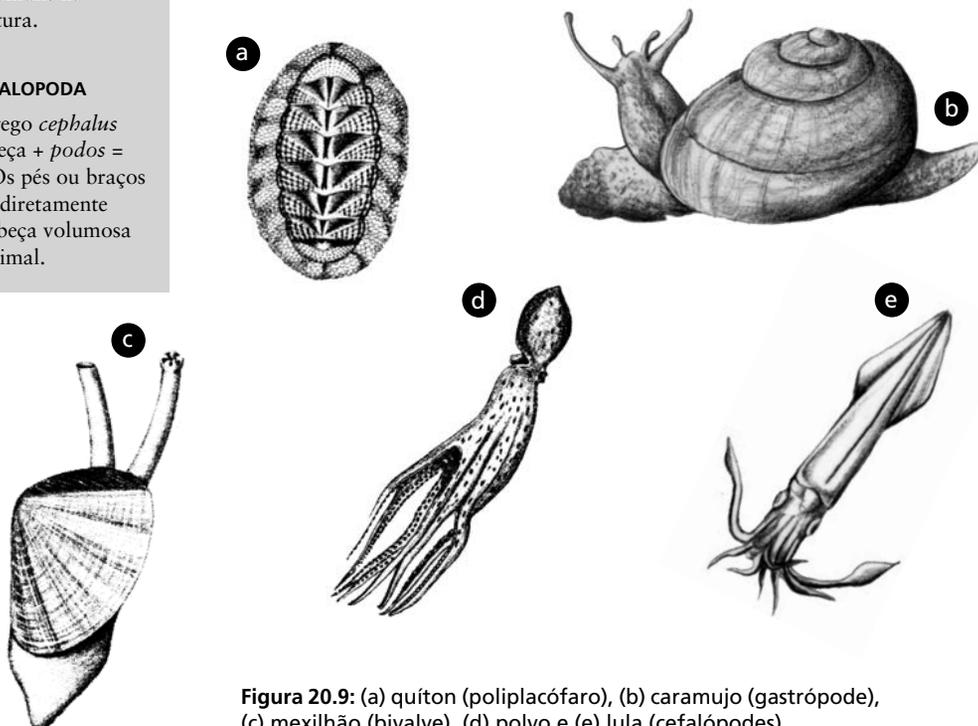


Figura 20.9: (a) quíton (poliplacóforo), (b) caramujo (gastrópode), (c) mexilhão (bivalve), (d) polvo e (e) lula (cefalópodes).

Arthropoda

Os **ARTHROPODA** são, sem qualquer margem de dúvida, os senhores da Terra, isto é, o grupo dominante em todo planeta. Com mais de 1.000.000 espécies descritas, eles correspondem a mais de 85 % de todas as espécies animais. Os artrópodes são muito abundantes e podem ser encontrados em todos os tipos de ambientes marinhos, dulciaquícolas e terrestres. Muitos são conhecidos pela sua utilidade, como abelhas (por fornecer alimento e serem polinizadoras) e bichos-da-seda (por fornecer a seda); por eles próprios servirem de alimento, como camarões, siris e tanajuras; por serem venenosos, como aranhas, escorpiões, lacraias e vespas; por serem repugnantes, como baratas e carrapatos; ou por transmitirem ou causarem doenças, como ácaros, moscas e mosquitos.

Os principais artrópodes são **ARACHNIDA**, **CRUSTACEA**, **INSECTA** e **MYRIAPODA**.

Os aracnídeos (Arachnida), com aproximadamente 60.000 espécies descritas, são principalmente terrestres. Dentre todos os aracnídeos, os mais conhecidos são ácaros, aranhas e escorpiões. Embora a maioria dos ácaros seja de vida livre, algumas espécies são parasitas, como os carrapatos; causam doenças, como sarna; ou irritação nas vias respiratórias dos humanos. As aranhas e os escorpiões são conhecidos principalmente por produzirem veneno, com alguns casos de acidentes fatais em humanos.

ARTHROPODA

Do grego *arthro* = articulação + *podos* = pés, no sentido de patas articuladas.

ARACHNIDA

Do grego *arachne* = aranha.

CRUSTACEA

Do latim *crusta* = crosta. Referindo-se à carapaça dura dos crustáceos.

INSECTA

Do latim *insectum* = inseto. Em referência ao corpo segmentado.

MYRIAPODA

Do grego *myrias* = dez mil + *podos* = pés.

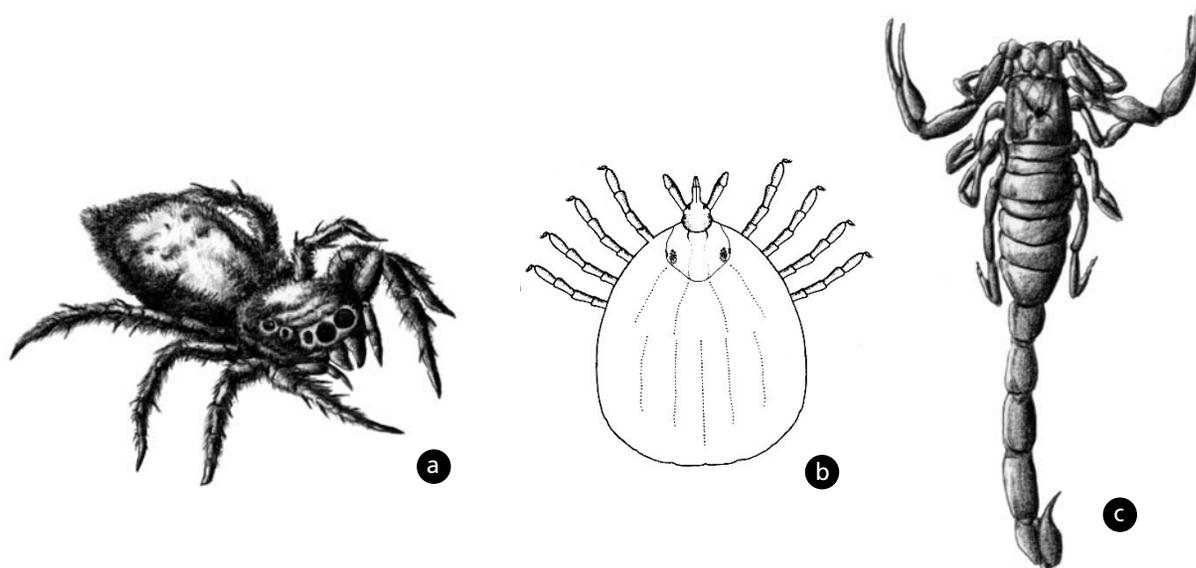


Figura 20.10: Arachnida: (a) aranha papa-mosca, (b) carrapato e (c) escorpião.

Com cerca de 35.000 espécies, os crustáceos (Crustacea) vivem principalmente em ambientes marinhos, embora muitos vivam em água doce, como muitos caranguejos, ou em ambiente aéreo, como os populares tatuzinhos-de-jardim. As espécies marinhas ou dulciaquícolas vivem tanto na coluna d'água, dominando o plâncton, como no fundo. Alguns, como as cracas, vivem aderidos a substratos duros como rochas, pilastras, cascos de barcos, baleias etc. Entretanto, os crustáceos mais conhecidos são aqueles de maior tamanho e que vivem em fundos marinhos como lagostas, camarões, siris, caranguejos e ermitões ou bernardo-eremitas (que se utilizam de conchas de moluscos para proteger seu corpo frágil, ao contrário dos demais caranguejos que apresentam uma carapaça própria bem rígida).

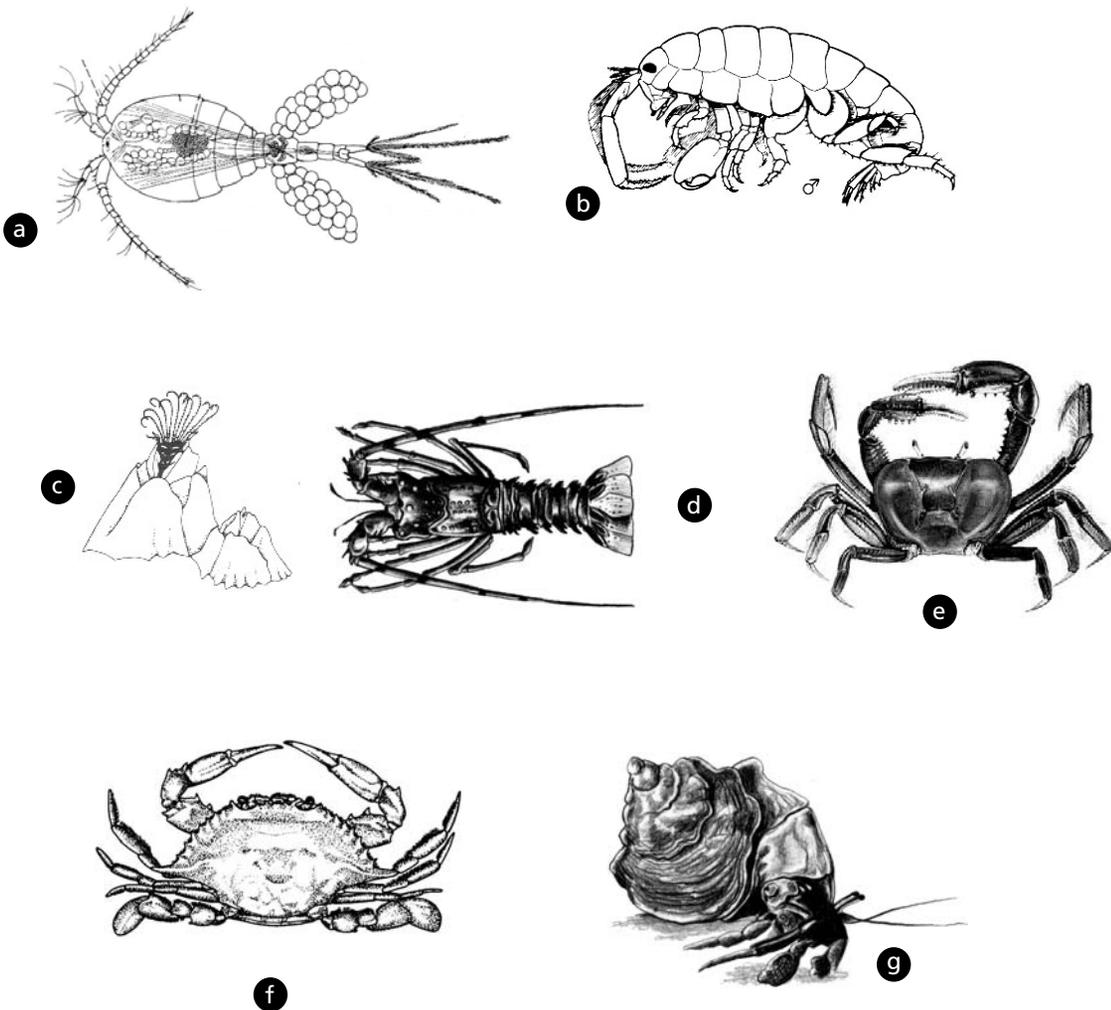


Figura 20.11: Crustacea: (a) copépode, (b) anfípode, (c) craca, (d) lagosta, (e) caranguejo, (f) siri e (g) ermitão.

Como você já sabe, os insetos (Insecta) representam o maior grupo animal, com mais de 950.000 espécies descritas, e ocuparam os mais diversos tipos de ambientes continentais, incluindo água doce. Poucas espécies ocorrem ainda em águas salobras ou na lâmina superficial em alto mar. Embora, algumas vezes, sejam considerados animais repugnantes, vários insetos são admiráveis por sua beleza ou colorido, como borboletas, besouros, esperanças etc. Alguns insetos desenvolveram vida social com divisão de tarefas, cuidado com a prole etc. Muitos insetos apresentam alguns tipos de importância econômica ou médica, como por exemplo, tem tornado-se uma fonte de renda a produção comercial de mel e o veneno produzido pelas abelhas é utilizado no tratamento de reumatismo. Alguns insetos apresentam importância econômica por constituírem pragas agrícolas, devastando plantações ou atacando grãos armazenados, tais como besouros, gafanhotos, percevejos, cigarrinhas, formigas etc. Baratas de esgoto e moscas domésticas são consideradas pragas urbanas e vários mosquitos e moscas são transmissores de doenças.

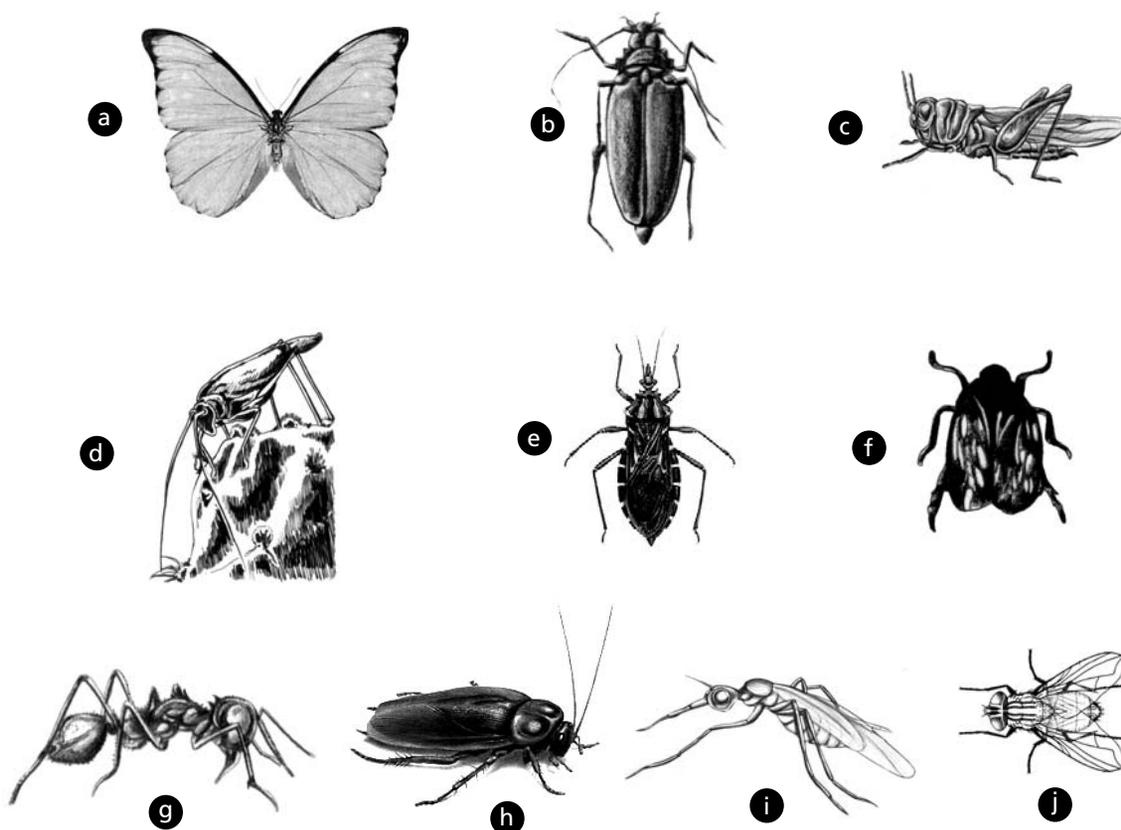


Figura 20.12: Insecta: (a) borboleta, (b) besouro, (c) gafanhoto, (d) esperança, (e) percevejo, (f) cigarrinha, (g) formiga, (h) barata, (i) mosquito e (j) mosca.

Os miriápodes (Myriapoda), com cerca de 13.200 espécies, são um pequeno grupo que vive, geralmente, associado ao solo ou ao folhiço em ambientes úmidos. Os mais conhecidos são as lacraias ou centípedes e os gongolos ou milípedes. Alguns acidentes podem ocorrer com lacraias, que produzem veneno e são capazes de inoculá-lo, ou mais raramente com gongolos, que secretam substâncias tóxicas.

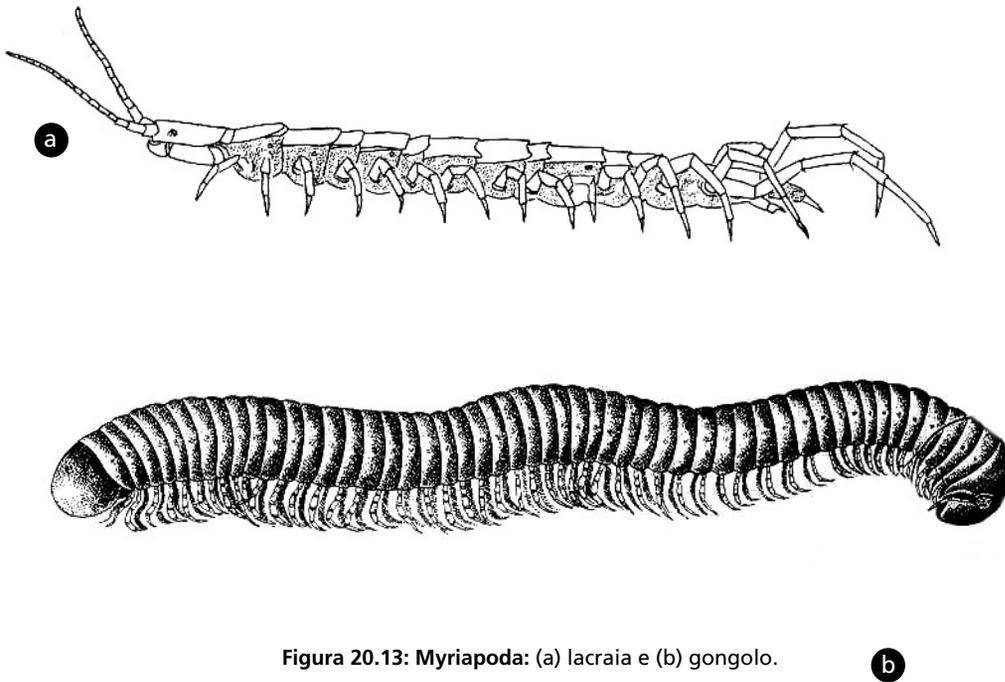


Figura 20.13: Myriapoda: (a) lacraia e (b) gongolo.

Enterocelomados

Como visto no módulo anterior, os celomados que durante a embriologia tiveram o blastóporo originando o ânus são denominados deuterostômios. Neles, o celoma se origina de forma enterocélica, isto é, através de bolsas (alças) que se destacam do tubo digestivo. Nesse tipo de formação, o celoma se origina dividido em pacotes, os metâmeros ou segmentos que são geralmente em número de três e, portanto, denominados triméricos.

Echinodermata

Os **ECHNODERMATA** são um grupo peculiar de deuterostômios, pois apresentam uma simetria birradial, única entre os deuterostômios. É um grupo de animais exclusivamente marinho, com cerca de 7.000 espécies habitantes de fundos arenosos, lodosos ou rochosos. Podem ser sésseis como os lírios-do-mar ou vágéis como as populares estrelas-do-mar e ouriços. Num mergulho em águas rasas e fundo rochoso, certamente, você encontrará alguns equinodermos como estrela-do-mar, ouriço-do-mar ou mesmo pepino-do-mar. Já em fundo arenoso podemos encontrar as populares bolachas-da-praia.

ECHNODERMATA

Do grego *echino* = espinho + *derma* = pele, referindo-se ao corpo recoberto de espinhos.

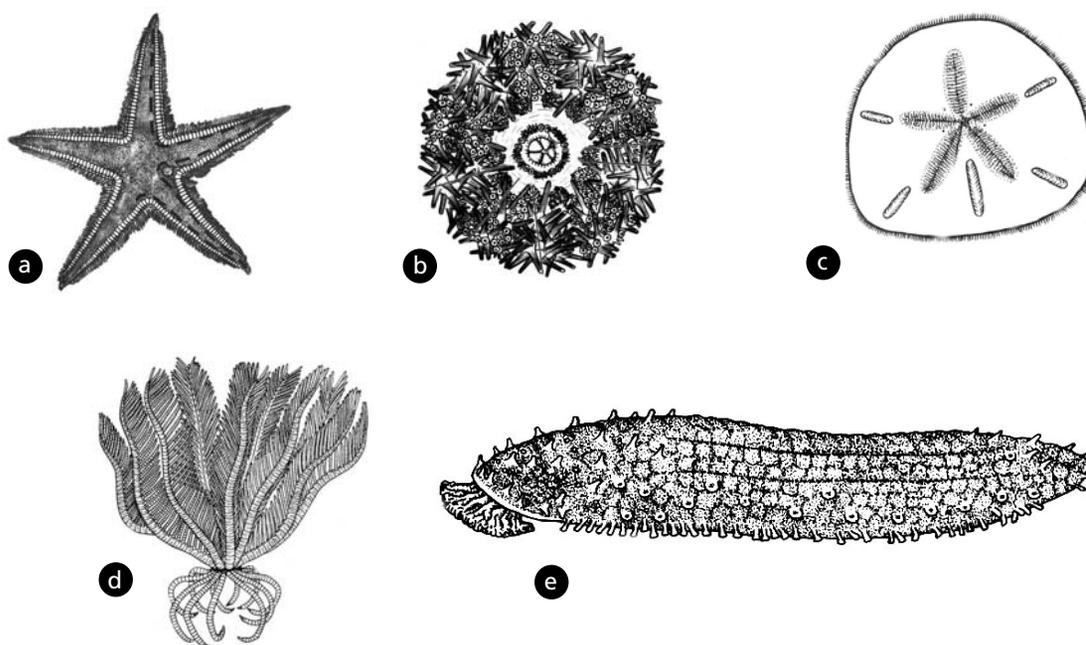


Figura 20.14: Echinodermata: (a) estrela-do-mar, (b) ouriço-do-mar, (c) bolacha-da-praia, (d) lírio-do-mar e (e) pepino-do-mar.

Chordata

Com cerca de 50.000 espécies atuais, **CHORDATA** é o grupo que compreende os vertebrados e animais pouco conhecidos como as ascídias e as salpas. Assim como os artrópodes, eles ocupam os mais variados tipos de ambientes marinhos, dulciaquícola ou aéreos. Entre os **VERTEBRATA** encontram-se animais extremamente conhecidos por nós, tais como tubarões, sardinhas, pererecas, cobras, jacarés, tucanos e macacos.

CHORDATA

Do latim *chorda* = corda, referindo-se à notocorda que eles apresentam durante, pelo menos, um estágio da vida.

VERTEBRATA

Do latim *vertebratu* = vertebrado, em referência ao corpo formado por vértebras.

Como você viu em aulas anteriores, atualmente, a taxonomia busca uma classificação na qual só se permita táxons estritamente monofiléticos. Desta forma, táxons tradicionalmente conhecidos, mas que representam agrupamentos polifiléticos, como **PISCES** e **REPTILIA**, começam a não ser mais considerados. A bibliografia mais moderna já começa a incorporar esse preceito.

Os peixes cartilagosos (**CHONDRICHTHYES**), com cerca de 800 espécies, são representados por cações, tubarões, arraias, violas ou arraias-violas e quimeras. Eles são predominantemente marinhos, com algumas espécies dulciaquícolas e variam em comprimento de 25 centímetros a aproximadamente 20 metros. Os condrictes são carnívoros e dominam os níveis tróficos mais elevados das cadeias alimentares marinhas.

PISCES

Do latim *pisce*.

REPTILIA

Do latim *reptile*.

CHONDRICHTHYES

Do grego *chómdros* = cartilagem + *ichthys* = peixe, referindo-se ao esqueleto cartilaginoso.

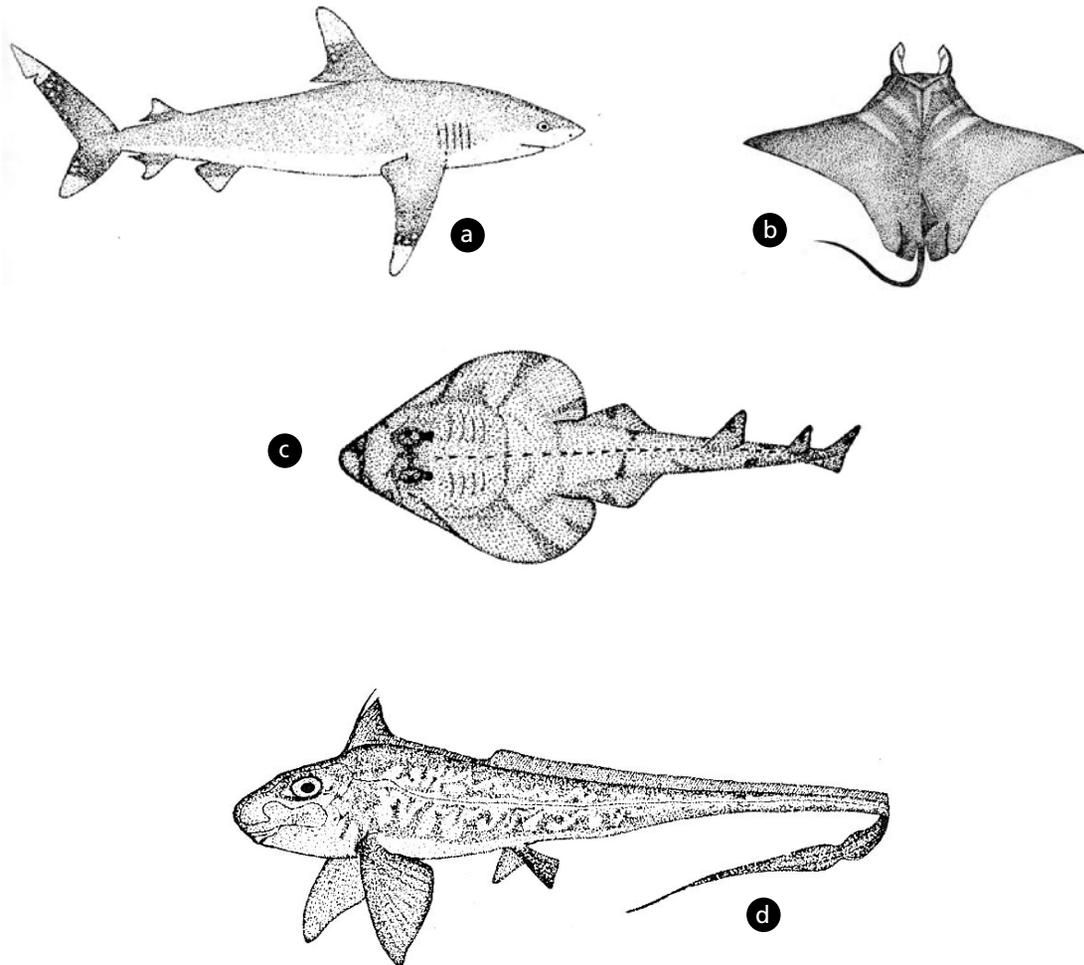
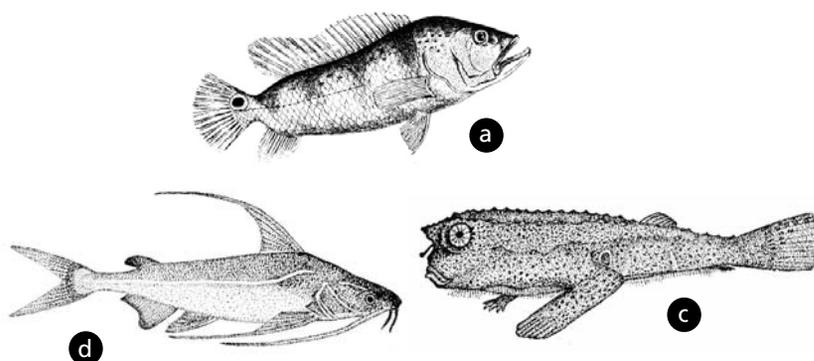


Figura 20.15: Chondrichthyes: (a) tubarão, (b) arraia, (c) viola e (d) quimera.

Os peixes ósseos de nadadeiras raiadas (**ACTINOPTERYGII**) apresentam uma grande diversidade, com aproximadamente 21.000 espécies atuais, e ocupam os mais variados tipos de ambientes aquáticos. Variando em comprimento de poucos centímetros até cerca de 6 metros, eles apresentam uma grande diversidade de formas e comportamentos, como, por exemplo, sardinha, atum, espadarte, marlim-azul, acará-bandeira, peixe-lua, baiacu, bagre, poraquê, peixe-morcego, cavalo-marinho etc.



ACTINOPTERYGII

Do grego *aktínos* = radiação + *pterygion* = barbatana. Referindo-se às barbatanas ou nadadeiras com raios.

Figura 20.16: Actinopterygii: (a) tucunaré, (b) cavalo do mar, (c) peixe-morcego, (d) bagre.

Foram descritas cerca de 4.000 espécies atuais de sapos, pererecas, rãs, salamandras e cobras-cegas (**AMPHIBIA**). Todas elas são carnívoras e alimentam-se de quase tudo que são capazes de capturar e engolir. Os anfíbios vivem em ambientes dulciaquícolas ou aéreos, estando muitas vezes associados a ambientes úmidos. A maioria dos anfíbios vive no ambiente aquático em pelo menos uma de suas fases de vida (ovo, larva ou adulto).

AMPHIBIA

Do grego *amphibios*, animal ou planta que vive tanto no ambiente aéreo quanto aquático.

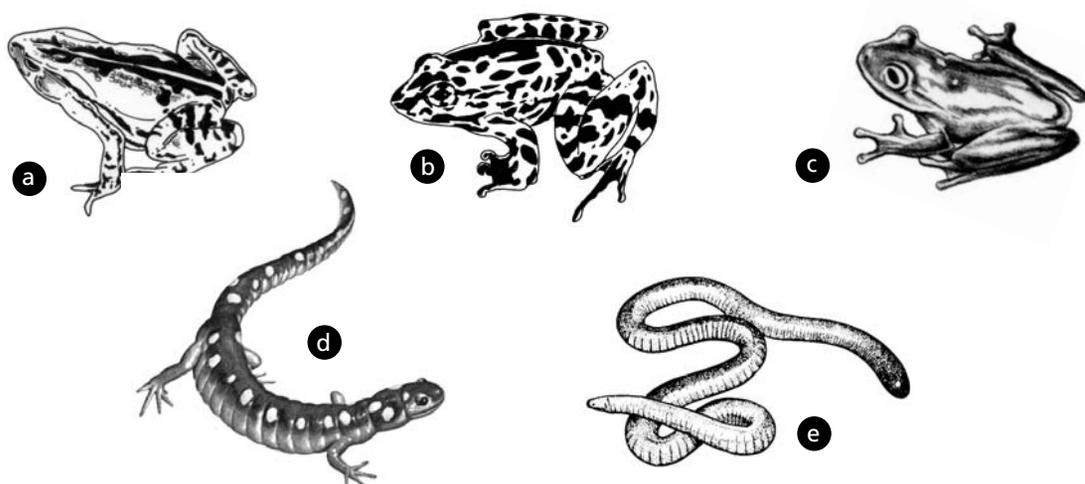


Figura 20.17: Amphibia: (a) sapo-boi, (b) rã, (c) perereca, (d) salamandra e (e) cobra-cega.

LEPIDOSAURIA

Do grego *lepidos* = escama + *sauros* = lagarto.

TETRAPODA

Do grego *tetrápodos* = que tem quatro pés, quadrúpede. Grupo taxonômico que abrange os vertebrados com quatro membros, dos anfíbios aos mamíferos e aves.

Cerca de 5.800 espécies de cobras, cobras-de-duas-cabeças, lagartos e tuataras formam o táxon **LEPIDOSAURIA**, representando o segundo maior grupo de **TETRAPODA** viventes. Variando em comprimento de poucos centímetros até cerca de 10 metros, eles apresentam dieta herbívora, carnívora ou insetívora.

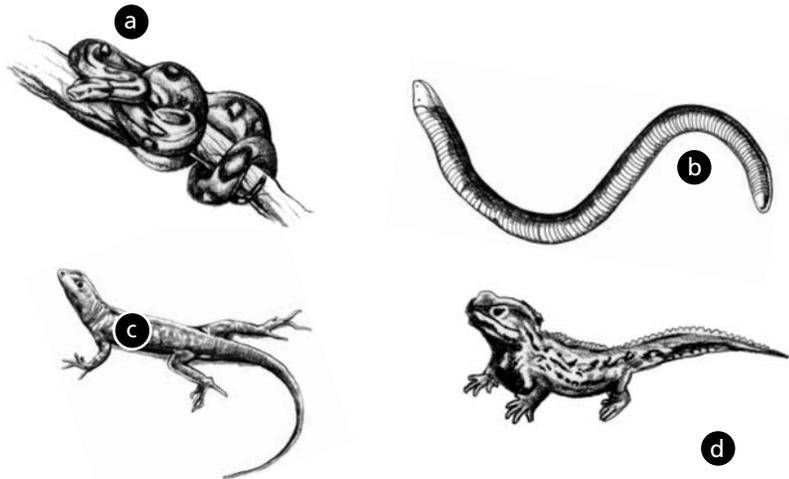


Figura 20.18: Lepidosauria: (a) jibóia, (b) anfisbena, (c) calango, (d) tuatara.

Os **CROCODILIA** que vivem atualmente são representados por cerca de 20 espécies de crocodilos e jacarés e uma de gavial. Eles são animais semi-aquáticos e predadores. Os jacarés e o gavial são animais exclusivamente de água doce, habitando rios e até corpos d'água reduzidos. Os crocodilos, além das espécies que habitam água doce, incluem o crocodilo de água salgada, que habita estuários, mangues e regiões baixas de grandes rios. Atingindo aproximadamente 7 metros de comprimento, esta espécie é a maior do grupo.

CROCODILIA

Do latim *crocodilu*.

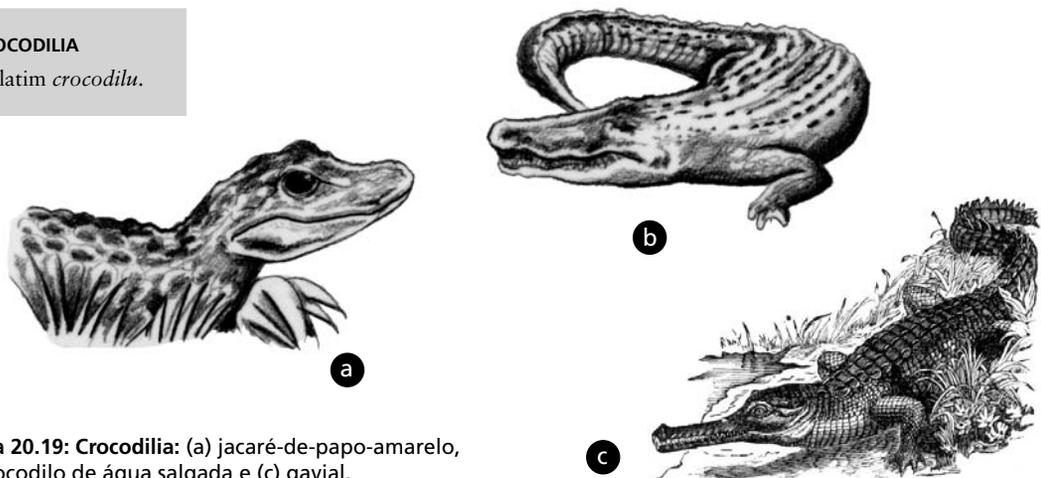


Figura 20.19: Crocodilia: (a) jacaré-de-papo-amarelo, (b) crocodilo de água salgada e (c) gavial.

AVESDo latim *ave*.

Estão descritas cerca de 9.000 espécies de **AVES** modernas. As modificações estruturais exibidas por este grupo estão relacionadas à redução de peso. Por exemplo, a maior ave voadora, com 7 m de envergadura, pesa apenas 20 kg e um avestruz, com aproximadamente 2,7 m, pesa cerca de 150 kg. Entre as aves há uma pequena variação em relação à forma geral do corpo, embora elas apresentem comportamentos e hábitos alimentares bastantes diversificados, alimentando-se de peixes e invertebrados marinhos, outros tetrápodes (incluindo outras aves), insetos e outros invertebrados, pólen e néctar, frutas, grãos e sementes, folhas e matéria orgânica de origem animal em decomposição.

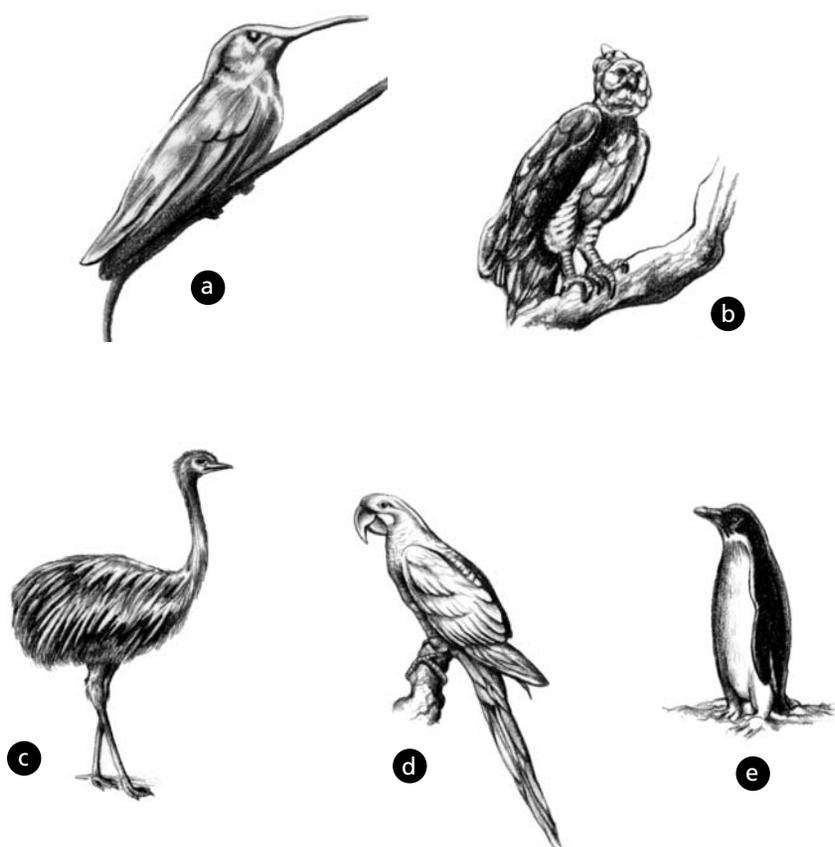


Figura 20.20: Aves: (a) beija-flor, (b) harpia, (c) ema, (d) arara, (e) pingüim.

MAMMALIA

Do latim *mamma* + *podos* = pés. Os pés ou braços saem diretamente da cabeça volumosa do animal.

Os **MAMMALIA** apresentam pouco mais de 4.000 espécies atuais. Vivendo nos mais variados ambientes aéreos e aquáticos, eles exploram amplamente os recursos da terra. O avanço evolutivo dos mamíferos está relacionado à evolução do encéfalo, em especial ao aumento de tamanho dos hemisférios cerebrais.

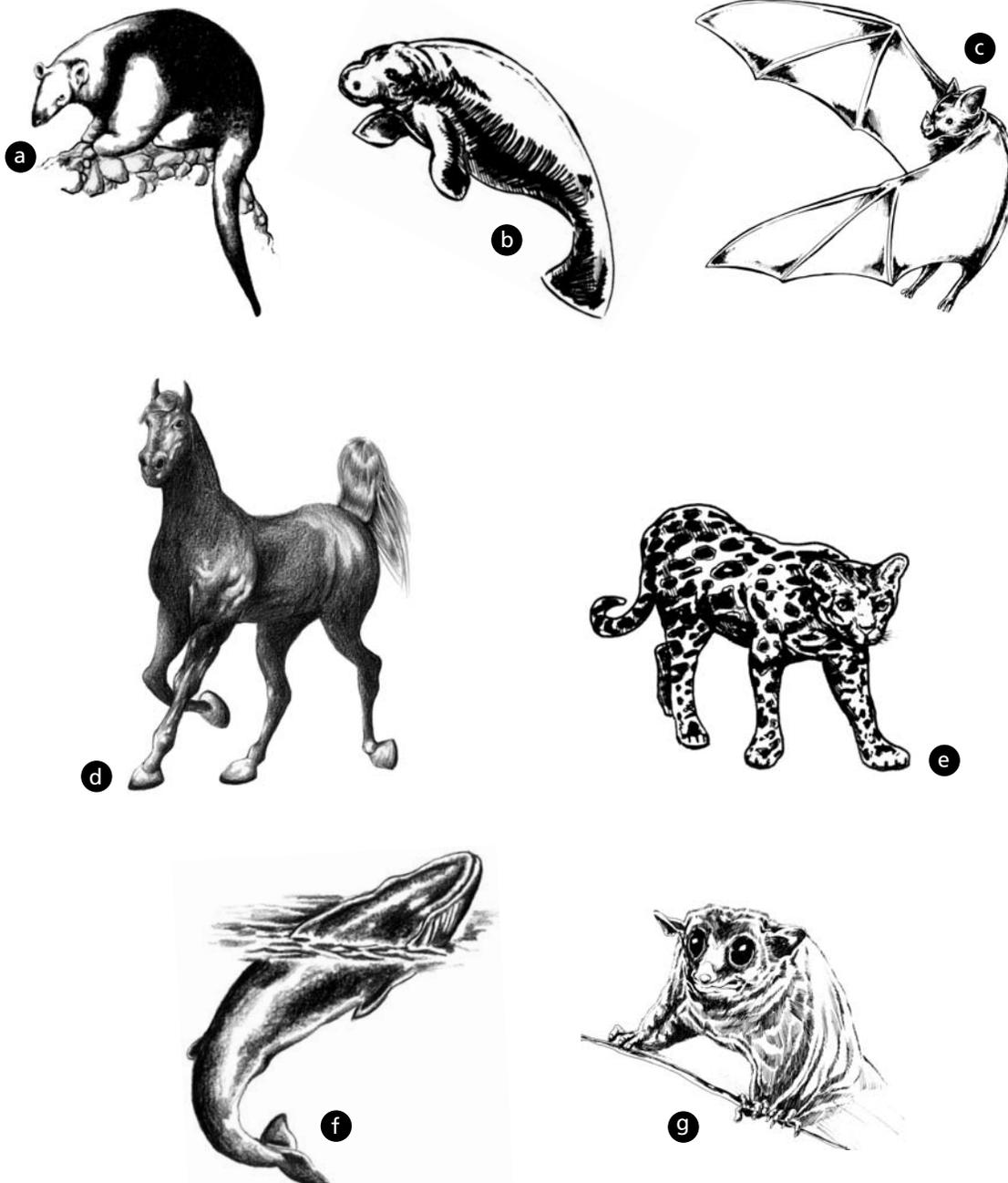


Figura 20.21: **Mammalia**: (a) tamanduá-mirim, (b) peixe-boi, (c) morcego, (d) cavalo, (e) jaguatirica, (f) baleia-azul, (g) gambá.

RESUMO

Os animais apresentam diversas variações em sua estrutura básica as quais formam os planos corpóreos dos principais filos animais. Aqueles desprovidos de tecidos verdadeiros são representados, atualmente pelos poríferos. Os animais com dois tecidos embrionários (diplobásticos) são representados, atualmente pelos cnidários e os ctenóforos. Com o aparecimento do terceiro folheto embrionário, o mesoderma, que veio se somar ao ectoderma e ao endoderma preexistentes, surgem os triploblásticos e suas quatro condições: acelomada, pseudocelomada, esquizocelomada e enterocelomada. Entre os acelomados se destacam os platelmintos de vida livre ou parasitas. Os pseudocelomados também são representados por formas de vida livre e parasitas, algumas parasitando seres humanos.

Os esquizocelomados cujo blastóporo origina a boca são geralmente animais metaméricos. As formas metaméricas apresentam uma grande diversificação representada pelos anelídeos como as minhocas (oligoquetas), as sanguessugas (hirudíneos) e diversas formas tipicamente marinhas (poliquetas). Os moluscos, apesar de não apresentarem uma metameria em suas formas adultas, também são relacionados aos protostômios celomados, sendo comuns em ambientes marinhos, dulciaquícolas e terrestres. Destacam-se pela diversidade e pela importância ecológica e comercial de formas como os caramujos (gastropodes), os mexilhões (bivalves), as lulas e os polvos (cefalópodes).

Os enterocelomados, cujo blastóporo origina o ânus, também são metaméricos, mas seu corpo é geralmente tripartido. Destacam-se os equinodermos, formas todas marinhas e os cordados, providos de um bastão flexível a notocorda, como acontece nos urocordados, onde esta é muito restrita. Dentre os cordados, se destacam pela diversidade e pela conquista do ambiente aéreo os vertebrados, onde a notocorda foi substituída pela coluna vertebral. Os vertebrados foram durante muito tempo classificados por grupos polifiléticos como os peixes e os répteis. Atualmente, a classificação mais correta, baseada apenas em grupos monofiléticos, inclui nos vertebrados os Chondrichthyes, representados pelos tubarões e raias, e os Actinopterygii que incluem os peixes de esqueleto ósseo. Os demais grupos conquistaram o ambiente aéreo como os anfíbios, os Lepidosauria (antigos répteis, sem Crocodilia), os crocodilos e os bem conhecidos aves e mamíferos (**Quadro 20.1**).

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula apresentaremos as principais formas de sustentação e locomoção adotadas pelos animais.

Quadro 20.1: Agrupamentos taxonômicos apresentados nesta aula.

Diploblástico	Protostomado	Acelomado	Porifera
		Pseudocelomado	Cnidaria
Triploblástico	Esquizocelomado	Annelida	Platyhelminthes
			Nematoda
			Rotifera
		Arthropoda	Hirudinea
			Oligochaeta
			Polychaeta
	Mollusca	Arachnida	
		Crustacea	
		Insecta	
		Myriapoda	
	Enterocelomado	Chordata	Bivalvia
			Cephalopoda
			Gastropoda
Echinodermata		Actinopterygii	
		Amphibia	
		Aves	
		Chondrichthyes	
	Crocodylia		
	Lepidosauria		
	Mammalia		
Deuterostomado		Reptilia	

Suporte, locomoção e flutuabilidade

AULA 21

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Compreender as principais estratégias utilizadas pelos metazoários para se manter e se movimentar em um meio menos denso.

Pré-requisitos

Aula 14 – Origem dos metazoários.

Aula 15 – Arquitetura animal (Parte I).

Aula 16 – Arquitetura animal (Parte II).

INTRODUÇÃO

Com o surgimento da multicelularidade em alguns grupos, ocorreu a tendência de aumento no tamanho corpóreo. Para que houvesse este aumento, a constelação de células que formam o corpo de um metazoário teria de se manter de forma ordenada em um meio que é menos denso que estas células, o meio aquático e, posteriormente, o meio aéreo. **A capacidade de manter a forma em um meio pouco denso é o que se denomina capacidade de sustentação. A partir desta capacidade de sustentação, pequenas alterações da forma levaram à habilidade de o animal se mover em relação ao meio, o que denominamos forma genérica de locomoção.** As formas de sustentação e locomoção variam muito entre os diferentes grupos animais, entretanto, todas se baseiam em alguns princípios básicos relacionados às características físicas do meio, como a densidade e a viscosidade, e dos animais, como a dimensão e a velocidade. As características físicas e as principais estratégias apresentadas pelos animais para se sustentarem e se locomoverem no meio ambiente serão apresentadas a seguir.

ESQUELETOS

A manutenção da forma do animal em um meio menos denso se dá através de estruturas denominadas esqueletos. As estruturas que primariamente têm a função de manter o corpo suspenso podem, eventualmente, alterar sua forma. Se isto ocorrer de uma maneira coordenada, pode levar o animal a se deslocar. Tal deslocamento, denominado locomoção, surgiu de forma independente (portanto homoplástica) em uma grande gama de grupos animais. Locomover-se passou a ser vantajoso, já que o animal pode com isso procurar recursos, como, por exemplo, alimentos em uma área maior. Por outro lado, uma presa em potencial pode se utilizar da mesma locomoção para evitar virar a refeição de um predador ágil. Isto explica, de certa forma, como a locomoção se tornou uma característica tão marcante dos animais, em contraposição aos vegetais com sua quase total imobilidade.

Os esqueletos podem ser classificados, a grosso modo, em:

- **Esqueletos moles.**
- **Esqueletos rígidos internos.**
- **Esqueletos rígidos externos.**

Esqueletos moles

O termo “esqueletos moles” pode parecer estranho, pois estamos acostumados com o nosso esqueleto feito de ossos extremamente rígidos. Entretanto, animais que apresentam corpos moles podem utilizar-se do fato de a água ser praticamente incompressível para se manter eretos ou mesmo alterar a sua forma. Esta propriedade dos líquidos externos foi discutida na Aula 20, quando citamos as vantagens adaptativas do celoma.

Esqueletos moles ocorrem, por exemplo, nas minhocas e nas anêmonas-do-mar.

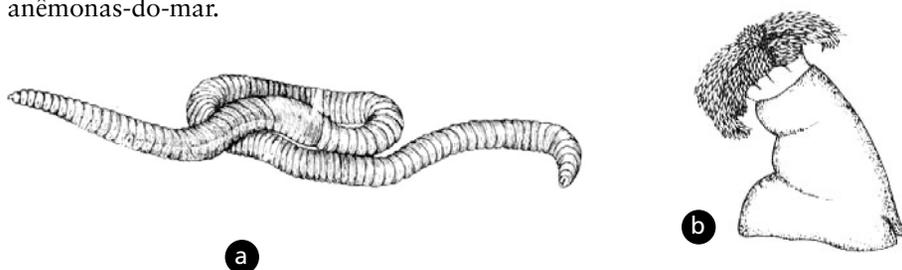


Figura 21.1: (a) minhoca e (b) anêmona-do-mar.

Esqueletos rígidos internos

São os esqueletos mais familiares para nós, humanos; é o caso de nosso esqueleto, assim como o dos demais vertebrados. Alguns animais não vertebrados como as holotúrias (pepino-do-mar), as lulas e as esponjas também os apresentam na forma de pequenas espículas internas.

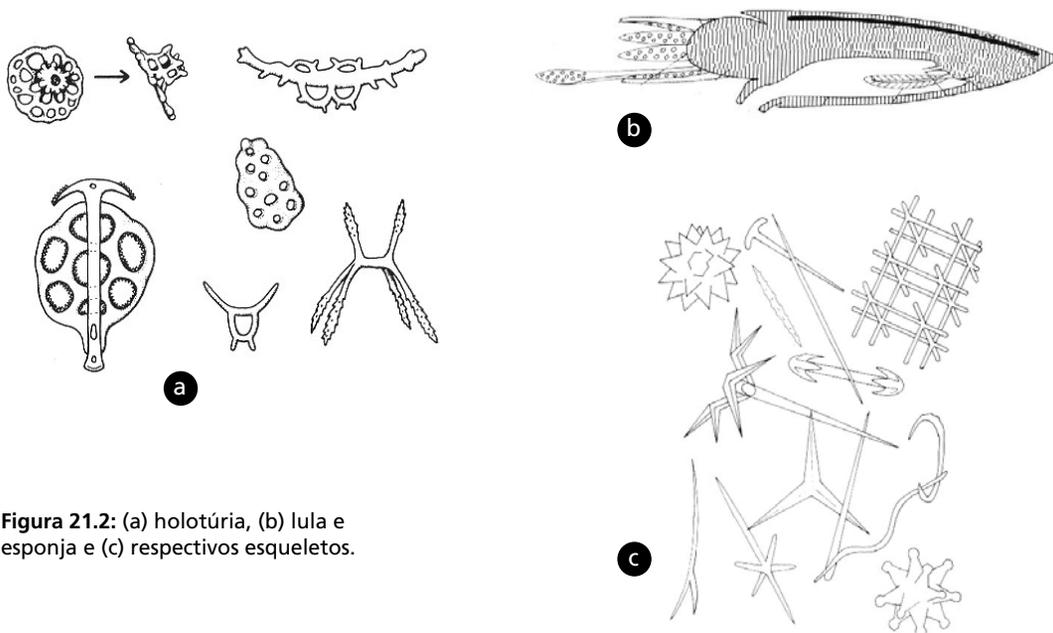
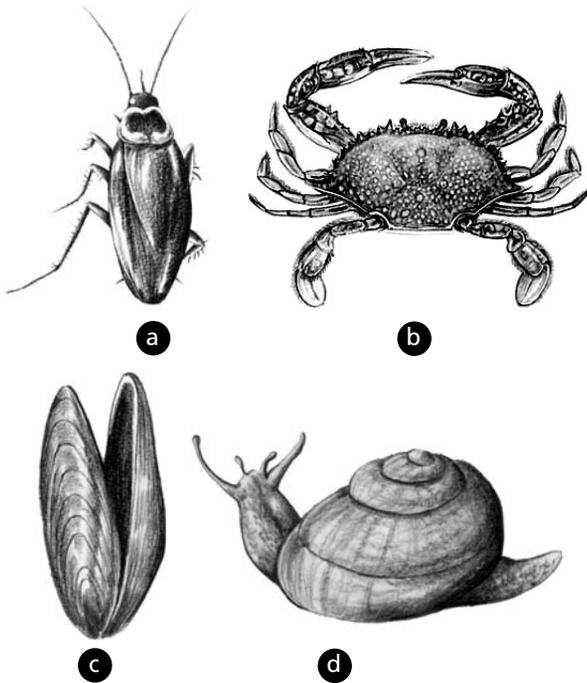


Figura 21.2: (a) holotúria, (b) lula e esponja e (c) respectivos esqueletos.



Esqueletos rígidos externos

São os esqueletos que envolvem o corpo, funcionando não apenas na sustentação e na locomoção, mas também na proteção do corpo. São formados pelo endurecimento da parede externa do corpo. Embora comuns em diversos grupos, são mais conhecidos como o esqueleto típico dos artrópodes (lembre-se disto ao pisar em uma barata ou tentar saborear um siri ou caranguejo) e moluscos como mexilhões e caramujos, nestes casos denominados conchas.

Figura 21.3: (a) barata, (b) siri, (c) mexilhão e (d) caramujo.

ESQUELETOS E LOCOMOÇÃO

A maioria dos esqueletos citados tem a dupla função de sustentação e de locomoção. De acordo com a mobilidade do animal em relação ao meio ambiente, podemos classificar a locomoção em três tipos:

- Locomoção passiva.
- Locomoção ativa.
- Sessilidade.

PLÂNCTON

Organismos aquáticos que vivem em suspensão na água e que embora possam se locomover ativamente, sua capacidade de locomoção não é suficiente para se contrapor aos movimentos da água.

Locomoção passiva

A locomoção passiva é aquela que ocorre quando o meio se move carregando o animal. A função do esqueleto, neste caso, é de sustentação, mantendo o animal suspenso no meio. É o que ocorre nos animais ditos **PLANCTÔNICOS**. Neste caso, o animal se mantém imóvel ou praticamente imóvel em relação à água, mas, como esta se move, o animal muda de posição em relação ao resto do planeta. Seu custo energético é, portanto, reduzido.

Locomoção ativa

É a forma de locomoção mais conhecida por nós, e ocorre quando o animal gasta energia para se mover através do meio ambiente.

Sessilidade

Embora os animais *sésseis* não se locomovam de fato, pois não mudam de posição em relação ao planeta, estes podem gastar energia para mover o meio aquático através deles. É a situação oposta da locomoção passiva. Neste caso, considera-se como uma forma genérica de locomoção, pois ocorrem movimentos homólogos à locomoção das formas livres do mesmo grupo. Um bom exemplo é o caso das **CRACAS**, cujas patas se movimentam para que a água se mova sobre elas trazendo alimento. Estas patas, assim como seus movimentos, são homólogas às patas dos camarões, por exemplo, que também são crustáceos.

CRACAS

Crustáceos sésseis da Ordem Cirripédia. É o único grupo de crustáceos que apresenta hábito sésstil, embora descenda de ancestrais que tinham o hábito natante.

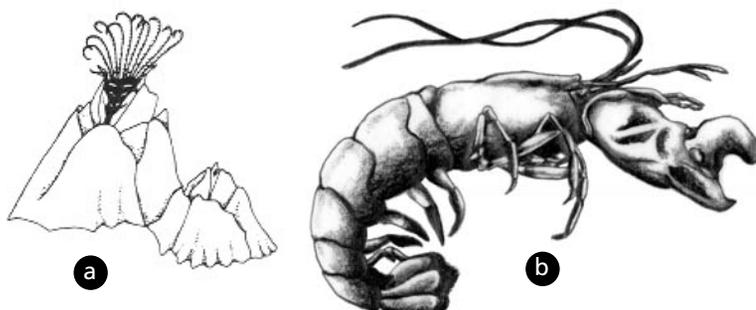


Figura 21.4: (a) craca (com apêndices para fora) e (b) camarão.

VISCOSIDADE E LOCOMOÇÃO

Embora muitos livros didáticos considerem a água como um líquido viscoso, o conceito de **VISCOSIDADE** de um fluido depende da dimensão do objeto que por ele passa. Por exemplo, o óleo de um motor é classificado em diferentes viscosidades, mas sempre considerando que o vão entre o pistão e o cilindro é o mesmo.

Da mesma forma, se você colocar um alfinete sobre uma tigela de mel, ele não afundará; entretanto, se você colocar um martelo, o mel não parecerá tão viscoso.

VISCOSIDADE

É uma medida da resistência de um fluido a um fluxo devido à coesão entre suas moléculas. Pode ser definida também como capacidade que um meio tem de resistir à mudança de forma.

NÚMERO DE REYNOLDS

É um número adimensional, isto é, não apresenta uma dimensão, pois os termos da equação se anulam. A unidade de u é metros/segundo, a de d é metros e a de v é metros ao quadrado/segundo, ou seja: $m\ s^{-1} \times m / m^2\ s^{-1}$

COPÉPODE

Pequeno crustáceo de hábito planctônico. Possui uma carapaça pouco desenvolvida e raramente ultrapassa o tamanho de alguns milímetros.

Da mesma forma, podemos estabelecer uma relação entre a viscosidade do meio e o movimento de um animal, que no caso funciona como um objeto que se move com uma determinada velocidade. Esta relação é representada por um número denominado **NÚMERO DE REYNOLDS**, o qual é expresso pela relação:

$$u \times d / v$$

Onde: u = velocidade do objeto

d = dimensão do animal

v = viscosidade cinemática do meio

Quando o Número de Reynolds é muito baixo, predominam as forças viscosas; quando ele é alto, predominam as forças inerciais, isto é, a viscosidade é considerada pouco importante durante o movimento. Para compreendermos melhor esta relação, vamos a alguns exemplos.

Suponhamos o caso de um **COPÉPODE** que tenha uma dimensão de 1 mm (ou 0,001m) e uma velocidade de 1 mm/s (ou 0,001m/s). Considerando-se que a viscosidade da água é de 0,000001m²/s, o Número de Reynolds, no caso, seria:

$$0,001 \times 0,001 / 0,000001 = 1$$

Da mesma forma, suponhamos uma baleia cujo tamanho é da ordem de 30 m e a velocidade 50 km/h (=14 m/s); neste caso, o Número de Reynolds seria:

$$30 \times 14 / 0,000001 = 420.000.000$$

Nos dois casos, vemos quão diferentes são os Números de Reynolds. Agora, vamos observar o movimento de cada um destes animais. Pequenos crustáceos planctônicos têm o hábito de se locomover através do batimento de suas antênulas. Cada batida de antênula tem como resposta uma espécie de salto para a frente. Quando o movimento cessa, o animal pára quase que imediatamente, isto porque o meio oferece muita resistência devido à viscosidade. O animal gasta energia toda vez que se locomove.

Ao contrário, a baleia bate suas nadadeiras no início da locomoção, depois cessa seu batimento e ela continua se movimentando devido à inércia; neste caso, o meio oferece pouca resistência, a viscosidade é muito pequena. O custo energético é grande apenas para iniciar o movimento, tirar o animal do repouso; depois, a inércia dá conta do resto do movimento. A baleia não pára imediatamente de se mover quando cessa o movimento de sua nadadeira caudal.

Esta relação do Número de Reynolds com o tipo de movimento está diretamente ligada à relação área/volume. Lembre-se de que a locomoção ocorre porque o volume do corpo está gerando energia enquanto a superfície (= área) está oferecendo resistência. Com o aumento do tamanho corpóreo, diminui a relação área/volume e também diminui a área de resistência ao movimento em relação ao volume que gera o movimento.

Com isso, temos dois mundos bem distintos no meio aquático: o mundo dos animais de Números de Reynolds baixos, onde predomina uma água viscosa e o mundo dos animais de Número de Reynolds altos, onde a água é pouco viscosa e permite, portanto, que a inércia leve a uma locomoção mais longa.

Outra forma de ver o problema é quando mudamos o meio. No caso anterior, o denominador da equação do Número de Reynolds é o mesmo, já que o meio é o mesmo.

Mas, e quando o meio é diferente ?

Suponhamos o caso de um pequeno inseto, que tenha uma dimensão semelhante à do crustáceo do exemplo anterior. Será que eles se locomovem da mesma forma?

Bem, se o meio muda, o denominador da equação também. No caso do meio aéreo, a viscosidade é muito inferior à da água. Dessa forma, para mesma dimensão e velocidade, os Números de Reynolds seriam muito maiores no ambiente aéreo do que no aquático.

É por isso que muitos animais aquáticos flutuam no meio, enquanto no meio aéreo isto é muito mais raro. Você não encontra pequenos organismos flutuando no ar, com exceção de grãos de pólen ou microorganismos invisíveis a olho nu. Já no meio aquático, formas de mais de 5 mm podem flutuar facilmente no meio.



Lembre-se!

Explorar, em nossa área, refere-se a um processo que inclui a ocupação e o uso do ambiente / local.

Os animais que se utilizam do meio aéreo para se locomover, como a mosca, não param imediatamente quando cessam de bater as asas. No entanto, quanto menor o mosquito, mais rápido ele pára, e mais seu movimento parece “em pulos”, como no caso do pequeno crustáceo. Assim, a fauna que **explora** o mundo de baixos Números de Reynolds no ambiente aéreo é muito mais restrita do que aquela dos ambientes aquáticos, e isto é uma das grandes diferenças na ocupação destes dois ambientes pela fauna e pela flora.

FLUTUAÇÃO

A ocupação do meio pelas formas aquáticas devido à maior densidade e, conseqüentemente, à maior viscosidade da água permitiu que estes animais se utilizassem da mobilidade do meio aquático para se locomover passivamente, como apresentado em "Locomoção passiva".

Embora a densidade da água seja alta, sendo igual a 1000 kg/m^3 para água pura e cerca de 1,026 para a água do mar, os principais constituintes orgânicos, como proteínas e carboidratos, são mais densos que a água, exceto pelos lipídeos (**gorduras**) cujas densidades são inferiores (cerca de 0,9).

Como a maior parte do corpo de um animal é de proteínas e de carboidratos, estes tendem a afundar lentamente na água. Para poder explorar continuamente a coluna de água e dela se utilizar para se locomoverem, esses animais apresentam algumas adaptações para diminuir ou simplesmente anular a taxa de afundamento.

As principais adaptações são:

- Redução do conteúdo de elementos pesados.
- Armazenagem de óleos e gorduras.
- Câmaras de ar.
- Alteração da superfície de resistência ao afundamento.



Repare que o óleo de cozinha (gordura vegetal) ou a banha (gordura animal) não se misturam com a água por serem mais leves.

Redução do conteúdo de elementos pesados

Alguns grupos animais como moluscos e artrópodes, principalmente, apresentam carapaças e conchas que são compostas por elementos pesados, como por exemplo o carbonato de cálcio das conchas de mariscos e caramujos. A redução desta concha, nas formas que flutuam, diminui muito a taxa de afundamento. As **LEBRES-DO-MAR**, por exemplo, são gastrópodes cujas conchas são muito reduzidas e internas; desta forma, podem nadar na coluna de água, ao contrário dos demais gastrópodes.

Outra forma de redução é através da diluição do corpo. O corpo de alguns animais apresenta uma porcentagem de água muito maior do que outros animais. Este é o caso das medusas e também dos **CTENÓFOROS** e **SALPAS**. Nestes animais, a porcentagem de água no corpo pode ultrapassar 95% do peso total, diminuindo muito a taxa de afundamento.

Alguns animais substituem íons pesados como Magnésio (Mg^{+2}) e Sulfato (SO_4^{-2}) por íons mais leves como Sódio (Na^+) e Cloro (Cl^-). Este mecanismo ocorre em diversas formas planctônicas como as salpas, os ctenóforos e algumas formas de lulas.

LEBRE-DO-MAR

Gastrópode marinho do gênero *Aplysia*.

CTENÓFORO

Animal diploblástico planctônico provido de pentes de cílios.

SALPA

Animal urocordado com uma túnica externa e de hábito sempre planctônico.

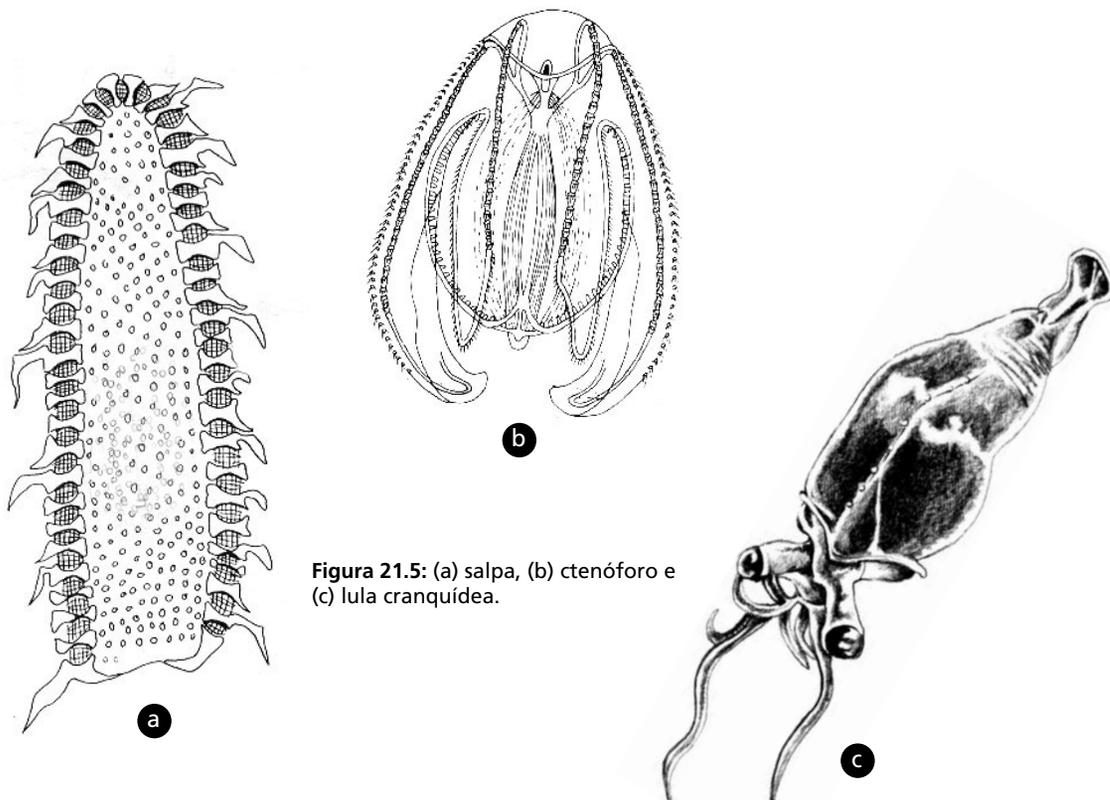


Figura 21.5: (a) salpa, (b) ctenóforo e (c) lula cranquídea.

Armazenagem de óleos e gorduras

Os animais podem armazenar energia de diversas formas. Como as gorduras e óleos têm uma densidade menor do que a da água, muitos animais planctônicos utilizam-se destes produtos para armazenagem energética, o que além de ser uma forma de reserva de alimento, também permite uma redução na taxa de afundamento. Esta estratégia não é exclusiva de animais planctônicos, alguns animais do nécton, como peixes (embora sejam natantes, também estão sujeitos ao afundamento), utilizam-se desta mesma estratégia. Cações e tubarões, por exemplo, armazenam grandes quantidades de óleos em seus fígados, assim como o bacalhau. Muitos de nós tiveram aquela experiência, nem sempre agradável, de tomar uma colherzinha de ‘óleo de fígado de bacalhau’ devido as suas propriedades nutritivas ou mesmo terapêuticas.

Câmaras de ar

Talvez a estratégia mais eficiente para diminuir a densidade específica de um animal seja a presença de câmaras de ar ou outros gases, os quais funcionariam como uma verdadeira bóia para estes animais. Muitos destes são formas que não apenas se mantêm em suspensão, mas flutuam sobre a superfície da água. Este é o caso de cnidários como as caravelas-portuguesas e alguns gastrópodes planctônicos, estes últimos capazes de se manter em suspensão mesmo carregando uma concha calcárea.

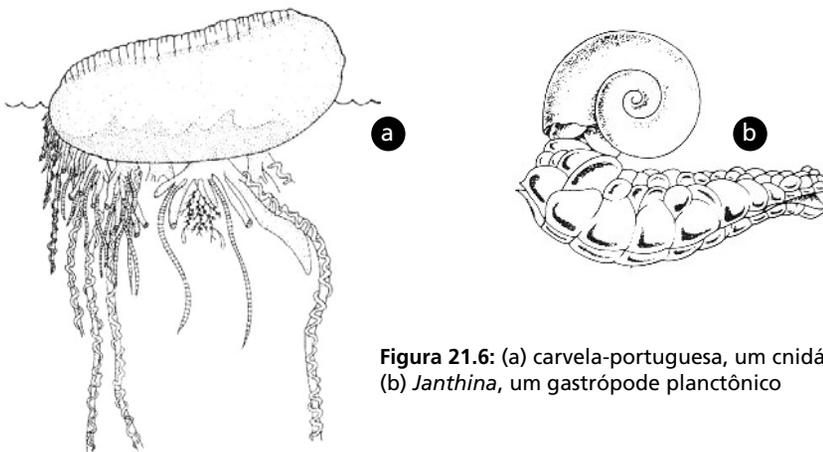
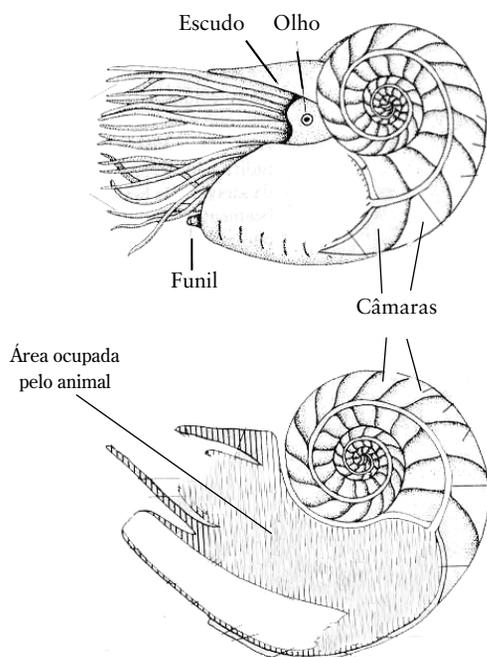


Figura 21.6: (a) carvela-portuguesa, um cnidário e (b) *Janthina*, um gastrópode planctônico



Em se falando em conchas pesadas, moluscos cefalópodes, como os nautilóides (aparentados dos polvos e lulas), possuem conchas extremamente grandes e pesadas, entretanto, conseguem se manter em suspensão, pois estas conchas são formadas por câmaras isoladas onde o animal secreta, ativamente, um gás que contrabalança o peso do carbonato de cálcio da concha.

Figura 21.7: *Nautilus sp.* e sua concha com câmaras de gás interligadas.

Peixes ósseos natantes também sofrem o mesmo tipo de problema devido à grande densidade de seus ossos e músculos. Para isso, apresentam um órgão denominado **bexiga natatória**. Ela pode variar seu volume interno através da secreção ou absorção dos gases internos em função da **profundidade** onde o peixe se encontra. O funcionamento da bexiga natatória é muito semelhante ao sistema utilizado em submarinos para submersão e emersão.

! Conforme aumenta a profundidade da água, aumenta também a pressão. Para cada dez metros de profundidade, a pressão aumenta em uma atmosfera. Como o volume é diretamente proporcional à pressão, um peixe com uma bexiga de 200 ml de volume e que está à 10 metros de profundidade, terá sua bexiga contraída para 100 ml quando descer a 20 m de profundidade. Desta forma, ele terá que secretar mais gás para a bexiga a fim de manter a mesma flutuabilidade.

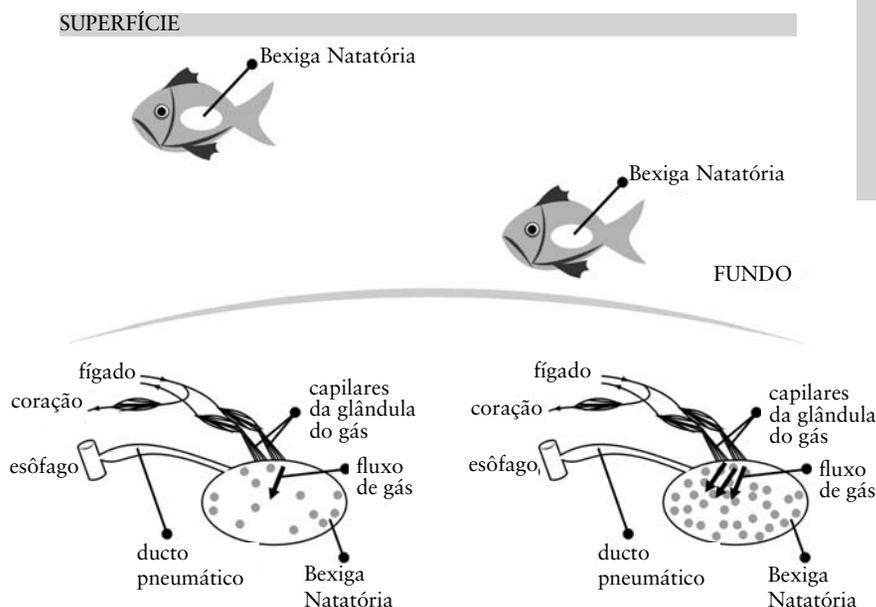


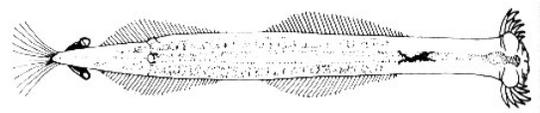
Figura 21.8: Bexiga natatória de um peixe ósseo e seu funcionamento.

Alteração da superfície de resistência ao afundamento

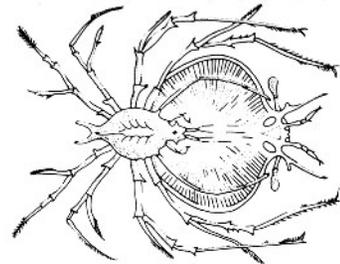
Da mesma forma que a viscosidade limita a capacidade de natação em números de Reynolds baixos, esta também diminui a taxa de afundamento. Por esta razão, boa parte dos animais planctônicos é de tamanho muito pequeno. Mesmo assim, muitos destes animais ainda são mais densos que a água e tendem a afundar.

Como a viscosidade está relacionada com a superfície do corpo, modificações na forma do corpo que levam a um aumento da superfície fazem com que a viscosidade ‘ajude’ o animal a diminuir sua taxa de afundamento. Este aumento da superfície pode ocorrer através de corpos alongados, como nos **QUETOGNATOS**; de corpos achatados, como nos próprios quetognatos ou em larvas como as da lagosta; através de projeções no corpo na forma de cerdas longas; com o aumento no número de cerdas. Estas são comuns na maioria das larvas de não vertebrados ou mesmo de adultos como diversos copépodes.

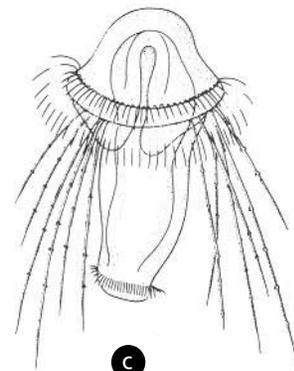
Portanto, como a superfície relativa diminui quando há um aumento nas dimensões do corpo, as formas planctônicas, ao atingirem um determinado tamanho, apresentam a tendência de aumentar sua superfície relativa através das estratégias já citadas.



a



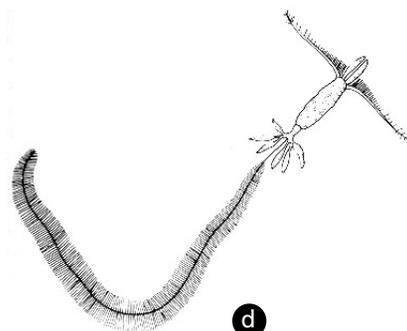
b



c

QUETOGNATOS

Animal predador planctônico com aletas no corpo, semelhante a uma flecha.



d

Figura 21.9: (a) Um quetognato alongado e achatado, (b) uma larva achatada de lagosta, (c) uma larva de poliqueta com cerdas e cílios, (d) um copépode com cerdas em forma de penas.

RESUMO

Os metazoários vivem em um meio menos denso que suas próprias células e, por esta razão, apresentam estruturas de sustentação denominadas esqueletos. Estas estruturas, primariamente de sustentação, podem também ser utilizadas para sua movimentação em relação ao meio. Os esqueletos podem ser moles, rígidos internos e rígidos externos. Quando eles são utilizados para a locomoção, ela pode ser passiva, ativa ou sésil. A capacidade de locomoção depende da viscosidade do meio em que o animal vive. A relação existente entre tamanho do corpo, velocidade do movimento e viscosidade pode ser descrita por um valor denominado Número de Reynolds. Em Números de Reynolds baixos, predominam as forças viscosas, enquanto em Números de Reynolds altos predominam as forças inerciais. Como os metazoários são mais densos que o meio aquático, eles se utilizam da viscosidade do meio para se manter em suspensão, para tanto apresentam algumas estratégias para diminuir sua taxa de afundamento. As estratégias mais comuns são: a redução de elementos pesados, a armazenagem de óleos e gorduras, a presença de câmaras de ar ou a alteração da superfície de resistência ao afundamento do corpo.

EXERCÍCIO AVALIATIVO

Considere um peixe como uma tainha de 30 cm de comprimento que nade a uma velocidade de 1 metro por segundo, e um peixe borboleta de 15 cm que nade a uma velocidade de 30 cm por segundo. Qual dos dois peixes precisa bater suas nadadeiras com mais frequência? Se você tiver a oportunidade de visitar um aquário, procure contar o número de batidas das nadadeiras dos peixes e suas velocidades relativas.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, veremos as principais formas de sustentação e locomoção utilizadas pelos animais que vivem nos ambientes aquáticos.

Suporte e locomoção em esqueletos moles

AULA 22

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as principais estratégias utilizadas pelos metazoários para se manter em um meio menos denso e se movimentar através dele.

Pré-requisito

Aula 21 – Suporte, locomoção e fluabilidade.

INTRODUÇÃO

CÍLIOS E FLAGELOS

Embora consideradas estruturas diferentes devido ao seu tamanho relativo e ao número que apresentam por células, não há dúvidas de que se trata de estruturas homólogas, com uma organização interna e externa muito semelhante. A principal diferença entre eles está no comprimento e no tipo de movimento que fazem.



Figura 22.1: Deformação de uma estrutura hidráulica em função da pressão exercida.

Como vimos na aula anterior, as estratégias de sustentação, fluatuabilidade e locomoção dependem do meio (mais viscoso – aquático; menos viscoso – aéreo) habitado pelos metazoários, conforme previsto pelo balanço entre as forças viscosas e inerciais. Este mesmo balanço envolve o tamanho relativo e a velocidade do animal em questão. Independente do meio onde vivem, os animais se sustentam ou se locomovem usando algum tipo de esqueleto – mole ou rígido. Entretanto, o tamanho de seus corpos será afetado pelas leis que regem sua movimentação, em função do ambiente.

Na aula anterior, mostramos que, tanto a sustentação quanto a locomoção dependem da presença de esqueletos. A capacidade de movimentação e locomoção seria apenas uma decorrência da sustentação. Normalmente, os sistemas orgânicos utilizados para esta movimentação são baseados em sistemas hidráulicos.

Por ser um líquido praticamente incompressível, a água, quando pressionada, oferece uma reação que irá deformar o corpo ou a estrutura locomotória (**Figura 22.1**). Este é o princípio hidráulico que veremos nesta aula e que será fundamental para todas as formas de locomoção no reino animal. Dependendo do sistema locomotor envolvido, podemos dividir a locomoção animal em dois tipos: **LOCOMOÇÃO CILIAR OU FLAGELAR** E **LOCOMOÇÃO MUSCULAR**.

LOCOMOÇÃO CILIAR E FLAGELAR

Cílios e flagelos são estruturas celulares na forma de evaginações da superfície do corpo cuja movimentação se baseia em microfibrilas que deslizam entre si. Com isto, quando as fibrilas de um lado se contraem, o líquido interno é forçado para o outro lado, causando uma curvatura na estrutura (**Figura 22.2.a**). No cílio, o movimento é de ondas longas que fazem com que ele bata vigorosamente estendido e se recupere lentamente curvado. No flagelo, por outro lado, a deformação se dá por ondas curtas que correm ao longo dele. O resultado é que no primeiro caso o movimento é perpendicular ao cílio e no segundo o movimento é ao longo do flagelo (**Figura 22.2.b**).

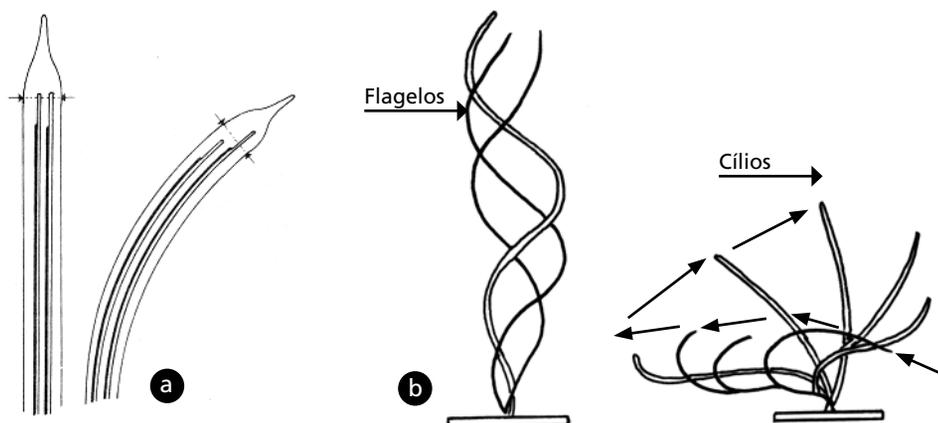


Figura 22.2: (a) Encurvamento de um cílio; (b) batimento ciliar e flagelar (Barnes *et al.*, 1995).

Como cílios e flagelos são estruturas celulares superficiais, eles são úteis na locomoção apenas quando a **relação área/volume** do corpo é muito grande. Ou seja, em organismos maiores, o volume corpóreo a ser carregado é muito grande em relação à área que gera o movimento. Desta forma, os únicos metazoários que apresentam flagelos em sua locomoção (no meio aquático) são as esponjas (coanócitos) e os espermatozóides dos metazoários. Cílios, por sua vez, são comuns em larvas de metazoários, por terem elas um tamanho pequeno (**Figura 22.3**).



Note que a energia para a locomoção é gerada, no caso dos cílios e flagelos, apenas pela superfície, daí a sua limitação quanto à relação área/volume. Pois é o peso (volume) do corpo que deve ser carregado durante a locomoção.

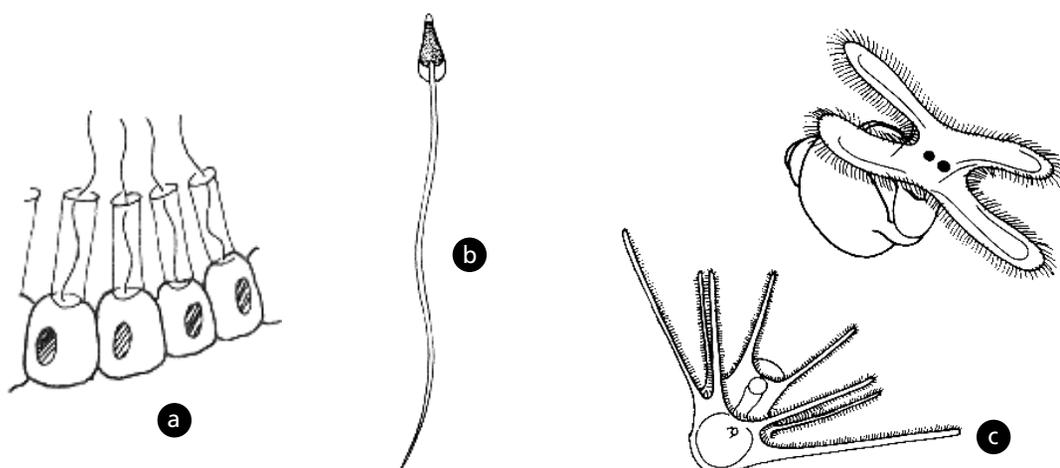


Figura 22.3: (a) Coanócito de esponja; (b) espermatozóide de metazoário; (c) larva de metazoário (Barnes *et al.*, 95).

NEMERTEA

Do grego *Nemertes* = uma ninfa marinha. Vermes acelomados como os platelmintos, mas que apresentam uma tromba invaginável independente do tubo digestivo. Este filo será abordado na disciplina Biologia dos Protostomados.

Algumas vezes, animais maiores podem manter cílios locomotores associados à outra forma de locomoção. Por exemplo, os platelmintos com seu corpo achatado (com uma alta relação área/volume) podem utilizar cílios para auxiliar a sua locomoção muscular. Um caso curioso é o de alguns **NEMERTÍNEOS** que, além de apresentarem um corpo achatado, secretam uma espécie de tapete de muco. Como o muco é muito mais viscoso do que a água, ele altera o número de Reynolds e assim permite a locomoção ciliar em um corpo de tamanho maior. Neste caso, o muco é um ambiente onde predominam forças viscosas para um corpo de maior tamanho, condição básica para a locomoção ciliar (Figura 22.4).

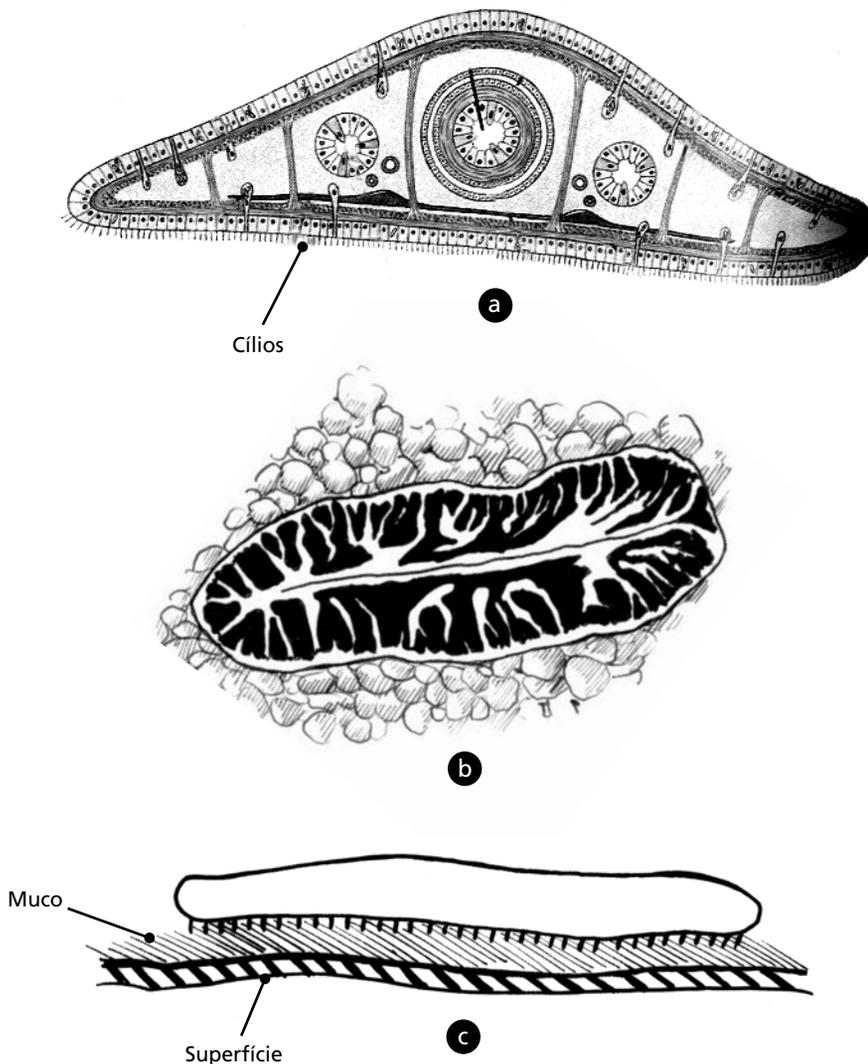


Figura 22.4: (a) Planária, em seção transversal, mostrando a forma achatada com grande área de contato se locomovendo (Hickman *et al.*, 1993); (b) planária locomovendo-se; (c) nemertíneo locomovendo-se por cílios sobre um tapete de muco.

Os ctenóforos também utilizam cílios em sua locomoção. Neles, os cílios estão organizados em estruturas semelhantes a ‘pentes’ distribuídos por tentáculos. Estes tentáculos aumentam em muito a superfície relativa do corpo dos cnidários, permitindo que atinjam alguns centímetros (Figura 22.5).

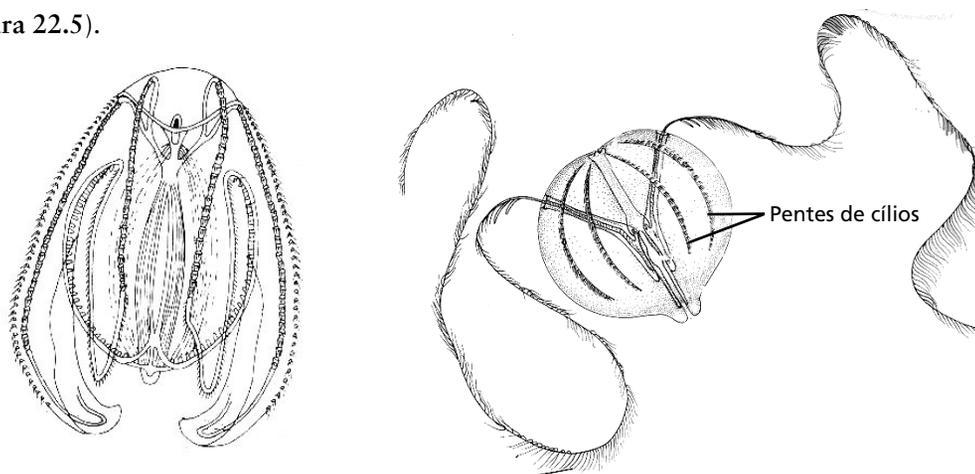


Figura 22.5: Duas espécies distintas de ctenóforos. Observe que nelas existem projeções para aumentar a superfície do corpo onde se localizam os ‘pentes’ de cílios (Brusca & Brusca, 1990).

LOCOMOÇÃO MUSCULAR

A locomoção muscular também se baseia no princípio hidráulico em que microfibrilas se deslocam simultaneamente. O deslocamento ocorre em nível celular e acarreta uma deformação na estrutura corpórea do animal, não sendo, portanto, apenas superficial. O princípio do funcionamento dos músculos é o da contração, ou seja, o seu encurtamento. A contração causa uma deformação no corpo e, se for contrabalançada por uma força no sentido oposto, pode levar à locomoção. Esse princípio é denominado **antagonismo**.

Por exemplo, quando você flexiona os músculos da parte superior do seu ombro para levantar o braço, um outro músculo antagonístico se contraiu para retornar à posição original. Quando um músculo age sobre uma estrutura esquelética flexível, semelhante a uma placa de plástico, deixa-a encurvada (deformada). Ao cessar a contração muscular, a energia elástica armazenada nas estruturas esqueléticas faz com que ela retorne à condição original. Na maioria dos metazoários, a movimentação se dá pelo antagonismo das musculaturas.

Nos esqueletos hidrostáticos (moles), a musculatura age sobre um líquido incompressível, no caso a água (veja nota no box a seguir), das diversas cavidades como o celoma, o pseudoceloma, a blastocel ou mesmo os líquidos extracelulares. Várias formas de locomoção são possíveis utilizando-se ação muscular sobre esqueletos hidrostáticos, como veremos a seguir.



Na realidade, a água pode ser comprimida sim, mas para fins práticos e para a escala dos animais sua compressibilidade é tão pequena que pode ser desprezada.

Esqueletos hidrostáticos de suporte

Muitos animais sésseis apresentam esqueletos hidrostáticos que os mantêm eretos, principalmente em ambientes aquáticos. Um bom exemplo é o da anêmona-do-mar (cnidários), cujo esqueleto é formado pela cavidade gastrovascular. O animal é mantido ereto pela contração da musculatura da parede do corpo e, principalmente, dos seus septos longitudinais sobre a água da cavidade gastrovascular (**Figura 22.6**). Como esta é aberta (como você viu na Aula 20, esta cavidade representa uma extensão do meio externo, estando ligada a ele por uma abertura), a tendência de a água sair do corpo é compensada pelo batimento de cílios localizados na região da abertura e do **SIFONÓGLIFO**. Portanto, existe um antagonismo da musculatura da parede do corpo e do batimento ciliar que age sobre um esqueleto hidrostático.

SIFONÓGLIFO

Funil que se expande para dentro da cavidade gastrovascular dos cnidários.

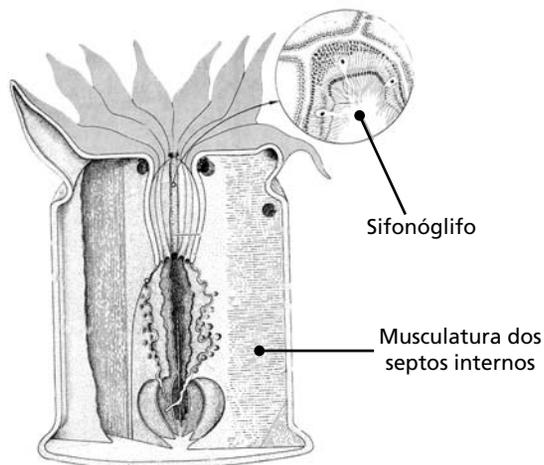


Figura 22.6: Anêmona-do-mar ereta. Observe a musculatura dos septos internos que contrai e a ciliação da sifonóglifo que age antagonicamente à musculatura (Brusca & Brusca, 1990).

Um exemplo mais complexo é o dos **briozoários**. Neles, há a combinação da carapaça externa (esqueleto rígido) com uma membrana ligada à musculatura. A contração da musculatura deforma a membrana que pressiona a água da cavidade interna do corpo. Não tendo como romper a carapaça externa, a água extravasa através de uma porção não endurecida (**Figura 22.7**), parecida com uma luva invertida, que vira pelo avesso e expõe uma coroa hidrostática para fora do corpo. A coroa é denominada **LOFÓFORO** e tem papel importante na alimentação e nas trocas gasosas desses animais.

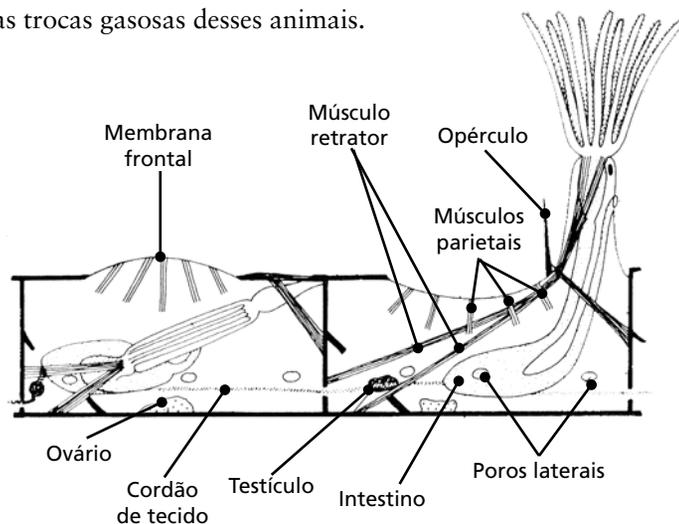


Figura 22.7: Briozoário com lofóforo recolhido e estendido (Barnes et al., 1995).

! Apesar de o esqueleto de muitos briozoários ser rígido, o seu funcionamento se dá pela parte mole do corpo, sendo portanto um tipo de esqueleto hidrostático.

LOFÓFORO

Ver disciplina de Biologia dos Protostomados.

Apesar de poderem se locomover, diversos moluscos bivalves permanecem boa parte do tempo enterrados no sedimento marinho, estando ligados à superfície através de sifões. A extensão dos sifões também é baseada no esqueleto hidrostático. O fechamento do par de conchas expulsa a água da cavidade externa do corpo, denominada cavidade do manto. Como a concha é rígida, a água tende a sair pelas partes moles, no caso os sifões. Eles se estendem e mantêm a forma através da pressão exercida pela água que é sugada para dentro do sifão através do batimento ciliar das brânquias, como no caso das anêmonas. A retração dos sifões se dá pela ação antagônica da musculatura longitudinal destes. Assim, temos músculo adutor, que força o fechamento das conchas e exerce pressão sobre a água estendendo o sifão, além do batimento ciliar que impede a expulsão total da água e mantém o sifão ereto por longo período. Estes funcionam de forma antagônica com a musculatura longitudinal, que recolhe o sifão (**Figura 22.8**).

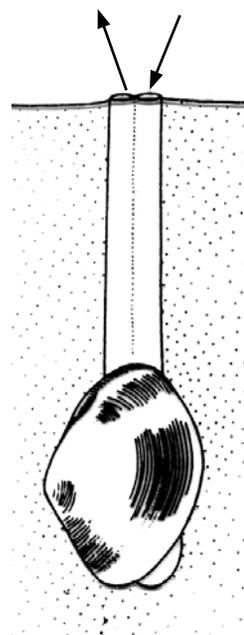


Figura 22.8: Bivalve com seu sifão inalante estendido (Brusca & Brusca, 1990).

Rastejamento

Esqueletos hidrostáticos de rastejamento são muito comuns no meio aquático e em diversos grupos aéreos, como minhocas e caramujos. No caso das minhocas, as contrações da musculatura ocorrem em ondas, ou seja, distintas partes do corpo encontram-se em diferentes estágios de contração (**Figura 22.9.a**). A deformação do corpo na forma de ondas se dá pela ação antagonista da musculatura circular, que envolve o corpo como anéis, e da longitudinal, que corre ao longo do corpo (**Figura 22.9.b**). Como ambas envolvem o celoma, a contração da musculatura circular pressiona a circunferência do celoma, levando a um afinamento do corpo e, conseqüentemente, ao afastamento das extremidades. Ao mesmo tempo, a contração da musculatura longitudinal leva à aproximação das extremidades e ao espessamento do corpo torna-o mais grosso. As contrações ocorrem alternadamente e em diferentes partes, formando ondas que correm ao longo do corpo. Para que haja movimento, é necessário que haja atrito entre o animal e o substrato por onde ele rasteja. Das porções do corpo que estão espessadas saem cerdas que auxiliam o animal a se fixar no substrato. As ondas correm no sentido de frente para trás; as partes afiladas, onde a musculatura circular está contraída, ficam livres e são, portanto, arremessadas para a frente, enquanto as partes espessadas dão apoio através do atrito (**Figura 22.10.a**). Como a onda corre em sentido contrário ao do movimento, ela é denominada **ONDA RETRÓGRADA**.

ONDAS RETRÓGRADAS

Apesar de parecer um contra-senso, a onda pode, sim, correr contra o movimento. Por exemplo, numa onda do mar, se você observar algum objeto boiando na superfície, notará que a energia passa em direção à praia, mas a água permanece assim como o objeto flutuante. Onda é uma transmissão de energia. Um outro exemplo é o da roda do carro, repare que em atrito com o asfalto, ela se move para trás, enquanto o carro se move para a frente.

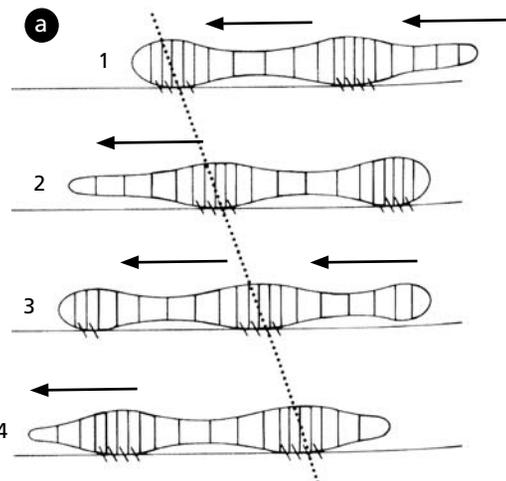
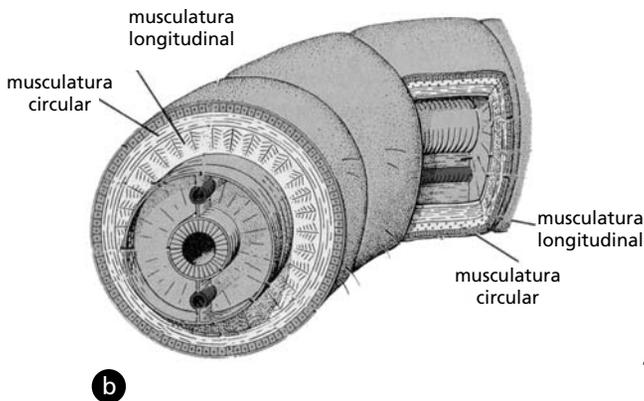


Figura 22.9: (a) Locomoção em minhocas, observe os pontos de apoio (atrito) entre o corpo e o substrato (Brusca & Brusca, 1990); (b) musculatura circular e longitudinal da parede do corpo da minhoca, envolvidas no processo de deformação do corpo (Hickman et al., 1993).

Os caramujos rastejadores também utilizam o alongamento e o encurtamento do corpo na locomoção. Entretanto, neles, o celoma é reduzido, representando apenas a cavidade pericárdica, e os demais espaços corpóreos correspondem a cavidades hemocelomáticas. A musculatura que envolve essas cavidades leva à sua deformação, ora alongando, ora encurtando as cavidades hemocelomáticas (Figura 22.10.a). A tração ocorre nas partes encurtadas do corpo, as quais se fixam no substrato através de um muco viscoso e não de cerdas como nas minhocas. A onda corre de frente para trás, ou seja, também são ondas retrógradas.

Em alguns caramujos, no entanto, a onda corre no sentido do movimento (de trás para a frente), denominando-se **onda direta** (Figura 22.10.b), e as partes alongadas é que estão em contato com o substrato, como se as cavidades hemocelomáticas empurrassem o animal para a frente. Neles, a locomoção é mais lenta e permite poucas manobras, mas, em compensação, permite uma maior tração, como no caso da marcha reduzida de um automóvel. Este tipo de locomoção é comum em caramujos aéreos, onde a densidade do meio é muito pequena e seus corpos têm um peso relativo maior, e também em alguns gastrópodes (caramujos) marinhos que têm conchas muito pesadas.

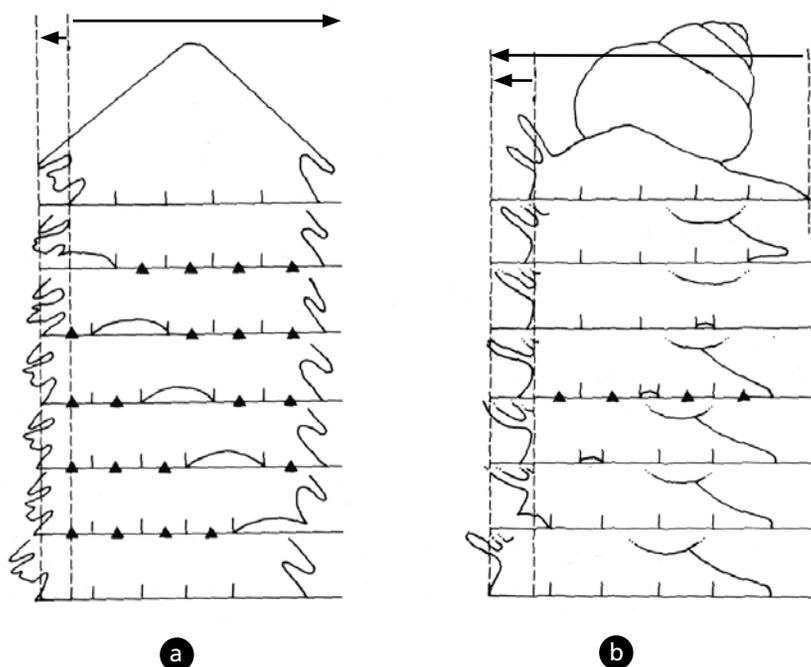


Figura 22.10: Rastejamento em gastrópodes (caramujos): (a) por ondas retrógradas; (b) por ondas diretas. Observe onde estão os pontos de apoio entre o corpo e o substrato (Barnes *et al.*, 1995).

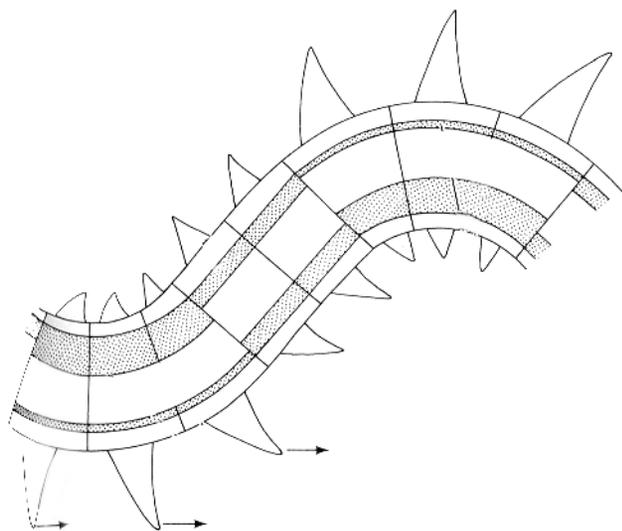
Ondas de rastejamento também podem ocorrer através de movimentos laterais do corpo. Neste caso, o antagonismo muscular ocorre quando os músculos longitudinais dos diferentes lados do corpo estão em estágios de contração distintos. Por só ter musculatura longitudinal, os nematódeos são bons exemplos. Neles, quando a musculatura de um lado se contrai, flexiona a cutícula da parede do corpo, que por ser elástica volta à posição normal com o relaxamento da musculatura. Da mesma forma, quando a musculatura longitudinal do outro lado contrai, ocorre o mesmo processo.

Outro tipo de movimento lateral é o movimento **SINUSOIDAL** ou **serpentiniforme** que ocorre em alguns anelídeos poliquetas. Neles, grupos de segmentos estão com a musculatura longitudinal do corpo contraída de um lado e relaxada do outro (**Figura 22.11**). A contração muscular empurra o líquido celomático para o outro lado que se curva, dando o movimento lateral. Com o movimento lateral, expansões portadoras de cerdas são arremessadas para frente e com o substrato dão a tração. Ao inverter o movimento, estas expansões, denominadas **parapódios**, puxam o corpo para a frente, funcionando como protótipo de uma perna. Como a parte que dá tração é aquela na qual a musculatura está relaxada (parte mais alongada), a onda é direta, pois corre no sentido do movimento. Neste caso, há uma combinação do esqueleto hidrostático com um apêndice. Como veremos adiante, esse método de locomoção será explorado com muito êxito pelos artrópodes e vertebrados.

SINUSOIDAL

Este tipo de movimento é denominado também movimento ondulatorio. Entretanto, como vimos, o movimento de locomoção de uma minhoca também se baseia em ondas, mas que correm no sentido do corpo. Por isso preferimos utilizar o nome sinusoidal. O termo serpentiniforme deve-se a muitas serpentes que utilizam este tipo de movimento para se locomover rapidamente, embora ao se locomoverem lentamente o fazem de outra forma.

Figura 22.11: Locomoção no poliqueta *Nereis*. Observe onde estão os pontos de apoio entre o corpo e o substrato e o estado de contração das musculaturas longitudinais em ambos os lados do corpo (Brusca & Brusca, 1990).



Escavação

Esqueletos hidrostáticos de escavação são muito comuns em sedimentos marinhos, como praias. Seu princípio básico é o mesmo do rastejamento, só que ao invés de várias ondas de contração, normalmente o corpo apresenta uma única onda. Um exemplo é um poliqueta de praias, denominado *Arenicola*. Ele contrai a musculatura circular da região anterior do corpo que fica afilada e penetra na areia. Depois, nessa mesma região, a musculatura longitudinal se contrai e, com o espessamento, as cerdas se ancoram na areia. Desta forma, o animal pode puxar o resto do corpo através da contração da musculatura longitudinal. Inicia-se então uma nova série de contrações, onde a parte anterior se afina, para penetrar mais fundo no sedimento, e depois se ancora com a contração da musculatura longitudinal para voltar a puxar o corpo (Figura 22.12).

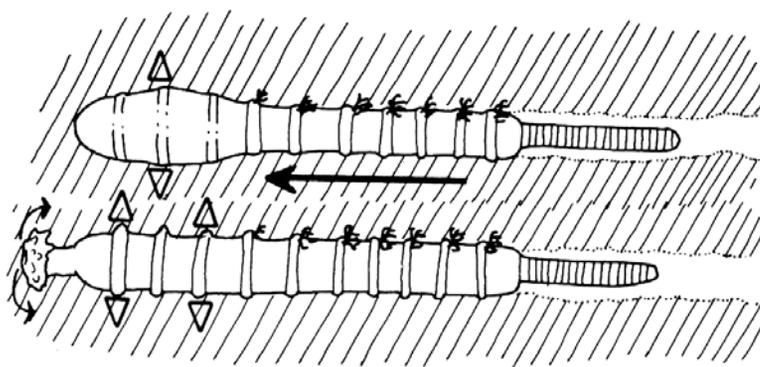


Figura 22.12: Escavação em *Arenicola*. Observe os pontos de ancoragem quando o animal está dilatado (Barnes et al., 1995).

Essa forma de escavação por ancoragem também é utilizada por moluscos bivalves como *Donax*, o popular sernambi. Neles, o pé muscular também apresenta pequenas cavidades hemocelomáticas, como nos caramujos, o que permite sua deformação se alongando ou encolhendo. O sernambi, além do pé muscular, apresenta duas conchas, que acabam funcionando como um outro sistema hidráulico, como será visto a seguir.

O pé se afina através da contração das cavidades hemocelomáticas e penetra no sedimento (**Figura 22.13**). Uma vez dentro do sedimento, este se alarga com a deformação antagônica das cavidades hemocelomáticas, ancorando o animal. O resto do corpo é então puxado pela musculatura longitudinal. Nesse momento, a musculatura que fecha as duas conchas se relaxa e, devido à elasticidade do **LIGAMENTO**, elas se abrem fazendo um segundo ponto de apoio ou ancoragem. Dessa forma, o pé é deixado livre para uma nova seqüência de afinamento para penetrar no sedimento e posterior alargamento para ancorar, liberando as conchas que se fecham devido à contração do músculo adutor. Com dois pontos de ancoragem, o animal apresenta uma habilidade de escavar rapidamente muito grande, como pode ser visto no comportamento dos sernambis ao longo da praia, próximo à água.

LIGAMENTO DAS CONCHAS

Observe que quando você encontra um par de conchas de sernambi na areia, elas estão sempre abertas e unidas devido a um ligamento elástico. Quando vivos, suas conchas permanecem fechadas, pois o músculo adutor da concha está constantemente contraído.

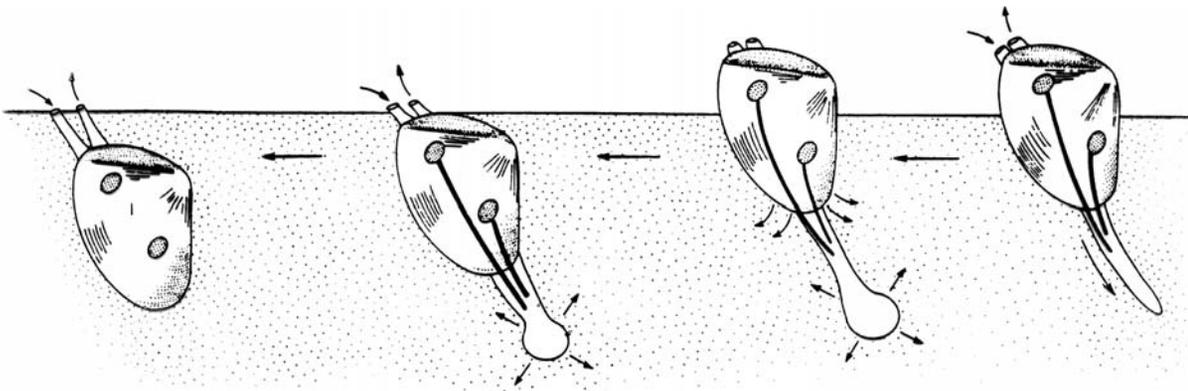


Figura 22.13: Escavação em sernambi (*Donax sp.*). Observe os pontos de ancoragem tanto do pé quanto das conchas (Brusca & Brusca, 1990).

Algumas anêmonas (cnidários) móveis que vivem associadas à areia, como as do gênero *Metapeachia*, também desenvolveram meios para escavação. Nelas, a porção basal de sua cavidade gastrovascular se deforma, ora afilando para penetrar na areia, ora se expandindo para sua ancoragem. Durante a escavação, elas se utilizam de músculos longitudinais para puxar o resto do corpo para dentro do sedimento (Figura. 22.14) de forma muito semelhante ao descrito em *Arenicola*.

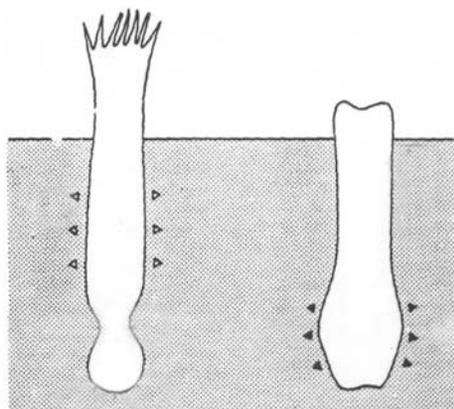


Figura 22.14: Escavação em anêmona-de-areia (*Metapeachia sp.*) (Brusca & Brusca, 2003).

Todos esses escavadores aproveitam-se, quando o meio é propício, das propriedades físicas dos sedimentos. Por exemplo, praias de areias muito finas (aquele tipo de praia dura em que uma bola pode pular) apesar de parecerem muito duras para a escavação, podem ser utilizadas por estes animais. Isto se deve a propriedades específicas deste tipo de sedimento, denominadas **TIXOTROPIA** e **DILATÂNCIA**.

Para compreender melhor esse processo, basta você observar que, em praias deste tipo, existe uma zona de transição meio úmida entre a areia encharcada (próxima ao mar) e a areia seca. Nesta zona de transição, se você exercer uma pressão contínua como, por exemplo, mantendo-se em pé sobre ela, você notará que em volta da área em que a pressão é exercida a areia fica seca e dura. Com o seu peso, a água que estava entre os grãos é expulsa e isto é o que denominamos **DILATÂNCIA**. Agora, se você começar a dar vários tapas sucessivos na mesma porção de areia – cuidado para não o acharem louco – você vai observar que a areia vai se liquefazendo, ficando cada vez mais mole. Isto é o que denominamos **TIXOTROPIA** do sedimento.

Os animais que escavam nesses tipos de praia utilizam a estratégia de ‘bater’ (o equivalente a seus tapas) na areia várias vezes para facilitar a escavação, deixando o sedimento mais mole devido à tixotropia. E quando ancoram, eles exercem uma pressão contínua, que expulsa a água e torna a areia mais dura (dilatância), facilitando sua ancoragem. Assim, o animal ‘endurece’ as laterais de onde está escavando e ‘amolece’ a parte a ser escavada, aproveitando as propriedades físicas dos sedimentos para poder habitar esse tipo de praia aparentemente de difícil escavação.

Um bom exemplo de **TIXOTROPIA** é quando você constrói um castelo de areia fina. Note que se você começar a dar tapas sucessivos, o castelo desmorona, porque se liquefaz, o atrito entre os grãos e a água entre eles é que é responsável por tal efeito.

Propulsão a jato

Alguns animais que vivem na coluna d'água utilizam também o esqueleto hidrostático para se locomoverem, só que, nesses casos, o esqueleto é um sistema aberto. Um exemplo clássico é o das lulas, cuja maior parte do corpo é representada por uma cavidade ligada ao meio externo (mar) por um sifão (**Figura 22.15.a**). A contração da musculatura circular da parede do corpo expulsa a água do interior dessa cavidade. A água ao passar por um sifão estreito funciona como um jato, levando a um movimento em saltos. O retorno do animal à condição normal do corpo também é devido ao antagonismo muscular. Com o relaxamento da musculatura circular, os músculos radiais se contraem, aumentando o volume da cavidade que se enche novamente de água.

UMBRELA

Nome derivado do inglês, refere-se à porção superior do corpo das medusas com forma de sino ou de guarda-chuva. Sua elasticidade se deve à presença de uma camada gelatinosa (mesoglêia) entre o ectoderma e o endoderma.

Nas medusas (cnidários) ocorre uma forma mais rudimentar de jato-propulsão. Nelas, a porção externa, denominada **UMBRELA**, também é um pouco elástica e quando ocorre a contração da musculatura circular em volta da umbrela, a água é forçada para baixo e, pelo princípio da ação e reação, a medusa dá pequenos saltos para cima, mas de forma muito menos eficiente do que as lulas.

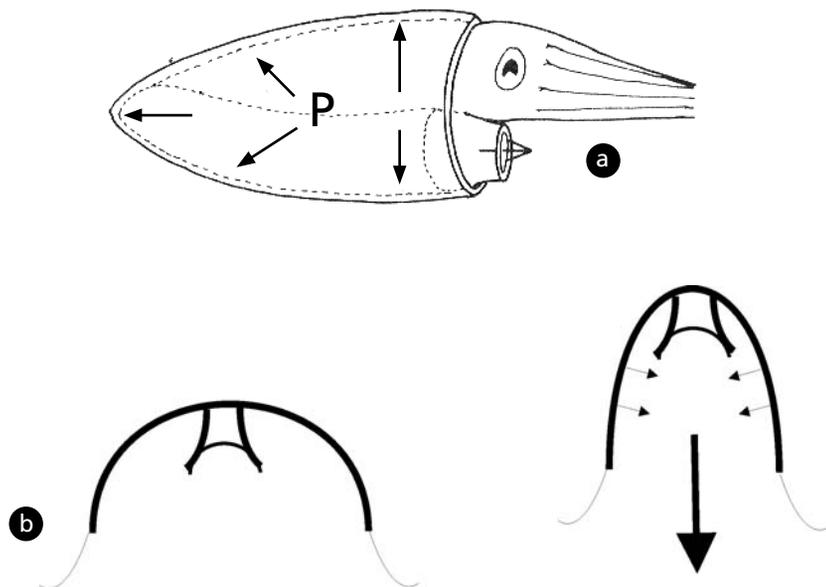


Figura 22.15: Propulsão a jato: (a) Em lulas (Barnes *et al.*, 1995); (b) em cubomedusas.

Os princípios de suporte e de locomoção nos esqueletos moles são hidráulicos, baseados na incompressibilidade da água. Geralmente, nas formas estruturalmente mais simples, a locomoção é efetuada pela própria superfície do corpo através de cílios ou flagelos que se deformam devido à pressão sobre os líquidos internos. Esse tipo de locomoção está restrito a espermatozóides, larvas ou alguns metazoários maiores que se locomovem lentamente e com grande superfície externa, como platelmintos e ctenóforos.

A locomoção muscular se baseia na deformação dos músculos, os quais podem agir sobre os esqueletos moles formados pelas diversas cavidades corporais. O princípio básico é o antagonismo de músculos agindo sobre um líquido. Os principais tipos de sustentação e locomoção com esqueletos moles são: 1) sustentação: um esqueleto hidráulico que se mantém ereto como em anêmonas, briozoários e moluscos bivalves. 2) rastejamento: comum tanto no ambiente aquático como no aéreo, baseado no antagonismo de diferentes músculos sobre uma cavidade líquida. O rastejamento se dá por ondas de contração que podem correr no sentido do movimento, denominadas ondas diretas, ou no sentido contrário ao do movimento, denominadas ondas retrógradas. As ondas podem correr tanto por um espessamento e afilamento ao longo do corpo como nas minhocas e os pés dos gastrópodes, como por ondas laterais no movimento sinusoidal ou serpentiforme comum em alguns poliquetas. 3) escavação: o animal se deforma afinando-se para penetrar no sedimento e depois procurando se ancorar através da dilatação do corpo. Este método é utilizado por grupos bem diferentes como poliquetas, moluscos bivalves e anêmonas-de-areia. O animal pode ainda utilizar-se das propriedades do sedimento para facilitar o processo de escavação em areias finas. 4) a propulsão a jato: Utilização da cavidade hidráulica que está ligada ao meio aquático por um sifão, como no caso da lula. A contração da musculatura da parede do corpo da lula leva à expulsão da água e, pelo princípio da ação e reação, a um movimento em saltos no sentido contrário. Algumas medusas utilizam uma estratégia semelhante, porém, mais simples, sem um sifão estreito.

EXERCÍCIO AVALIATIVO

1. Por que na locomoção sinusoidal do poliqueta Nereis as ondas são diretas e não retrógradas como no caso da minhoca?
2. Discuta o conceito de homoplasia em relação às formas pelas quais os animais de praias de corpo mole escavam.
3. Por que na natureza seria fisicamente impossível encontrar um animal que fosse semelhante a uma baleia e se locomovesse por movimento ciliar?

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, veremos as principais formas de sustentação e de locomoção utilizadas pelos animais que apresentam esqueletos rígidos associados à musculatura.

Suporte e locomoção em esqueletos rígidos

AULA 23

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as principais estratégias utilizadas pelos metazoários para se manter e se movimentar em um meio menos denso, utilizando esqueletos rígidos.

Pré-requisitos

Aula 21
Suporte, locomoção e
flutuabilidade.

Aula 22
Suporte e locomoção em
esqueletos moles.

INTRODUÇÃO

Como abordado na aula anterior, a locomoção muscular se baseia no princípio do antagonismo. Destacam-se duas formas: a) um músculo age sobre um esqueleto deformando-o e, ao mesmo tempo, a elasticidade do esqueleto o leva à posição inicial; b) um músculo move o esqueleto em um sentido, e outro músculo move o esqueleto no sentido contrário, portanto retornando à posição original.

A locomoção utilizando esqueletos rígidos é baseada também no princípio do antagonismo muscular. Contudo, nesse caso, músculos complexos se ligam e agem sobre uma estrutura rígida. Esses esqueletos podem ser classificados, a grosso modo, em esqueletos rígidos externos, denominados exoesqueletos, ou esqueletos rígidos internos, denominados endoesqueletos. No entanto, muitas vezes a locomoção se dá de maneira semelhante, seja o esqueleto interno ou externo. Os esqueletos rígidos externos ocorrem tanto no ambiente aquático quanto no aéreo; entretanto, no ambiente aéreo, costumam atingir tamanhos menores. Por exemplo, os maiores animais aquáticos com esqueleto externo podem atingir mais de 2 metros, como o caranguejo-aranha-japonês (**Figura 23.1.a**), enquanto o besouro-gigante-da-amazônia, que raramente ultrapassa 20cm (**Figura 23.1.b**), é o maior animal aéreo com esqueleto externo.

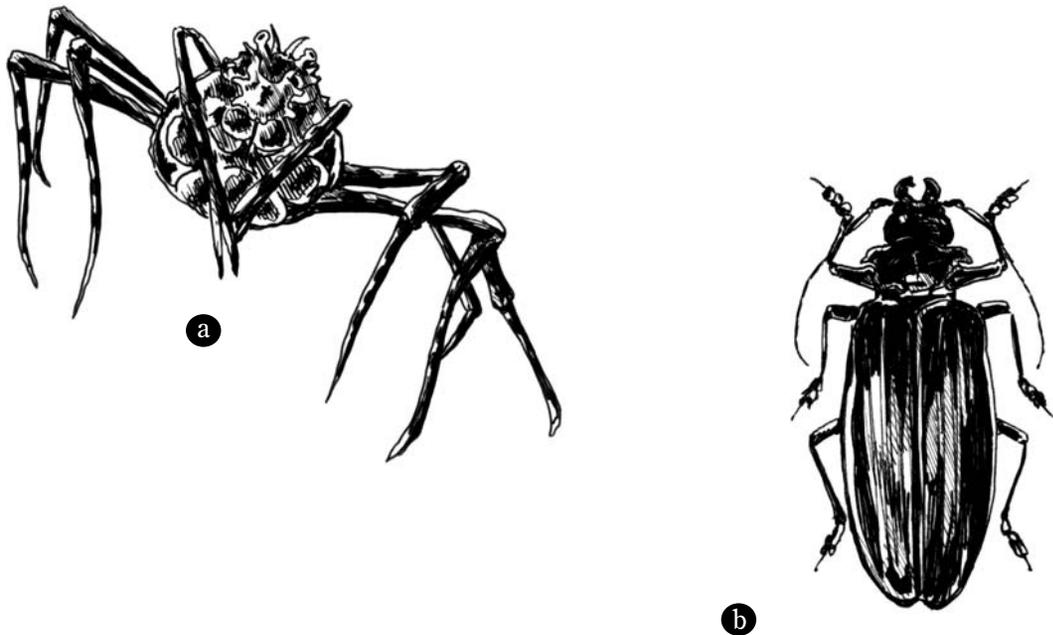


Figura 23.1: (a) Caranguejo-aranha-japonês (*Macrocheira kaempferi*); (b) besouro-gigante-da-amazônia (*Titanus giganteus*).

Para a sustentação de corpos muito grandes num ambiente aéreo (baixa densidade), seria necessário que o esqueleto externo fosse muito espesso. Como ele é oco, pois internamente está o corpo do animal, seu aumento em espessura levaria a um aumento de massa e à necessidade de uma musculatura mais poderosa para movê-la. Neste caso, teríamos um círculo vicioso – o animal teria que ter mais massa muscular para mover um corpo maior, que, por sua vez, deve ser maior para sustentar mais músculos, e assim infinitamente.

Os diferentes tipos de locomoção efetuados por esses esqueletos são apresentados a seguir.

NATAÇÃO

A natação pode ser efetuada de diversas maneiras nos animais de esqueleto rígido. Naqueles de esqueleto externo, como por exemplo em alguns crustáceos, a natação pode se dar pelo batimento de seus apêndices anteriores (patas), que são geralmente alargados e denominados **FILOPÓDIOS**, em contraposição aos **ESTENOPÓDIOS**, que são mais afilados e utilizados na marcha (**Figura 23.2**).

FILOPÓDIOS

Do grego *filos*= folha
+ *podia* = pé.

ESTENOPÓDIOS

Do grego *stenos* =
estreito + *podia* = pé.

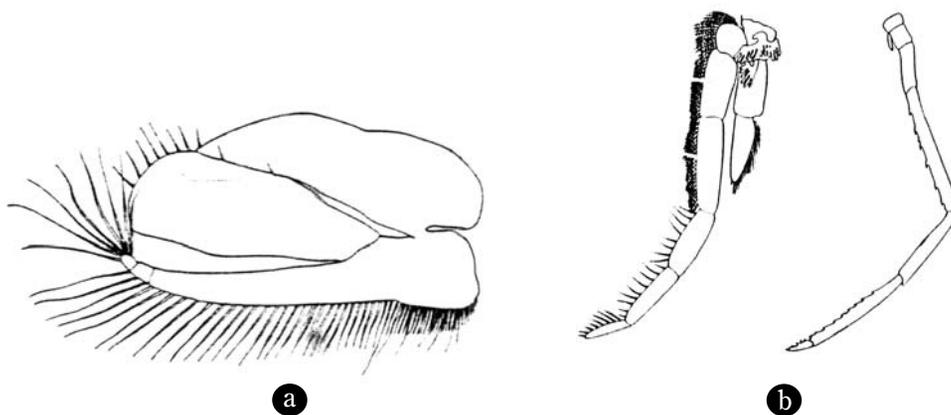


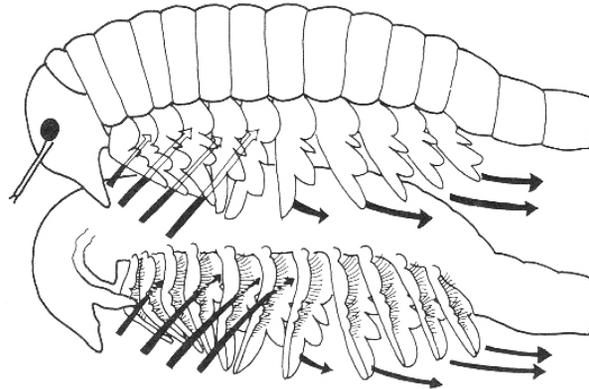
Figura 23.2: Variação morfológica nos apêndices de crustáceos: (a) filopódios; (b) estenopódios.

METACRÔNICO

Como já visto no Módulo 2, o movimento metacrônico é o mais difundido entre os animais, pois permite uma coordenação simples. O movimento sincrônico, onde todos os apêndices fazem o mesmo movimento ao mesmo tempo, é de coordenação muito mais complexa.

O batimento dos filopódios se dá em ondas de contração, ou seja, um movimento **METACRÔNICO** em que há uma defasagem. O funcionamento é semelhante a um remo que expõe toda sua superfície na água quando a empurra para trás, e por ação e reação leva o animal para a frente. No recolhimento, o filopódio se posiciona de lado, expondo a menor área possível; é o que se chama movimento de recuperação, aquilo que o remador geralmente faz quando tira o remo da água (**Figura 23.3**).

Figura 23.3: Natação com batida e recuperação dos apêndices de crustáceo natante.



Alguns vertebrados também utilizam estratégia semelhante, como determinados peixes de costões ou recifes-de-coral. Apesar de terem uma nadadeira caudal natatória (como será visto mais adiante) para se locomover, eles fazem o mesmo tipo de movimento de remo com suas nadadeiras peitorais, expondo a área máxima no movimento efetivo e expondo uma área mínima na recuperação. Tartarugas aquáticas também se utilizam desta estratégia, usando suas patas anteriores e posteriores como remos (**Figura 23.4**).

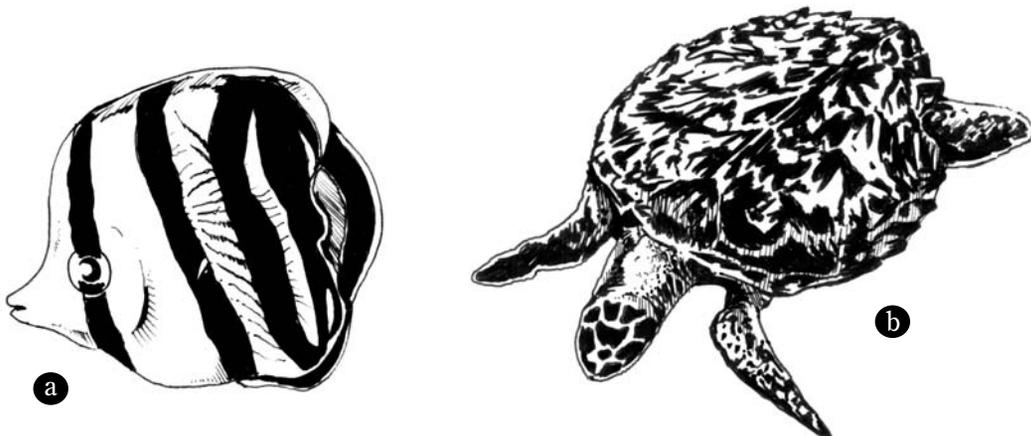


Figura 23.4: Apêndices em forma de ramos: (a) peixe-borboleta (*Chaetodon* sp.); (b) tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*).

Nos animais com esqueletos internos, a forma mais comum de natação é o movimento **sinusoidal** ou **serpentiforme**. Para compreendê-lo, observe movimento de um peixe. Nele, os músculos locomotores que se contraem em ondas laterais (antagonismo dos músculos de um lado com os do outro) estão ligados ao esqueleto rígido interno. O resultado de tal movimento, quando a onda é retrógrada, é um movimento para a frente. Isto pode ser observado pela decomposição das forças envolvidas em vetores, como mostra a **Figura 23.5**. Pelo princípio da ação e reação, quando o animal faz o movimento sinusoidal, a água é empurrada para o lado e um pouco para trás. Realizando o movimento em um lado de cada vez ou com partes diferentes do corpo empurrando para lados diferentes, o animal se movimenta para frente, no sentido oposto ao da onda.

Se decompusermos estas forças em vetores, veremos que as forças laterais de um lado e de outro se anulam quando o animal oscila, enquanto as forças para frente se somam, levando a um movimento para a frente.

! É comum os animais apresentarem diferentes tipos de locomoção em função das necessidades. No caso dos peixes-borboletas, por exemplo, a locomoção por nadadeiras laterais permite movimentos lentos e pequenas manobras, enquanto o movimento sinusoidal das nadadeiras caudais é utilizado para rápidos deslocamentos.

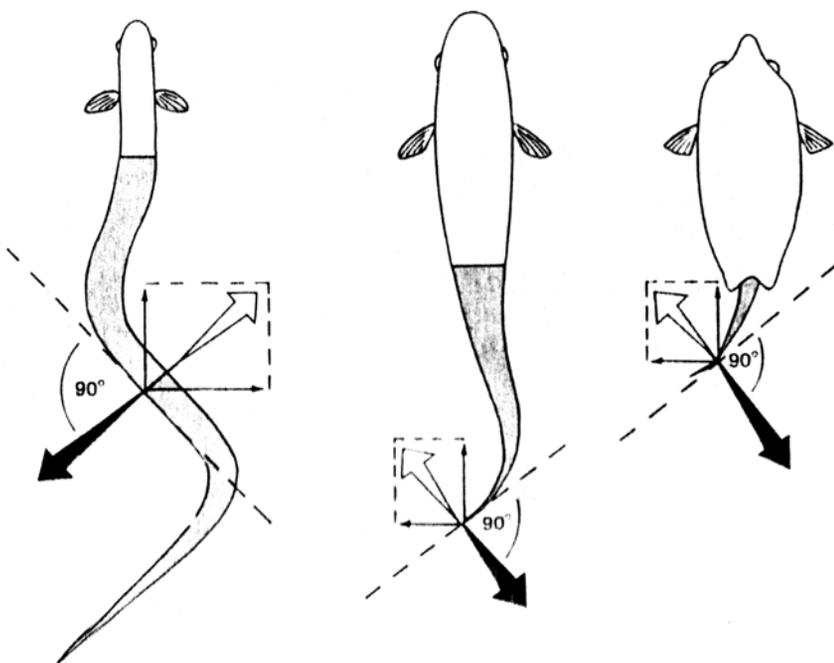


Figura 23.5: Movimento sinusoidal ou serpentiforme em um peixe. Observe as resultantes das forças mostradas através de seus vetores decompostos. (Pough *et al.*, 2003).

O movimento sinusoidal é um dos mais eficientes para a natação. Portanto, ocorre em uma série de grupos diferentes, principalmente dentro dos vertebrados, configurando-se um caso típico de característica **homoplástica**. Em peixes muito corpulentos, as ondas laterais não são possíveis ao longo de todo o corpo, mas ainda ocorrem em suas nadadeiras, mantendo o mesmo tipo de movimento. Alguns mamíferos marinhos, como baleias, golfinhos e focas, também apresentam movimentos sinusoidais em suas nadadeiras (**Figura 23.6**).

! No caso dos mamíferos, a conquista do ambiente aquático foi efetuada a partir de ancestrais do ambiente aéreo que se locomoviam através da marcha. Isto é uma evidência de que a natação por movimentos sinusoidais é muito adaptativa, tendo evoluído independentemente em mamíferos, peixes e outros animais. Curiosamente, o eixo de batimento se alterou. No caso dos mamíferos, ocorre de cima para baixo, enquanto nos peixes ocorre lateralmente.

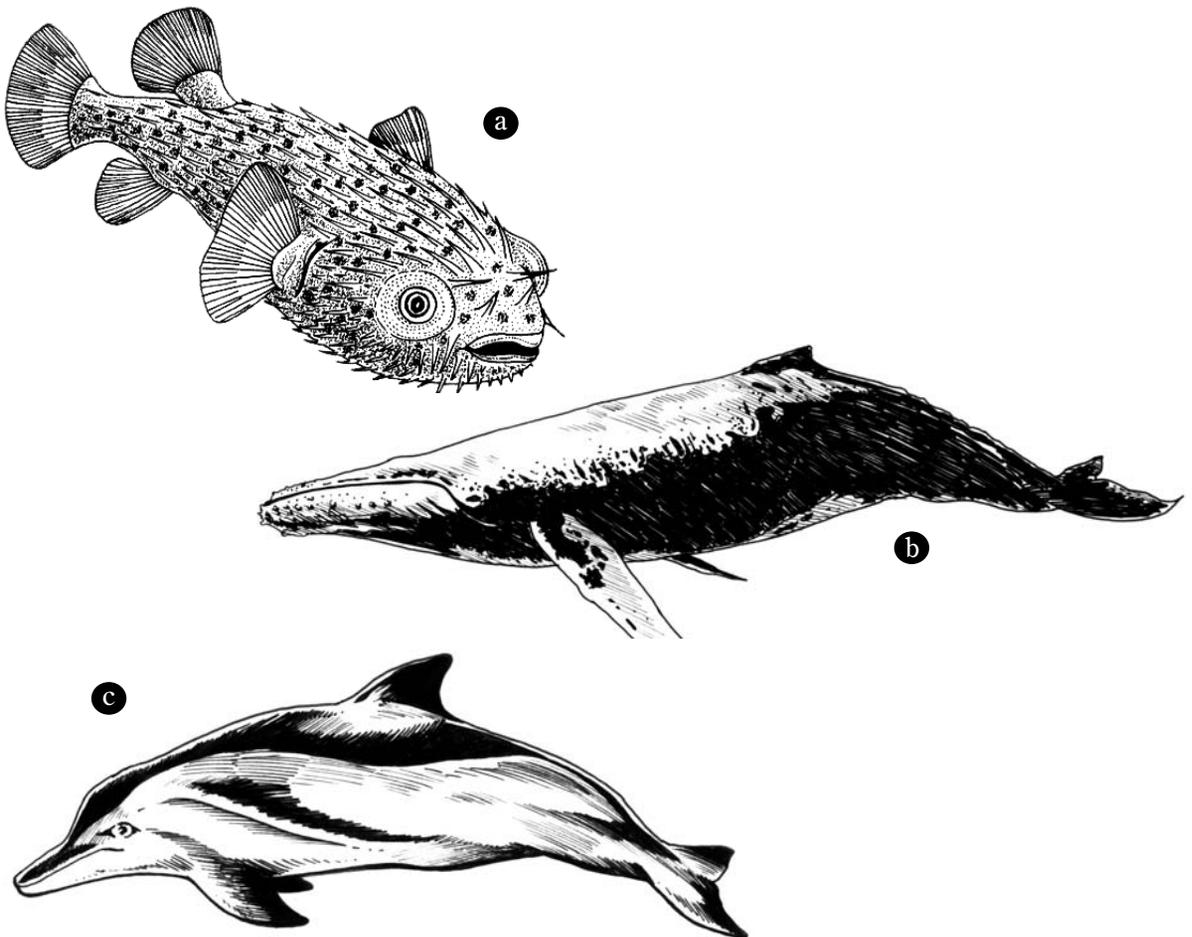


Figura 23.6: Movimento das nadadeiras em um peixe corpulento como o baiacu (a) (*Diodon* sp.) e em mamíferos como a baleia (b) (*Megaptera navaeangliae*) e o golfinho (c) (*Sotalia fluviatilis*).

MARCHA

A **MARCHA** é o tipo de locomoção que normalmente denominamos andar. Nos animais de esqueletos rígidos, ela está baseada em uma mistura de estruturas articuladas (esqueleto rígido) e complexos músculos associados aos esqueletos, e funciona a partir do princípio básico do antagonismo muscular.

Embora a marcha tenha surgido no ambiente marinho, há dúvidas se ela teria derivado do rastejamento dos poliquetas que possuíam **APÊNDICES LOCOMOTORES MOLES**, os quais poderiam ter dado origem a apêndices rígidos com articulações, ou se ela teria derivado dos apêndices natatórios rígidos dos crustáceos.

A marcha no ambiente marinho é muito comum em crustáceos, nos quais os filopódios são progressivamente substituídos pelos estenopódios. Algumas formas, como os camarões, mantêm os dois tipos de apêndice, filopódios abdominais, para a natação, e estenopódios torácicos, para a marcha. Os caranguejos apresentam apenas apêndices ambulatoriais, ou seja, para a marcha; já os siris têm o último par de patas torácico achatado, realizando movimentos de rotação para a natação.

MARCHA

Os termos marcha, andar ou movimento ambulatorial serão utilizados aqui como sinônimos, indicando aquela locomoção em que a força para que haja movimento é dada principalmente por apêndices rígidos e articulados.

Esses APÊNDICES LOCOMOTORES

MOLES dos poliquetas são denominados parapódios (*para* = lateral + *podos* = pés), e se distinguem dos apêndices de marcha dos artrópodes não apenas por não serem rígidos, mas, principalmente, por não apresentarem articulações entre suas partes.

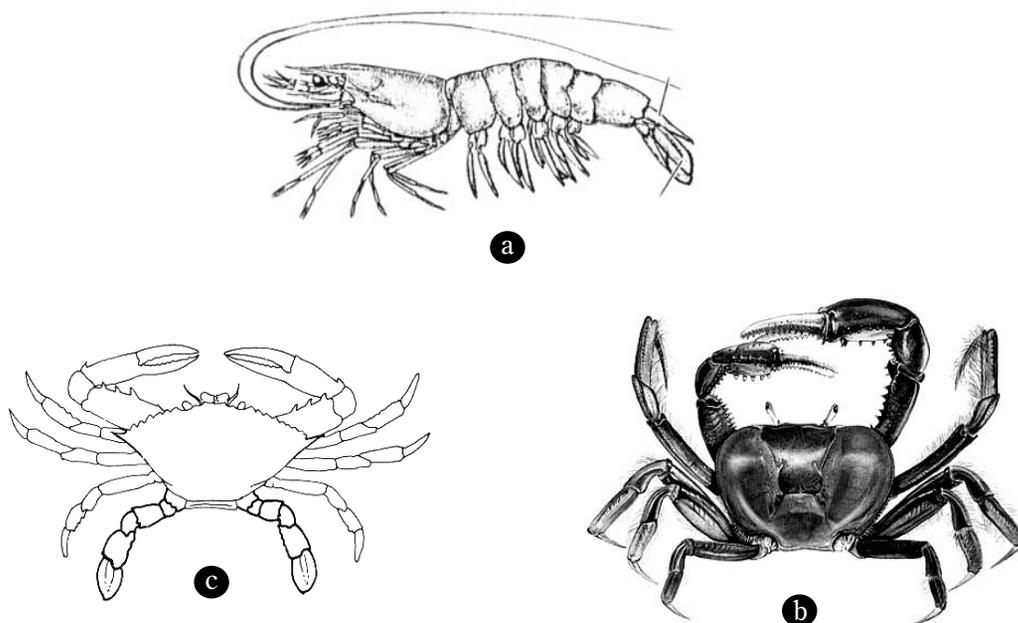


Figura 23.7: (a) Camarão mostrando os pés ambulatoriais (marcha) torácicos e os abdominais natantes (Brusca & Brusca, 1990); (b) caranguejo com apêndices ambulatoriais; (c) siris com o último apêndice torácico modificado para a natação (Barnes *et al.*, 1995).

HEMOCELE

Como será visto na disciplina Diversidade Biológica dos Protostomados, apesar de os artrópodes serem considerados celomados, o seu celoma se fusionou secundariamente à blastocele, originando uma cavidade interna denominada hemocele, *hemo* = sangue + *cele* = cavidade. Esta cavidade assume a função de circulação interna.

A marcha dos crustáceos se dá pelo movimento de extensão, fixação no substrato e retração do apêndice, puxando o corpo para a frente. Esse princípio básico é encontrado nos demais metazoários portadores de apêndices, mesmo naqueles que conquistaram o ambiente aéreo.

A forma mais primitiva de locomoção, no ambiente aéreo, seria aquela encontrada nas lacraias (miriápodes), cujo corpo, nitidamente metamerizado, apresenta um par de apêndices articulados por segmento. Estes se movem de forma semelhante aos crustáceos, com um arremesso (movimento de recuperação) e uma puxada (movimento efetivo), levando o corpo à frente. A marcha é facilitada ainda pela manutenção de um esqueleto hidrostático (a **HEMOCELE** dos artrópodes), que permite ondulações laterais do corpo, semelhantes ao movimento sinusoidal dos poliquetas, o que leva a uma locomoção mais rápida e eficiente (Figura 23.8).

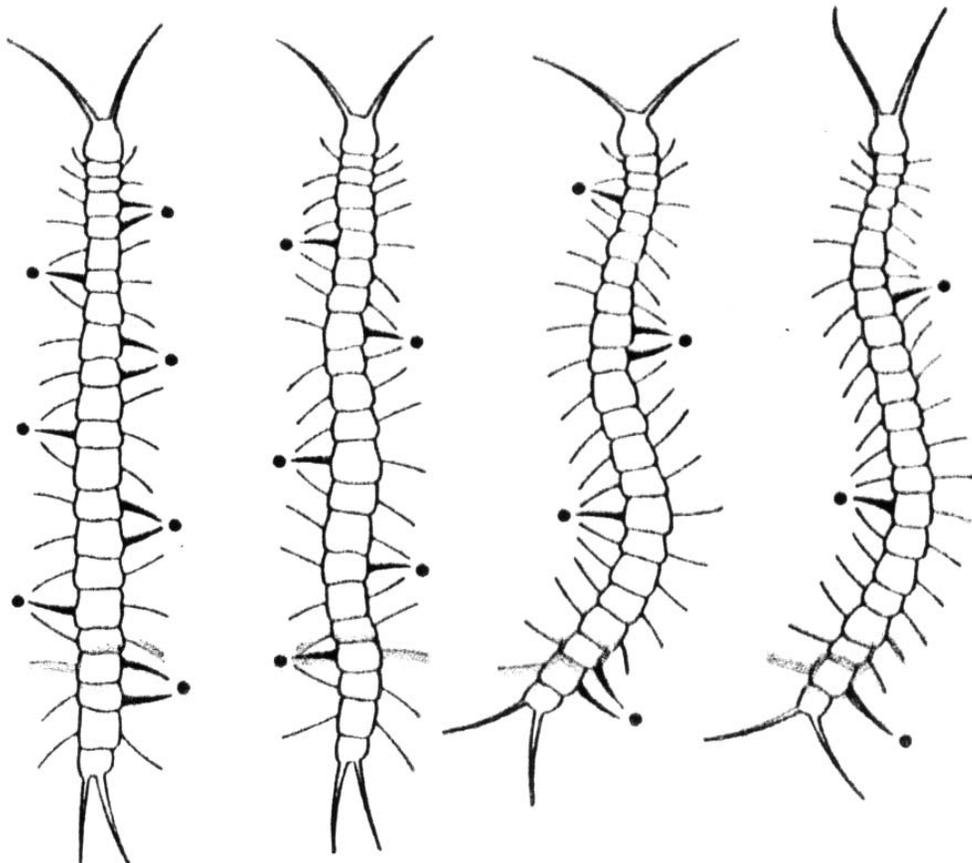


Figura 23.8: Locomoção em lacraias (Barnes *et al.*, 1995).

Nos artrópodes, ocorre uma tendência à redução da metameria e também uma tendência à fusão de segmentos. A reunião ou fusão de segmentos que desempenham determinadas funções leva a uma diferenciação do corpo em regiões especializadas. Com essa diferenciação, ocorre uma especialização ou redução dos apêndices. A especialização de partes do corpo é denominada **TAGMATIZAÇÃO**.

A redução de segmentos fez com que o número de apêndices diminuísse para três ou quatro pares apenas, mas em compensação sua especialização na locomoção é muito maior. Esses apêndices apresentam um grande número de articulações e músculos associados e, geralmente, são alongados. O princípio locomotor permanece o mesmo, com a extensão dos apêndices, apoio (tração) no substrato e posterior movimento de contração, puxando o corpo para a frente. A movimentação dos apêndices quase sempre se baseia no princípio metacrônico, com cada um dos apêndices do corpo em um estágio diferente de movimento (**Figura 23.9**).

TAGMATIZAÇÃO

Os segmentos ou metâmeros com função similar que se agrupam ou se fusionam são então denominados **tagmas**. Alguns autores preferem usar outra nomenclatura, mantendo o termo de metameria **homônoma**, para aqueles animais onde os segmentos são todos similares, como na lacraia, e de **heterônoma**, quando existe especialização, sendo então um sinônimo de tagmatização. Num exame mais detalhado, pode-se perceber que o corpo de uma lacraia não é todo formado por segmentos semelhantes. A região anterior dela é diferenciada, formando uma cabeça. Então o corpo das lacraias também é tagmatizado.

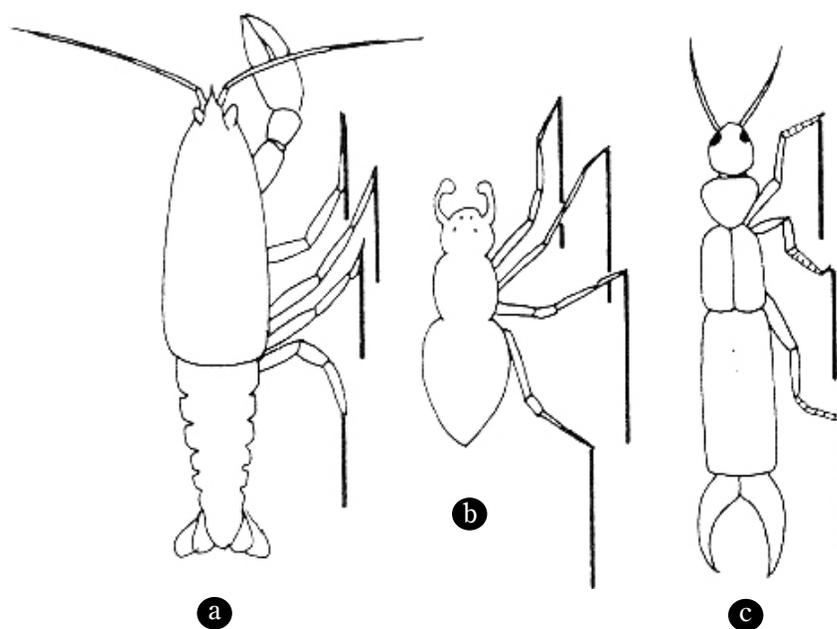


Figura 23.9: Locomoção por marcha: (a) lagostim; (b) aranha; (c) inseto. Observe o rastro que mostra o sentido do movimento. (Barnes *et al.*, 1995).

ALAVANCA

Para mostrar o funcionamento de uma alavanca, ver na internet a página: http://www.walter-fendt.de/ph11br/lever_br.htm

Marcha em Vertebrata

A marcha dos vertebrados se originou de uma derivação da natação, como nos demais animais. Nesse caso, pela transformação das nadadeiras peitorais dos peixes em apêndices ambulatoriais integrados a um esqueleto rígido interno, quando da conquista do ambiente aéreo.

Devido à menor densidade do meio aéreo, esta capacidade de locomoção envolveu o desenvolvimento de uma complexa musculatura associada a apêndices com articulações, onde se pode aplicar o princípio físico da **ALAVANCA**.

Pelo princípio da alavanca, a inserção dos músculos em diferentes porções dos ossos (esqueleto rígido) dos apêndices locomotores permite uma variedade complexa de movimentos. Por exemplo, músculos que se ligam próximo às articulações são mais fortes e sua deformação (contração) em comprimento é pequena, mas leva a uma grande extensão do esqueleto associado ao apêndice locomotor. Quanto mais longe da articulação do esqueleto (osso) o músculo estiver ligado, menos força é requerida, mas uma maior deformação em comprimento é necessária (**Figura 23.10**). Uma combinação complexa de posição e capacidade dos músculos permite, portanto, uma grande gama de opções em termos de capacidade de movimentação e força dos apêndices.

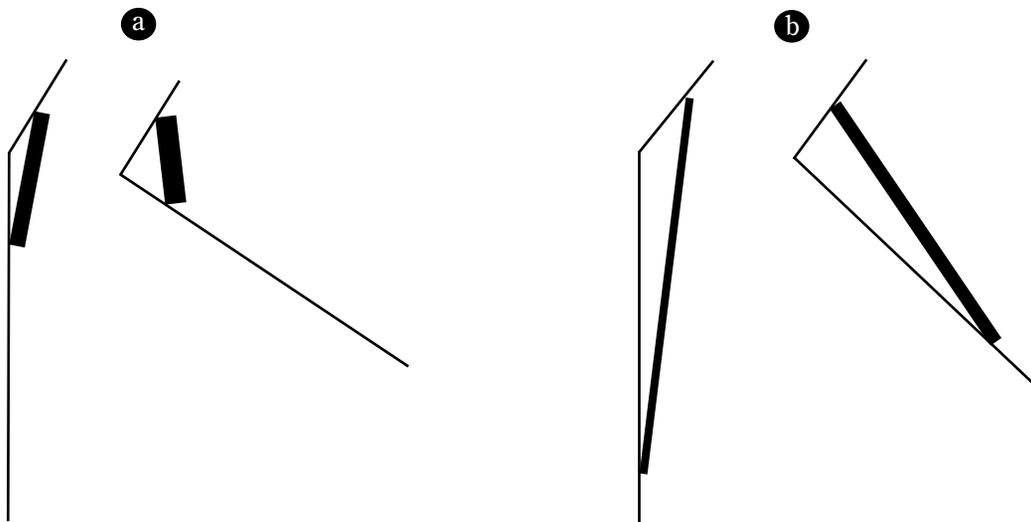


Figura 23.10: Posição relativa dos pontos de inserção muscular e necessidade de força e deformação para mover os apêndices. No caso (a), observe que o músculo está fixado próximo da articulação, portanto requer mais força, mas sua deformação, em termos de comprimento, é menor. No caso (b), é requerida menos força, mas com uma deformação maior no comprimento do músculo.

A evolução da locomoção nos vertebrados se inicia com o movimento serpentiforme de natação associado a apêndices locomotores articulados, no caso as **patas** anteriores e posteriores. O melhor exemplo de tal transição pode ser visto em **LAGARTIXAS, LAGARTOS e JACARÉS** com sua marcha associada aos movimentos serpentiformes de rastejamento (**Figura 23.11**). Neles, os músculos bem desenvolvidos associados às costelas fazem a deformação lateral do corpo. Com esta deformação, a pata articulada dianteira de um lado é arremessada à frente e a do outro lado dá o apoio e leva o corpo à frente, enquanto as traseiras realizam movimentos inversos. Repare como esse tipo de movimento é uma mistura do movimento serpentiforme com a marcha.

LAGARTIXAS, LAGARTOS E JACARÉS

Quando não estão se locomovendo, mantêm o corpo sobre o substrato. No caso dos mamíferos, por exemplo, o animal se mantém ereto sem se locomover por muito mais tempo. Usando os apêndices também como estruturas de sustentação.



Como as patas se originaram em dois pares, um anterior e outro posterior, estes animais são geralmente denominados tetrápodes. Admite-se que eles tiveram uma origem única e portanto são considerados um grupo monofilético.

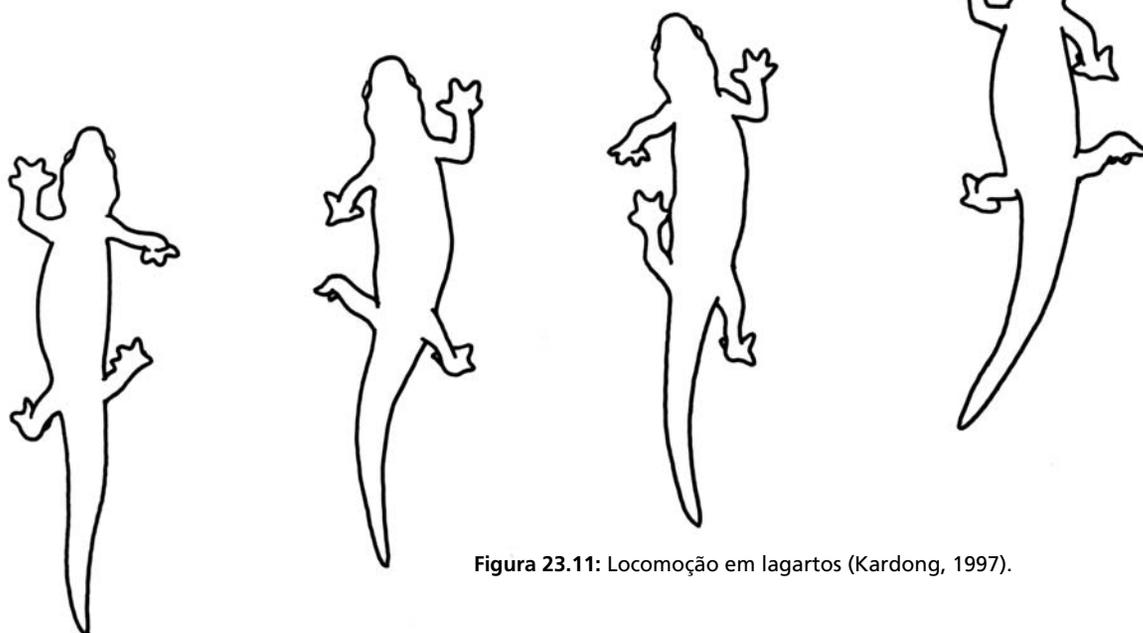


Figura 23.11: Locomoção em lagartos (Kardong, 1997).

Este mecanismo de locomoção de transição, entre o rastejamento e a marcha em vertebrados, se deve à baixa densidade do ar, que dificulta a sustentação de um animal de corpo grande. Através da utilização de feixes musculares mais complexos e de apêndices articulados mais alongados, pode-se utilizar, de forma mais eficiente, o princípio da alavanca conforme já discutido. Com isso, os apêndices passaram não apenas a serem utilizados na locomoção, mas também na sustentação **constante do corpo**, ocupando, neste caso, uma posição mais ventral e não lateral.

Um corpo suspenso requer um custo energético maior, mas em compensação a locomoção pode ser mais eficiente, já que não é mais arrastado sobre o substrato. Logo, a tração se dá pelos apêndices articulados que são arremessados alternadamente para a frente e, através de alavancas poderosas, puxam o corpo para a frente, usando o mesmo sistema básico de fixação e arremesso do corpo.

Variações neste mecanismo básico ocorreram em diferentes grupos de tetrápodes, tal como nos extintos dinossauros e nos atuais mamíferos. Entretanto, o princípio básico permanece o mesmo, como pode ser observado na Figura 23.12.

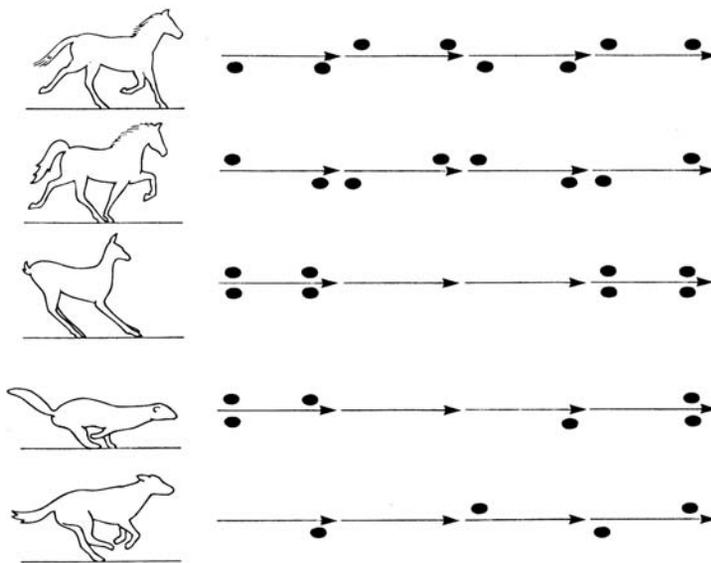


Figura 23.12: Marcha em alguns vertebrados. (Pough et al., 2003).

RASTEJAMENTO

O rastejamento baseado em esqueletos rígidos não difere muito do padrão observado para esqueletos moles, como no caso das minhocas, caramujos (ambiente aéreo) e poliquetas (ambiente aquático). O exemplo mais comum de rastejamento, em esqueletos rígidos, ocorre nos vertebrados que secundariamente perderam seus apêndices locomotores (reversão), como no caso das cobras ou serpentes. Elas podem fazer uma grande variedade de movimentos locomotores diferentes em função do ambiente, mas as duas formas básicas são muito similares às ondas retrógradas ao longo do corpo (minhocas) ou laterais (poliquetas). No primeiro tipo de rastejamento, a cobra faz movimentos peristálticos semelhantes aos da minhoca. Entretanto, estes são efetuados por feixes musculares que ligam as costelas (esqueleto rígido) das cobras em suas placas ventrais.

Assim, com a passagem de uma onda de contração de frente para trás os feixes musculares recolhem as escamas, arremessando para frente, enquanto as partes que se mantêm em contato com o solo, fazem a tração, como as cerdas da minhoca nas suas porções infladas (**Figura 23.13.a**). Este tipo de movimento permite uma locomoção com mais tração, além de ser uma forma de locomoção que passa quase despercebida por possíveis presas ou predadores, pois requer deformações menos notáveis no corpo da serpente.

Para movimentos mais rápidos, principalmente de fuga, as cobras utilizam o movimento sinusoidal já visto, e que, não à toa, é também denominado movimento serpentiforme. Com ondas retrógradas, semelhante ao caso do poliqueta *Nereis*, a parte convexa da serpente é que dá a tração do corpo, empurrando o substrato para trás e, portanto, arremessando o resto do corpo para a frente (**Figura 23.13.b**).

Este tipo de locomoção rápida apresenta algumas variantes. Como, por exemplo, se a serpente estiver em uma toca, ou se estiver em um substrato instável, tal como acontece com as cascavéis e outras cobras comuns em dunas de areia. Mas sempre partindo do princípio básico das ondas laterais retrógradas causadas pela contração diferenciada dos feixes musculares que ligam as costelas às escamas ventrais de cada lado do corpo.

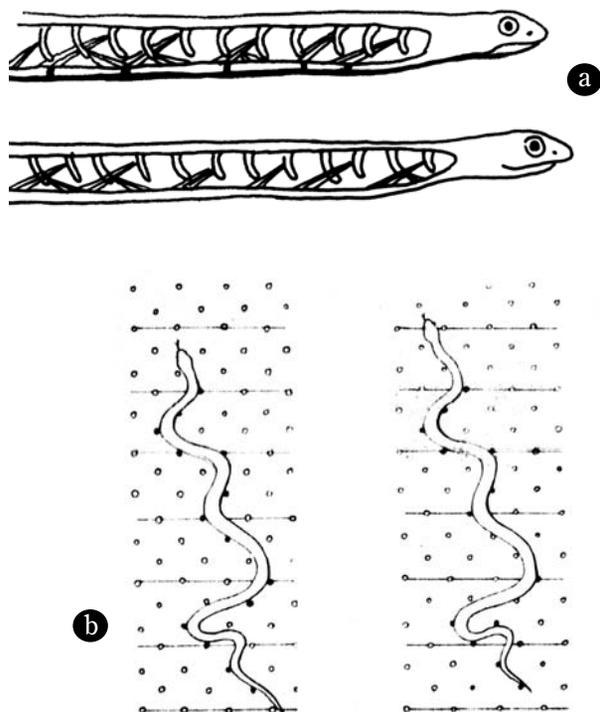


Figura 23.13: Rastejamento em serpentes: (a) peristaltismo retilíneo; (b) movimento sinusoidal ou serpentiforme. (Pough *et al.*, 2003).

SALTAÇÃO

Qualquer animal é capaz de deslocar seu corpo por meio de uma rápida contração muscular. Observe que se você retirar um peixe da água e colocá-lo em cima de uma mesa, suas contrações musculares rápidas exercem contra a superfície da mesa uma força que lançará seu corpo para cima. Assim, para saltar, o animal deve exercer sobre um substrato força suficiente para imprimir uma velocidade de decolagem ao seu corpo. Por exemplo, o gastrópode, utilizando o opérculo como âncora, contrai rapidamente o pé muscular e lança seu corpo à frente (Figura 23.14).

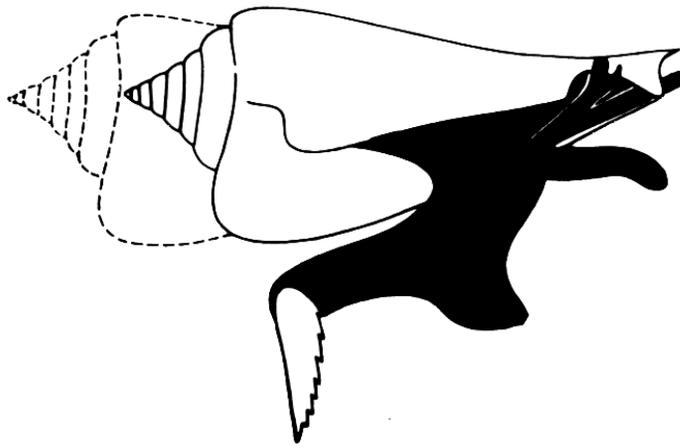


Figura 23.14: *Strombus* (Gastrópode), mostrando o momento da ancoragem. A linha tracejada indica a trajetória e o comprimento de um salto (Barnes, 1990).

Contudo, o movimento de salto é melhor realizado por animais com apêndices articulados. Assim, como na marcha, o esqueleto das patas atuam como alavancas neste sistema. Acompanhando a Figura 23.15.a, note que o cachorro ao saltar apóia suas patas traseiras no chão e contrai rapidamente os músculos de cada pata, exercendo uma força sobre o solo. Pelo princípio da ação e reação, o corpo de cachorro é lançado para cima e para frente. A ação elástica dos tendões e músculos auxilia no salto e pode ser comparada à de uma mola. Por exemplo, observe que após a pata traseira apoiar-se no chão o tornozelo é flexionado, estendendo os músculos gastrocnêmio e plantar e seus tendões (Figura 23.15.b). A energia elástica armazenada nos músculos extensores da pata e em seus tendões aumenta a eficiência no salto.

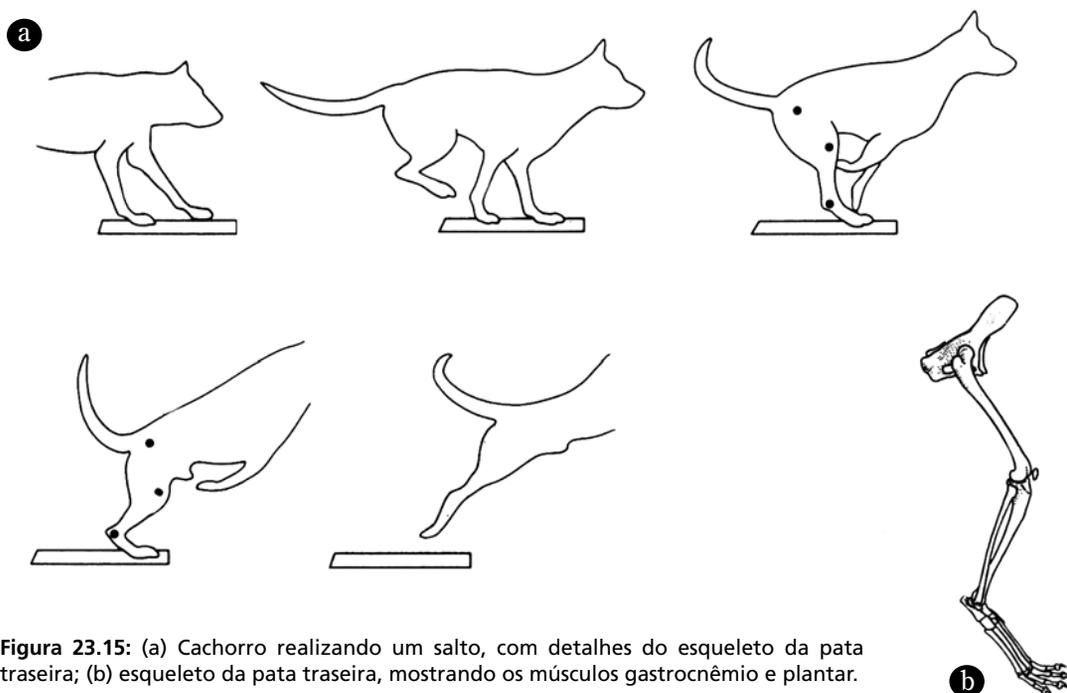


Figura 23.15: (a) Cachorro realizando um salto, com detalhes do esqueleto da pata traseira; (b) esqueleto da pata traseira, mostrando os músculos gastrocnêmio e plantar.

Em muitos animais, o salto requer uma contração rápida da musculatura associada a uma estrutura mecânica mais favorável do esqueleto das patas. Uma maior massa muscular proporciona um aumento de energia de contração de partida e o aumento no comprimento da pata aumenta a eficiência mecânica da alavanca. Assim, animais saltadores têm patas relativamente longas, denominadas saltatorias (Figura 23.16). Animais que se locomovem aos saltos utilizam muito a elasticidade da musculatura e dos tendões para economizar energia.

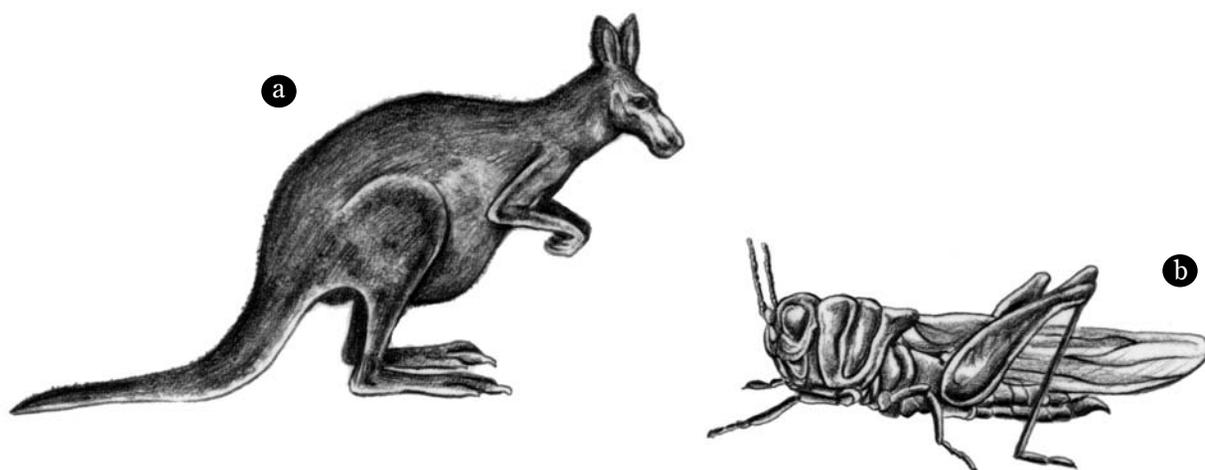


Figura 23.16: Gafanhoto (a) e canguru (b), indicando suas patas saltatorias.

Alguns animais utilizam-se de outros mecanismos para a distensão da pata, e não da contração muscular. Por exemplo, as aranhas não possuem os músculos extensores das patas; nelas o antagonismo à ação dos músculos flexores das patas é realizado pela pressão sanguínea extremamente alta. Algumas aranhas, tal como as papa-moscas, são exímias saltadoras, fazendo uso de uma súbita elevação da pressão sanguínea no último par de patas (Figura 23.17.a). Outro exemplo é o da pulga, que utiliza o princípio da catapulta: sua pata traseira é flexionada por contração muscular, tencionando uma região elástica da base da pata. A pulga pode permanecer com a pata traseira flexionada até que mecanismo de liberação seja acionado. Nesse momento, ocorre o relaxamento da musculatura, a região elástica libera subitamente a energia armazenada e as tíbias exercem uma grande força contra o solo.

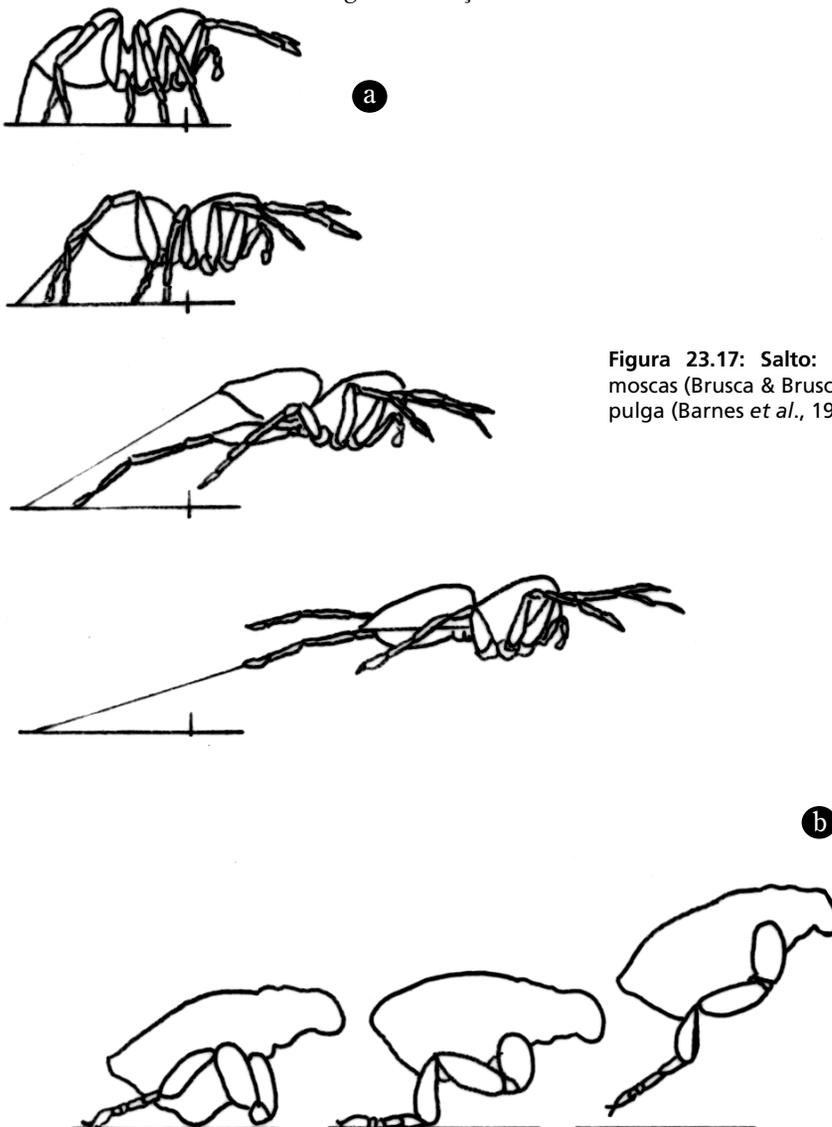


Figura 23.17: Salto: (a) de uma papa-moscas (Brusca & Brusca, 1990); (b) de uma pulga (Barnes et al., 1995).

VÔO

Os animais que se deslocam no ar, meio muito menos denso e viscoso que a água, enfrentam problemas parecidos aos que se movimentam no meio aquático. Nos meios fluidos não há um substrato que sustente o peso dos animais e as forças necessárias para deslocá-los são exercidas contra um meio que se desloca.

Alguns animais, como por exemplo o peixe-voador, anfíbio-voador, lagartos-voadores (o draco e o gecko), esquilo-voador, colugo (mamífero dermóptero), etc.; possuem uma espantosa capacidade de executar um vôo planado com auxílio da nadadeira peitoral, como no caso do peixe-voador, e com o aumento da superfície das membranas, nos demais casos. Assim, tal como as pessoas que praticam pára-quedismo ou vôo livre, eles não são capazes de alçar vôo ou de se sustentar por mais tempo no ar através do vôo ativo. Assim, eles se atiram de superfícies mais elevadas e planam para locais mais baixos, sendo, por isso, considerados planadores.

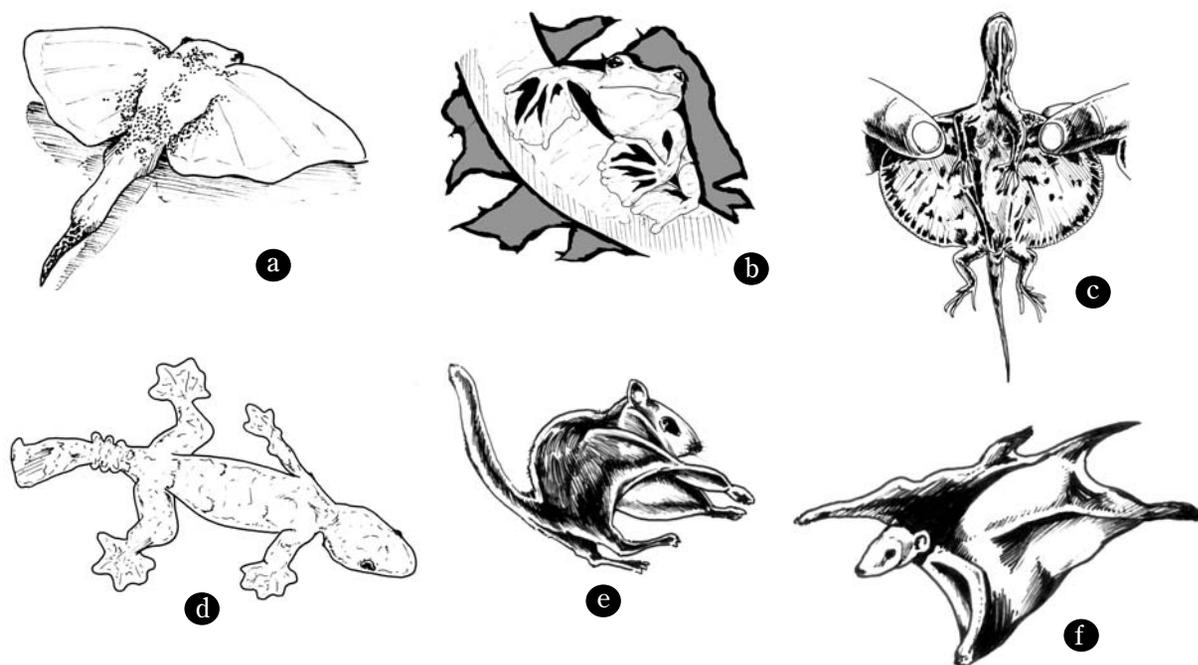


Figura 23.18: Animais planadores e suas membranas: (a) peixe-voador; (b) anfíbio; (c) draco-voador; (d) gecko-voador; (e) esquilo-voador (Hickman et al., 1993); (f) colugo.

O voo ativo se desenvolveu independentemente pelo menos quatro vezes no reino animal: nos insetos, nos pterossauros (lagartos voadores extintos), nas aves e nos mamíferos (morcegos). Você pode perceber isso através da análise de suas asas (**Figura 23.19**). A maioria dos insetos voadores, denominados **Pterygota**, possui dois pares de asas. Elas correspondem a lâminas cuticulares, finas, flexíveis e leves, que são reforçadas por estruturas esclerosadas, denominadas **nervuras** ou **veias**. Como você percebeu, embora as asas dos tetrápodes correspondam aos membros anteriores, elas apresentam uma constituição própria em cada grupo, demonstrando claramente que houve convergência.

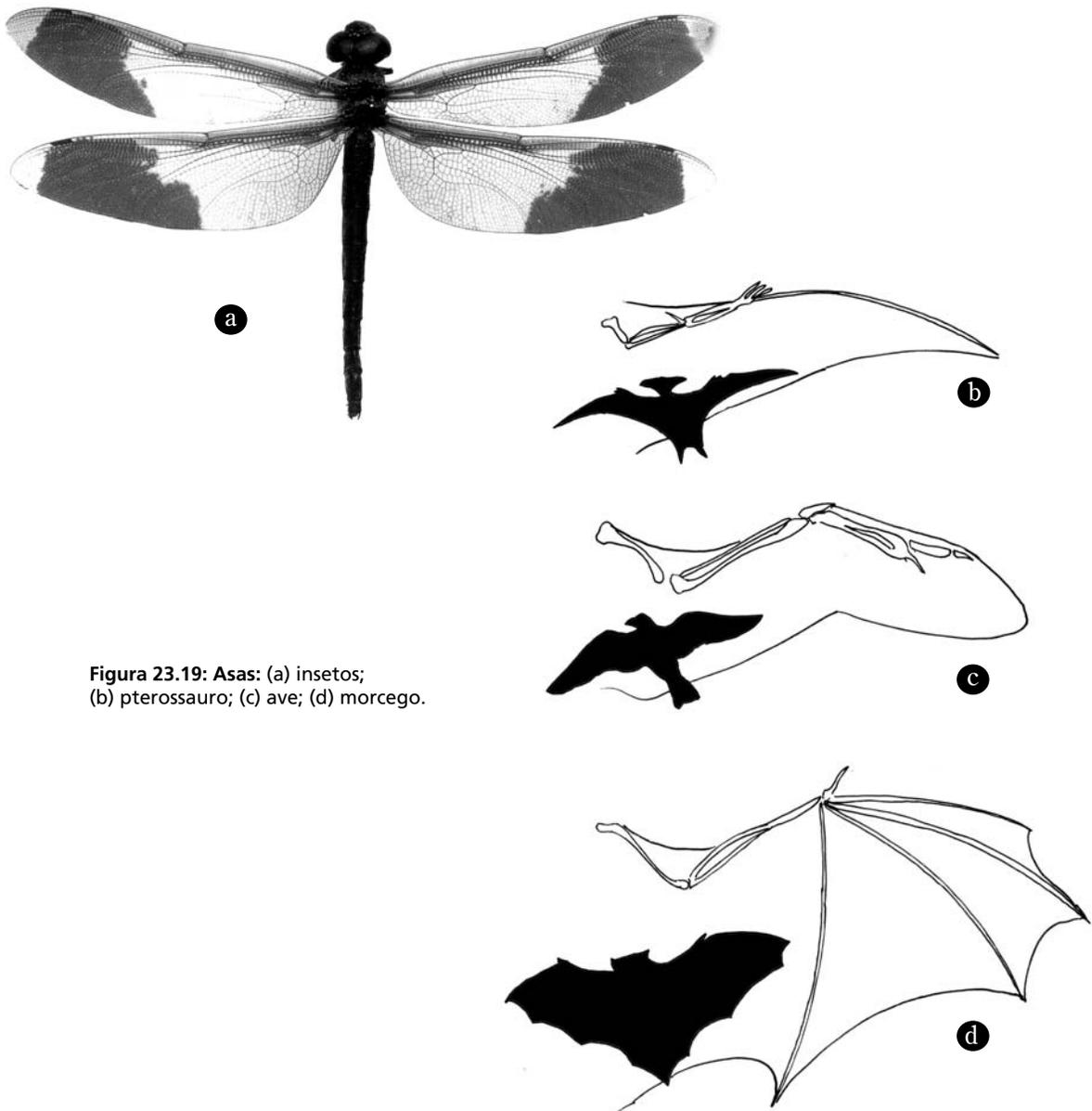


Figura 23.19: Asas: (a) insetos; (b) pterossauro; (c) ave; (d) morcego.

Os animais voadores variam em tamanho: cerca de menos de 1mm, em algumas moscas; mais de 10kg, nas aves maiores. O vôo é proporcionado pelas suas asas, que funcionam como aerofólios, e tem dois componentes:

- uma força de ascensão (empuxo) equivalente ao peso do animal;
- uma força para a frente (impulsão) maior ou equivalente ao arrasto sofrido por ele.

Imagine agora o funcionamento de um aerofólio simetricamente aerodinâmico que corta o ar, empurra-o tanto para cima quanto para baixo, diminuindo a pressão nas superfícies ventral e dorsal (Figura 23.20.a), não gerando força de ascensão. Contudo, se mudarmos a configuração da superfície do aerofólio ou seu ângulo de ataque, geramos tal força. No entanto, quando a superfície dorsal da asa é convexa e a ventral é côncava, o ar é deslocado em maior quantidade e mais rapidamente sobre a superfície ventral (Figura 23.20.b). Isso leva a pressão reduzida sobre a asa gerar uma força de ascensão. Logo, se a borda de ataque a região anterior da asa é inclinada para cima, até um ângulo de cerca de 15°, gera-se uma força de ascensão maior (Figura 23.20.c).

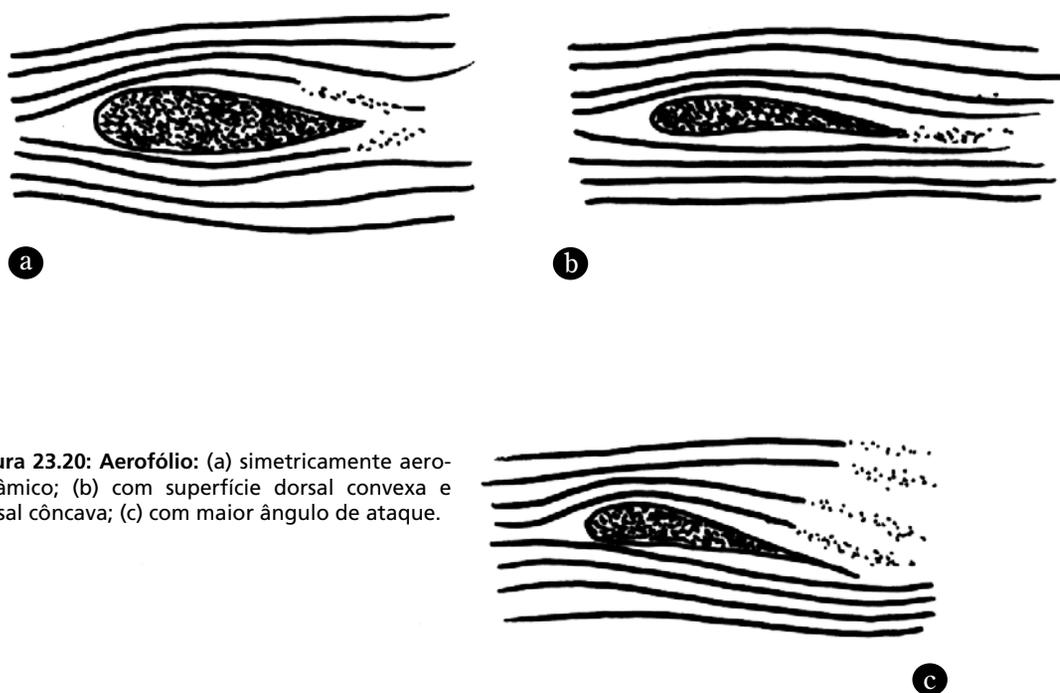


Figura 23.20: Aerofólio: (a) simetricamente aerodinâmico; (b) com superfície dorsal convexa e dorsal côncava; (c) com maior ângulo de ataque.

RÊMIGES

Penas das asas.

Durante o batimento das asas das aves, a propulsão é gerada especialmente nas pontas (**rêmiges primárias**) e a força de ascensão é gerada na parte interna (**rêmiges secundárias**), as quais são mantidas quase estacionárias (**Figura 23.21.a**). Deste modo, a asa interna age como se a ave estivesse planando e gera a maior força de ascensão, que se opõe à força da gravidade (**Figura 23.21.b**). A inclinação da asa externa, durante a batida para baixo, produz a força resultante que é dirigida para a frente (**Figura 23.21.c**).

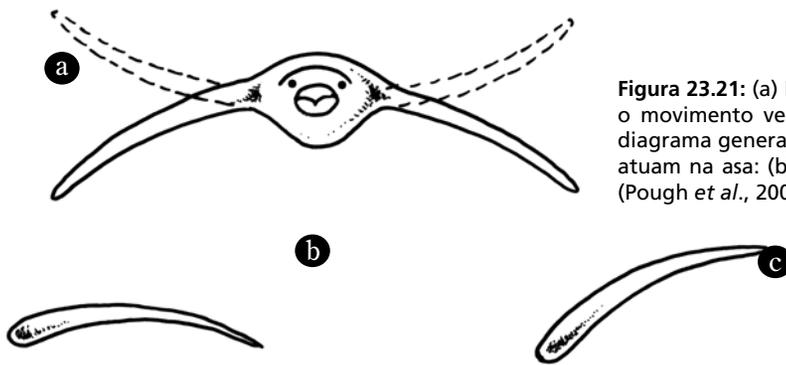


Figura 23.21: (a) Diagrama mostrando o movimento vertical da asa; (b e c) diagrama generalizado das forças que atuam na asa: (b) interna, (c) externa (Pough et al., 2003).

Em aves pequenas, a principal força para o vôo é promovida pela ação direta do músculo **grande peitoral**. Na batida para baixo, a propulsão é maior do que o arrasto, acelerando o vôo; e, na batida de retorno (batida para cima), pouca ou nenhuma propulsão é gerada. Dessa forma, essas aves sofrem uma desaceleração durante a batida de recuperação. As aves maiores têm o músculo **supracoracóideo**, responsável pelo batimento das asas para cima, relativamente maior do que o das aves menores e, nelas, tanto a batida para baixo quanto a para cima geram propulsão. Os músculos de vôo (**Figura 23.22**) correspondem a 10% da massa corporal de uma coruja e de 25 a 30%, nos beija-flores.

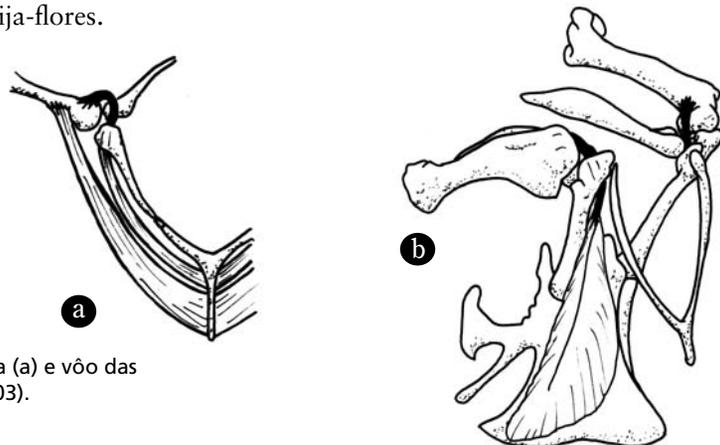


Figura 23.22: Musculatura (a) e vôo das aves (b) (Pough et al., 2003).

No que tange aos pterossauros, sua capacidade de vôo ainda é debatida. Eles apresentam uma série de convergências com as aves, tais como: ossos longos e ocos, reduzindo o peso com pouca perda de resistência; esterno bem desenvolvido, no qual se inserem os músculos do vôo, apesar de não apresentar quilha; olhos grandes; o cerebelo está relacionado ao equilíbrio e à coordenação dos movimentos, mais do que outras partes do encéfalo.

A movimentação das asas dos insetos é efetuada pela ação dos músculos indiretos do vôo e pela elasticidade de seu exoesqueleto. Esses músculos não estão acoplados às asas, mas sim às paredes do tórax e, quando se contraem, causam deformações das placas torácicas (**Figura 23.23**). Agora, quando os músculos dorso-ventrais são contraídos, as placas dorsal e ventral se aproximam, promovendo a ascensão das asas. A contração dos músculos longitudinais torna curva a placa dorsal, causando o movimento descendente.

O movimento das asas dos insetos produz um fluxo de ar em estado de não equilíbrio dinâmico, denominado **vórtice**. Durante o vôo, o inseto é sustentado e lançado à frente devido à força de reação resultante dos anéis de vórtice irradiados para baixo (**Figura 23.24.a**). O mecanismo de formação de vórtice (**Figura 23.24.b**) inicia-se com as asas mantidas juntas. Assim, o afastamento delas faz com que o ar circule ao redor das suas bordas e a aceleração da massa de ar circulante induz empuxo; nesse momento, o inseto perde contato com o substrato. Quando a asa atinge a posição mais baixa, o ar circulante é espalhado formando um anel de vórtice.

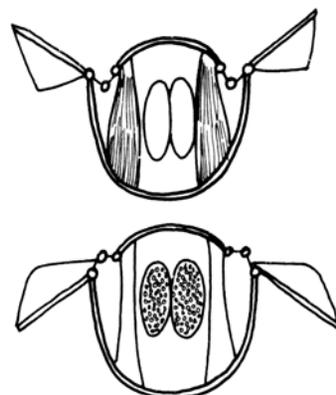


Figura 23.23: Musculatura indireta do vôo de inseto (Barnes *et al.*, 1995).

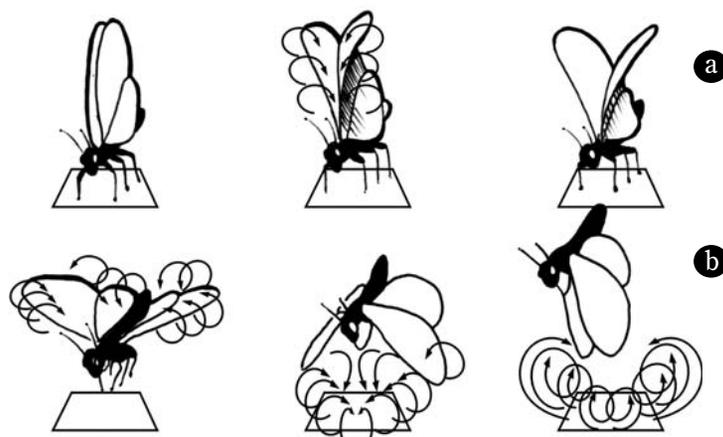


Figura 23.24: (a) Vôo em insetos; (b) mecanismo batida/afastamento para a formação de vórtice (modificado de Barnes *et al.*, 1995).

RESUMO

A locomoção utilizando esqueletos rígidos se baseia no mesmo princípio do antagonismo muscular visto nos esqueletos moles. Os esqueletos rígidos podem ser externos ou internos, sendo que os internos permitem aos animais adquirir um maior tamanho em ambientes aéreos, quando comparados àqueles com esqueleto externo devido à densidade do ar. As principais formas de locomoção com esqueletos rígidos são a natação, o rastejamento, a marcha, o salto e o voo.

A natação pode ser feita ou por apêndices natatórios ou por movimentos sinusoidais do corpo. O rastejamento, típico de serpentes, pode ocorrer em ondas retrógradas que correm ao longo do corpo ou por movimentos sinusoidais, semelhantes ao que acontece com os esqueletos hidráulicos. O surgimento da marcha está associado a uma fusão de segmentos e à redução no número de apêndices na maioria dos casos. A marcha surgiu como uma derivação da natação por apêndices, onde estes são geralmente em menor número, mais afilados e alongados. Para a evolução da marcha, houve um grande aumento na complexidade muscular envolvendo sistemas de alavanca, permitindo uma grande variedade de movimentos.

EXERCÍCIO AVALIATIVO

1. Compare o rastejamento por peristaltismo das serpentes com o das minhocas. No que se assemelham e no que se diferenciam?

Compare o rastejamento dos poliquetos com o dos parapódios, como Nereis, com a marcha dos jacarés. No que se assemelham e no que se diferenciam?

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, apresentaremos as principais estratégias de captura de alimento utilizadas pelos animais.

Mecanismos de captura de alimento

AULA 24

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as principais formas utilizadas pelos animais para obterem seu alimento.
- Comparar as estratégias de captura de alimento entre diferentes grupos de animais.

Pré-requisito

Aula 20:
Diversidade animal

INTRODUÇÃO

Vamos, na aula de hoje, mostrar as estratégias de alimentação utilizadas pelos animais, destacando que os mecanismos de captura de alimento desenvolvem-se em função do alimento.

Para que haja a realização de qualquer função vital em um animal é necessário o suprimento constante de energia. Esta energia provém da degradação, ou oxidação (veja nota no boxe a seguir), de matéria orgânica, onde moléculas orgânicas mais complexas são reduzidas a moléculas menores com a liberação de energia para os animais. As moléculas orgânicas podem ser armazenadas nas células ou em tecidos animais, entretanto, o estoque desse material energético tem de ser constantemente renovado. A renovação se dá pelo processo de obtenção de alimento, onde os animais procuram capturar a maior quantidade de energia possível com o menor custo energético. A equação é muito lógica, pelo menos na natureza; ninguém pode gastar mais energia para obter alimento do que este poderá fornecer depois. O alimento capturado não apenas fornece energia, mas também material para o crescimento do animal e produção de gametas para a reprodução, outro processo vital para a manutenção da espécie ao longo do tempo.



O processo de degradação da matéria orgânica por **oxidação** é denominado **respiração celular**. Todas as células vivas do animal precisam realizar este processo, sendo portanto uma atividade vital. O processo de produção de energia também pode ser efetuado através da **fermentação celular**, sem que haja oxidação, porém não tão eficiente em termos de produção de energia.

Na captura de alimento, diferentes mecanismos são utilizados em função do tipo a ser ingerido. Animais que se alimentam de outros animais que se movem são denominados **predadores** e vão necessitar de uma boa capacidade de locomoção e de estruturas para prender e matar suas presas. Já os animais que se alimentam de partículas pequenas ou de vegetais não precisam ter uma grande capacidade de locomoção e suas estruturas também se diferenciam para apreender o alimento. Desta forma, o mecanismo de captura de alimento influencia na morfologia animal, o que pode ser observado naqueles que ou mostram estratégias semelhantes em tal processo, apresentando muitas vezes convergências em suas morfologias.

O mecanismo de captura depende, portanto, primariamente do tipo de alimento: se é grande ou pequeno, qual a sua constituição química, se é móvel ou sésil e assim por diante. Esse mecanismo também pode variar muito em função do ambiente no qual os animais vivem, pois ambientes aquáticos e aéreos apresentam alimentos em potencial diferenciados.

Por exemplo, a fotossíntese no ambiente aéreo é efetuada pelas plantas que, em geral, são relativamente grandes e para se sustentar no ambiente aéreo utilizam-se de estruturas poderosas na forma de moléculas de celulose e **LIGNINA**. No ambiente aquático, a fotossíntese é efetuada, na sua maior parte, por microalgas, muitas vezes unicelulares. Elas, além de serem pequenas, ficam em suspensão na água e são formas simples sem esqueletos complexos. Dessa forma, um animal marinho que se alimenta de microalgas apresenta mecanismos muito distintos do animal aéreo que se alimenta de plantas.

Devido a isso, abordaremos as formas de captura de alimento, separadamente, conforme os dois tipos principais de ambientes.

MECANISMOS DE CAPTURA DE ALIMENTO

Tradicionalmente, os livros didáticos utilizam uma classificação de mecanismos de captura baseada principalmente no hábito alimentar dos vertebrados. Desta forma, é comum classificar os animais em: **herbívoros, carnívoros, onívoros, detritívoros, saprófagos e necrófagos**. Esta classificação tradicional, entretanto, não pode ser aplicada a todos os animais, especialmente àqueles do ambiente aquático, onde o mecanismo de captura de um animal que se alimenta de algas é muito diferente do mecanismo de uma vaca que come capim, apesar de ambos se alimentarem de vegetais.

Apesar de não ser um consenso na literatura, utilizaremos uma classificação mais abrangente baseada na forma de captura de tal alimento, e não na sua constituição química. Pode-se, com isso, englobar todos os animais, independente do ambiente em que vivem. No sistema classificatório que adotamos, os animais são denominados **MACRÓFAGOS OU MICRÓFAGOS**, conforme a relação entre o tamanho do animal e o tamanho do alimento.

LIGNINA

Substância que se deposita nas paredes das células vegetais conferindo a estas notável rigidez. É o que dá rigidez à madeira.

MACRO = grande +
fagos = comer;

MICRO = pequeno.
Portanto essa é uma classificação relativa, que se baseia em comer alimentos grandes ou alimentos pequenos.

Carnívoros, herbívoros e onívoros vocês devem conhecer. O que pode parecer estranho é:

Detritívoros

Detrito + *voro* (do latim) = devorar, engolir;

Saprófagos

Do grego *saprós* = podre, estragado + *phagós* = comer.

Termo utilizado para definir animais que se alimentam de restos mortos em início de decomposição. O termo necrofagia, por sua vez, é utilizado para definir animais que se alimentam de cadáveres (como al-

guas larvas de moscas). Entretanto, aqui o termo saprofagia será utilizado como sinônimo de necrofagia. Os dois conceitos geralmente se confundem já que a necrofagia é parte da saprofagia.

Necrófagos

Do grego *nekrophágos*.

Vamos, adiante, falar mais sobre eles e seus processos alimentares.

Predadores

Os predadores são animais cujo alimento em potencial apresenta alguma mobilidade. Alguns têm estruturas especiais para capturar e matar suas presas; outros, que se alimentam de presas menores e de pouca mobilidade, já não requerem tal aparato. Em geral, são animais com sistema sensorial muito desenvolvido para perceber e localizar presas. Desta forma, os predadores também podem ser divididos em grupos, conforme o mecanismo de predação utilizado.



Alguns autores denominam esta categoria também de caçadores, mas, como veremos, outros tipos de predação também se assemelham à caça por armadilhas, daí preferirmos o termo **perseguidores**. A palavra **raptorial** é derivada da palavra **raptor**, que é aquele que toma suas vítimas com violência.

Predadores raptoriais ou perseguidores

Os predadores raptoriais ou perseguidores são aqueles animais que perseguem e matam suas presas, sendo, portanto, caracterizados pela grande mobilidade e por apresentarem estruturas especiais para isso. Eles sempre fazem o papel de vilões no cinema (*A sombra e a escuridão*; *Tubarão* etc.) (Figura 24.1). Um exemplo clássico é o dos tubarões

que nadam com grande eficiência e apresentam uma mandíbula poderosa com dentes substituíveis para destroçar suas presas. No ambiente aéreo, o equivalente seria uma onça-pintada ou um tigre com sua incrível velocidade (até 300 km/h) e dentes e garras poderosos. Algumas aves, como o gavião, por exemplo, são típicos raptoriais. Mesmo entre os animais não vertebrados, a predação é comum, inclusive no caso de polvos com seus bicos córneos e no de poliquetas marinhos como o hábil *Nereis* e suas poderosas mandíbulas; no meio aéreo, temos as aranhas papa-moscas.

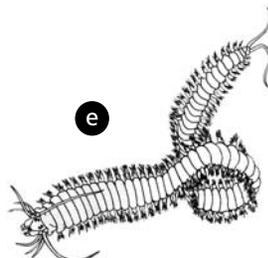
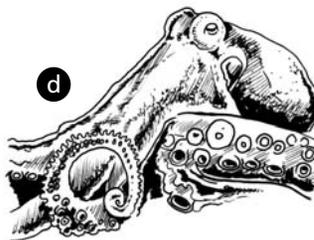
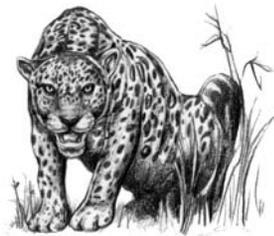
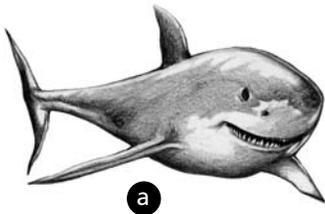


Figura 24.1: Predadores perseguidores (raptoriais): (a) tubarão (*Carcharodon* sp.); (b) onça-pintada (*Panthera onca*); (c) gavião (*Harpia harpyia*); (d) polvo (*Octopus* sp.); (e) poliqueta (*Nereis* sp.); (f) aranha papa-mosca (*Salticidae*).

Predadores tocaieiros

São aqueles predadores que, embora apresentem certas características comuns com os perseguidores, não correm atrás da presa. Podem se esconder, construir armadilhas para capturar sua presa, ou simplesmente se mantêm imóveis até que ela chegue próximo o suficiente para a captura. Este último hábito se assemelha muito aos perseguidores, diferindo pelo fato de o animal não gastar energia o tempo todo, mas apenas no momento do ataque final.

Entre os não vertebrados aquáticos, temos os caranguejos que constroem tocas e as tamburutacas (crustáceos marinhos) que vivem entocadas, mantendo para fora da toca apenas seus apêndices sensoriais, atacando a presa apenas quando esta se aproxima da toca. Na água doce temos os pitus, que se escondem sob pedras, e as baratas d'água, que ficam à espreita na vegetação. No ambiente aéreo, se destacam as aranhas que constroem teias (armadilhas) para capturar a presa ou as que ficam praticamente imóveis, até que uma presa se aproxime a uma distância razoável, como na aranha-armadeira; e os louva-a-deus com suas patas raptorais em posição de espera.

Em vertebrados, podemos ver este hábito ao observar uma lagartixa em uma parede, pois ao se manter imóvel, ela praticamente se disfarça de parede, já que suas presas, os insetos, não têm uma resolução de visão muito boa, embora percebam movimentos quase sutis muito bem. A lagartixa totalmente imóvel não é percebida, até que dê seu bote com a aproximação do inseto. Este também é o hábito dos sapos e pererecas. Os jacarés ao ficarem submersos, apenas com os olhos para fora, também usam tal mecanismo, dando o famoso bote de surpresa. As serpentes estão freqüentemente imóveis ou rastejando vagorosamente (ver Aula 22), camuflando-se com o ambiente e dando o bote apenas quando se encontram em posição segura, matando sua presa por envenenamento (em alguns casos) e engolindo-a por inteiro.

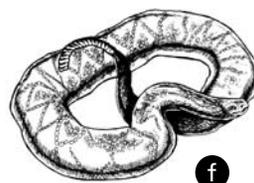
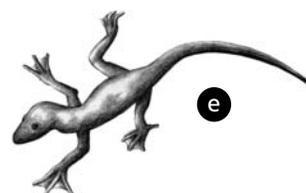
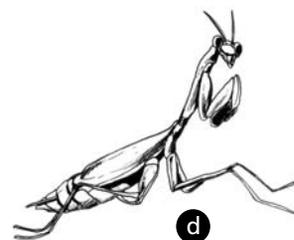
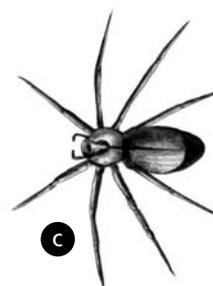
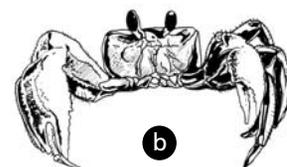
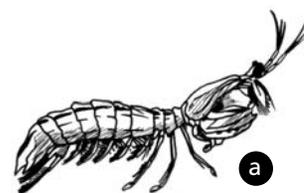


Figura 24.2: Predadores tocaieiros: (a) tamburutaca (*Hoplocarida*) (Barnes, 1990); (b) caranguejo-fantasma (*Ocipodes quadrata*); (c) aranha (*Araneae*); (d) louva-a-deus (*Mantis sp.*); (e) lagartixa (*Geconidae*); (f) serpente (*Crotalus sp.*).

CONUS

Algumas espécies do Indo-Pacífico como *Conus textile* e *Conus geographus*, são responsáveis por diversos acidentes com seres humanos. Foram relatadas mortes de pessoas em até 4 horas após a inoculação do veneno e a mortalidade chega a 25% dos acidentes relatados. No Brasil, embora existam diversas espécies do gênero, não há relatos de acidentes com humanos.

Predadores oportunistas

Este tipo de predador difere muito das duas outras categorias apresentadas acima. Geralmente, são animais sésseis ou de pouca mobilidade cujas presas são capturadas ao entrarem em contato direto com eles. É o caso de muitos cnidários, como as caravelas e as anêmonas. Nelas, a presa é atingida quando entra em contato com os tentáculos providos de estruturas venenosas. O mesmo acontece com alguns moluscos, como os mortais gastrópodes do gênero **CONUS**, com seu poderoso veneno neurotóxico que pode matar até peixes maiores. São animais de conchas muito bonitas e apresentam um arpão que só é arremessado quando a presa praticamente encosta neles.

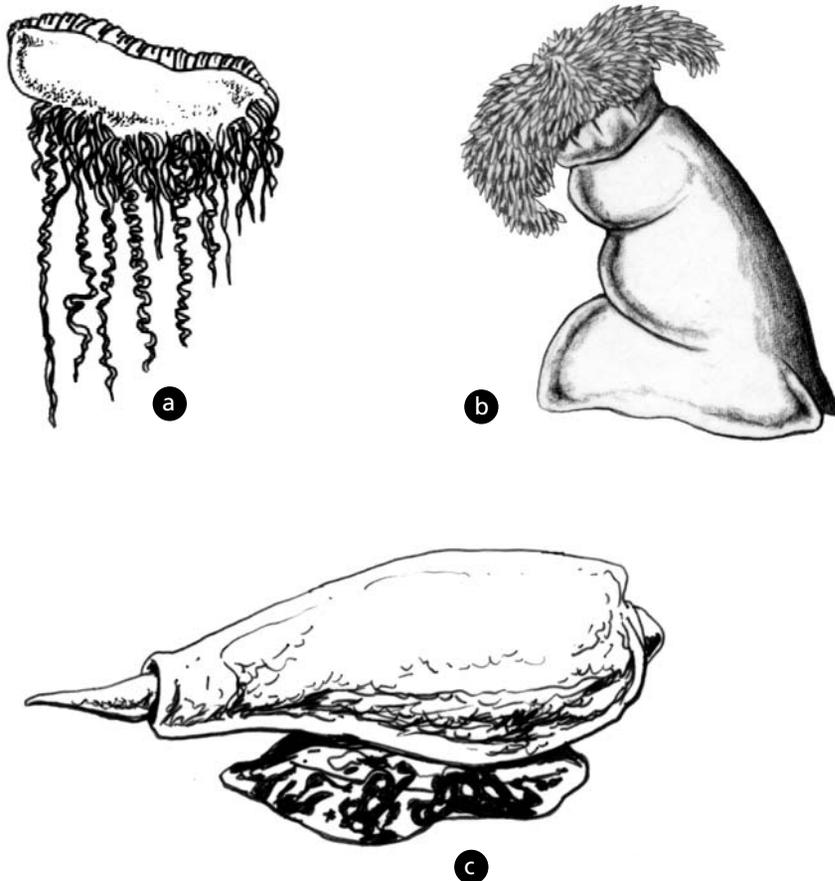


Figura 24.3: Predadores oportunistas: (a) caravela-portuguesa; (b) anêmona-do-mar; (c) gastrópode.

Predadores rastreadores

São predadores muito diferenciados, pois não precisam se locomover com muita rapidez nem ter estruturas poderosas para matar a presa, pois ela é pequena e de pouca mobilidade. No ambiente marinho, podem ser considerados rastreadores os peixes de fundo como corvinas, as pescadas e as raias, que se alimentam de pequenos invertebrados móveis do sedimento. Não precisam usar o máximo de seu potencial de locomoção quando se alimentam; locomovem-se apenas para mudança de ambiente e estratégia de fuga. No ambiente aéreo, um hábito semelhante ocorre nos tamanduás, que lentamente se movimentam e procuram formigas que são sugadas por sua boca comprida e afilada.

Este hábito é bem comum em aves como garça e patos, que rastreiam em lagos e lagoas e comem pequenos animais aquáticos.

Este tipo de predação é uma espécie de transição entre a predação e a pastagem.

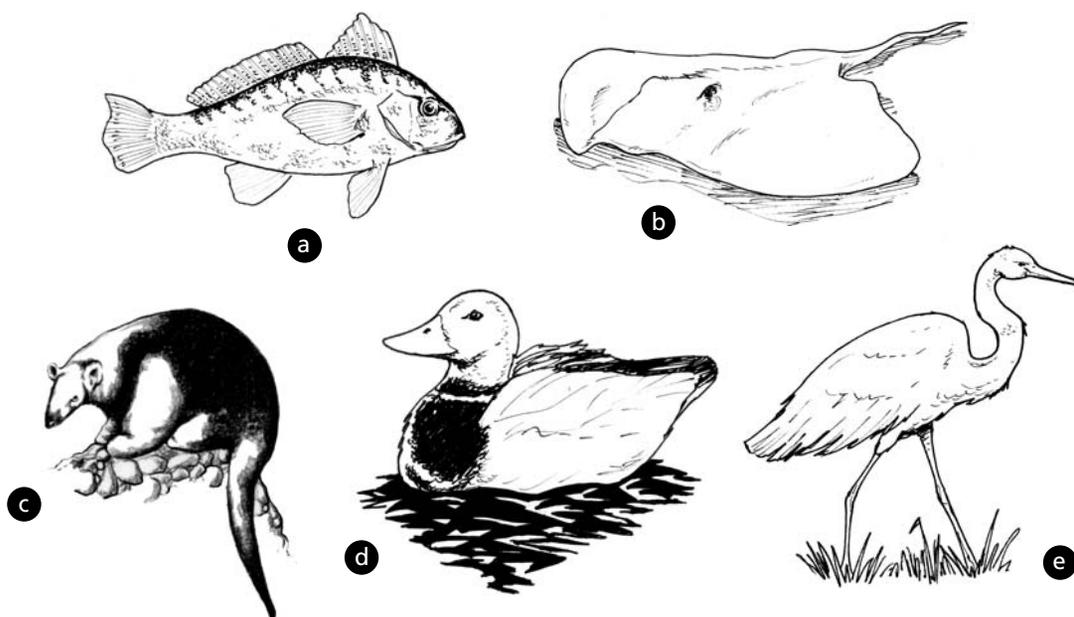


Figura 24.4: Predadores rastreadores: (a) corvina (*Micropogonias* sp.); (b) raia (*Rajidae*); (c) tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*); (d) pato-real (*Anas platyrhynchos*); (e) garça (*Egretta* sp.).

Pastadores



Embora alguns se locomovam muito bem, sua locomoção rápida não é uma estratégia alimentar e sim de fuga para não serem predados. Por exemplo, vacas e cavalos correm muito bem (é só assistir a uma corrida de cavalos ou a um rodeio), mas você nunca vai ver nenhum deles correndo pelo pasto atrás do capim.



Não é por acaso que boa parte das substâncias utilizadas na indústria farmacêutica são provenientes de plantas. Recentemente, muitas substâncias também têm sido extraídas de animais marinhos, principalmente aqueles sésseis desprovidos de proteção física como esponjas e ascídeas.

Os pastadores são aqueles animais que se alimentam de organismos sésseis. No ambiente aéreo, eles são normalmente conhecidos como herbívoros, pois comem plantas. Já no ambiente aquático, principalmente no marinho, os animais sésseis são tão comuns quanto as plantas, como é o caso das esponjas, corais, mexilhões, ascídeas, cracas e muitos outros. A variedade de mecanismos de pastagem está associada à grande diversidade de tamanho, estrutura química e presença de esqueletos entre os organismos sésseis. Os animais que se alimentam de organismos sésseis não precisam de uma boa mobilidade para buscá-los.

No ambiente marinho, por exemplo, muitos gastrópodes que vivem em costões rochosos são pastadores consumindo algas, outros moluscos ou mesmo esponjas. As estrelas-do-mar, muitas vezes denominadas predadoras, se nutrem de mexilhões, abrindo suas conchas e sugando seu corpo mole. Os ouriços-do-mar são considerados um dos poucos pastadores herbívoros do ambiente marinho, por se alimentarem de algas grandes. Peixes que comem corais, esponjas ou mesmo algas também são considerados pastadores.

No ambiente aéreo, a diversidade de estratégias é muito grande, devido à variação do tamanho relativo do animal e do alimento. As plantas terrestres têm, em geral, tecidos de sustentação de difícil digestão. Os animais grandes comem apenas as folhas e flores, apresentando um complexo aparato digestivo para digeri-las, como veremos na próxima aula. Girafas, vacas e uma grande variedade de mamíferos são típicos pastadores. Alguns animais pequenos, como os percevejos e cigarras, se especializaram em perfurar o tecido vegetal e sugar seus líquidos internos.

Tanto os organismos sésseis aéreos quanto os marinhos desenvolveram estratégias de proteção para não serem comidos. O surgimento de estruturas físicas de proteção, como os esqueletos de alguns animais marinhos sésseis, ou as poderosas paredes de celulose das plantas do ambiente aéreo favoreceram esses organismos. Além disso, o surgimento de uma série de substâncias químicas, tóxicas ou repugnantes evitou ao máximo os ataques. Isto levou a um mecanismo de coevolução, isto é, pastadores e alimentos evoluem conjuntamente, onde uma nova condição que surge em um deles seleciona novas condições que aparecem no outro.

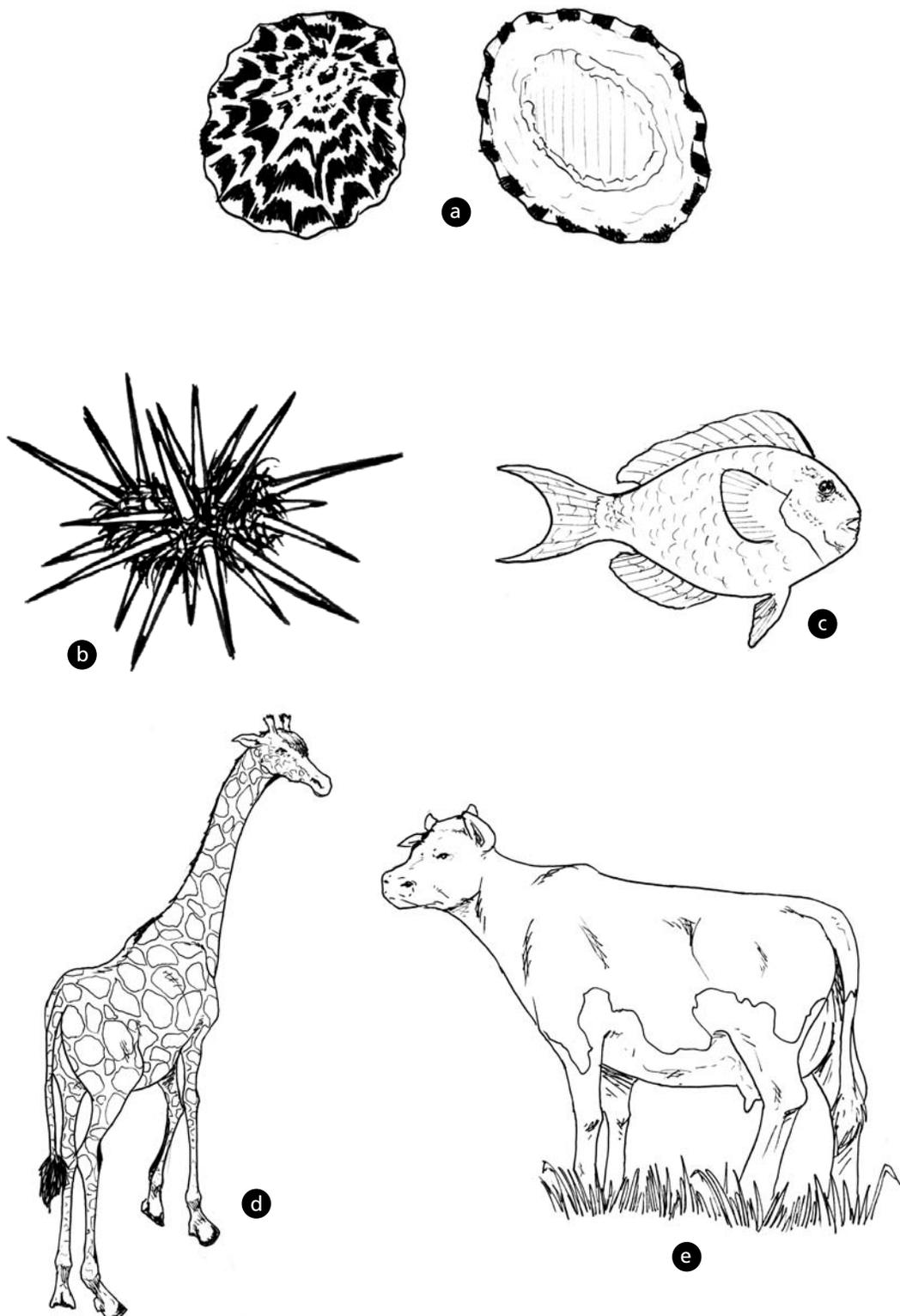


Figura 24.5: Pastadores: (a) gastrópode (*Colisella* sp.); (b) ouriço-do-mar (*Echiinometra* sp.); (c) budião (*Bodianus* sp.); (d) girafa (*Giraffa camelopardalis*); (e) vaca (*Bos taurus*).



Muitos animais domesticados mudam seu hábito alimentar; os gatos (predadores raptorais na natureza) e as galinhas (predadores rastreadores na natureza) se alimentam em cativeiro de alimento morto, na forma de ração.

Onívoros

É muito comum você encontrar animais que comem de várias formas ou que variem seu hábito alimentar quando o recurso é restrito. No ambiente aquático, por exemplo, alguns caranguejos são predadores, mas não dispensam um alimento morto (peixe, molusco etc.) que seja jogado na praia, por exemplo. O hábito onívoro também é muito difundido no ambiente aéreo, como no caso dos seres humanos que se alimentam tanto de vegetais como de animais.

Saprófagos

A saprofagia é comum também nos dois ambientes. Muitos animais de ambientes de praia, por exemplo, são especializados em se alimentar de restos mortos de outros animais jogados no local. O mesmo acontece no fundo do mar, onde um animal morto pode servir de alimento. Na praia, as pulgas-da-praia (crustáceos anfípodes) e o caranguejo-fantasma são dois típicos saprófagos. No ambiente aéreo, os urubus e as hienas são os saprófagos mais conhecidos, mas outros animais também apresentam tal hábito.

Parasitas

O hábito parasitário é um dos que apresenta maior convergência dentro dos animais; muitos grupos distintos apresentam formas parasitas externas (os **ectoparasitas**) ou internas (**endoparasitas**). Tal hábito requer uma série de modificações na morfologia desses animais, fazendo com que muitas vezes sejam muito distintos de outros membros de seu táxon. Acredita-se que o hábito parasita é uma especialização da predação, com uma diferença: na predação, o predador come a presa por inteiro ou em grande parte e é geralmente maior que ela; no parasitismo, a “presa” é muito maior que o “predador”. Pode-se supor que a evolução foi no sentido de o animal sugar ou se alimentar de tecidos da presa, podendo se tornar menor, ao invés de comer parte da presa.

O parasitismo é muito comum em alguns grupos como os platelmintos (por exemplo: as solitárias) e os asquelmintos (por exemplo: as lombrigas). Entretanto, diversos grupos, cuja maioria dos representantes tem o hábito de vida livre, também apresentam formas parasitas como os anelídeos (sanguessugas), os crustáceos (alguns isópodes e cracas), insetos (larvas de algumas vespas e de algumas moscas) e aracnídeos (carrapato e sarna).

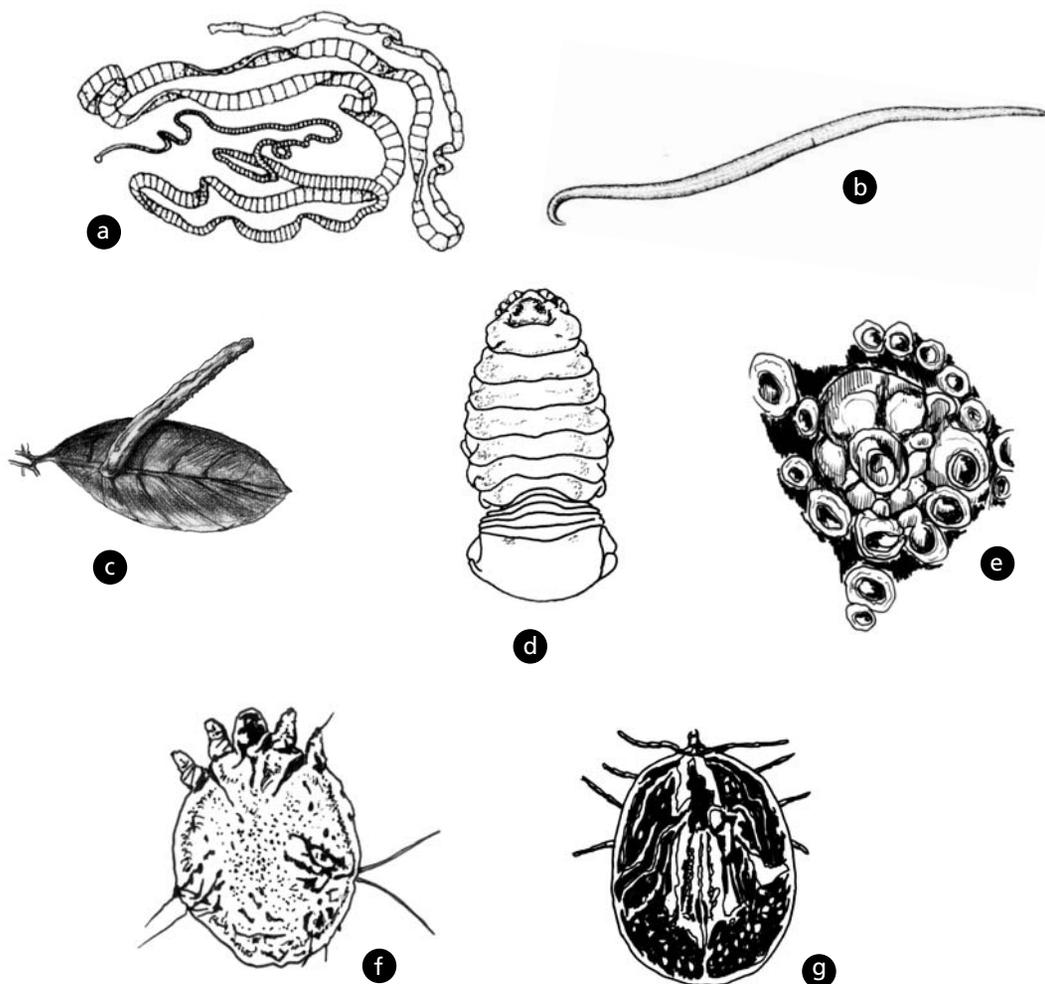


Figura 24.6: Endoparasitas e exoparasitas: (a) solitária (*Taenia sp.*); (b) lombriga (*Ascaris sp.*); (c) sanguessuga (*Hirudo sp.*); (d) isópodes (*Ceratothoa sp.*); (e) craca (*Cirripedia*); (f) sarna (*Sarcoptes sp.*); (g) carrapato (*Carrapatae*).

Microfagia

A microfagia consiste no consumo de recursos alimentares de tamanho muito pequeno. Desta forma, o custo energético para obtê-los deve ser baixo pois, por serem alimentos pequenos e dispersos, vão fornecer pouca energia. Os micrófagos ou são muito lentos, sésseis, ou apresentam mecanismos de economia de energia na procura do alimento.

Suspensívoros

A obtenção de alimento suspenso no meio é exclusiva do ambiente aquático, onde a coluna de água é habitada por uma série de organismos minúsculos, mas abundantes, como microalgas, protistas, pequenos metazoários, bactérias ou mesmo detritos suspensos. De forma geral, estes animais se aproveitam dos movimentos da água para trazer o alimento para eles. Alguns livros didáticos denominam tais animais **filtradores**, entretanto, muitos suspensívoros obtêm o alimento sem que haja qualquer mecanismo de filtração.

O hábito suspensívoro é muito comum em diversos grupos de metazoários. Alguns suspensívoros utilizam técnicas de filtração por **cerdas**, como tatuís e cracas (crustáceos), cujos apêndices cheios de cerdas filtram a água do mar em movimento, capturando o alimento em suspensão. A filtração **mucociliar** ocorre quando o animal apresenta uma grande ciliação em seus apêndices alimentares e secretam um muco para grudar o alimento coletado e carregá-lo para a boca. Este é o caso de muitos poliquetos sabelídeos, briozoários, bivalves (mexilhões), ascídeas, ofiuróides e holotúrias. Nos poliquetas sabelídeos, briozoários e ofiuróides, os tentáculos estão expostos para fora do corpo, semelhante aos crustáceos. Nos moluscos bivalves e ascídeas, o aparato filtrador é interno ao corpo, com o animal sugando a água por sifões (Figura 24.7).

! Alguns autores consideram que as aranhas que constroem teias são suspensívoros aéreos, entretanto, como vimos, este é um caso de um predador tocaieiro e não de um suspensívoro.

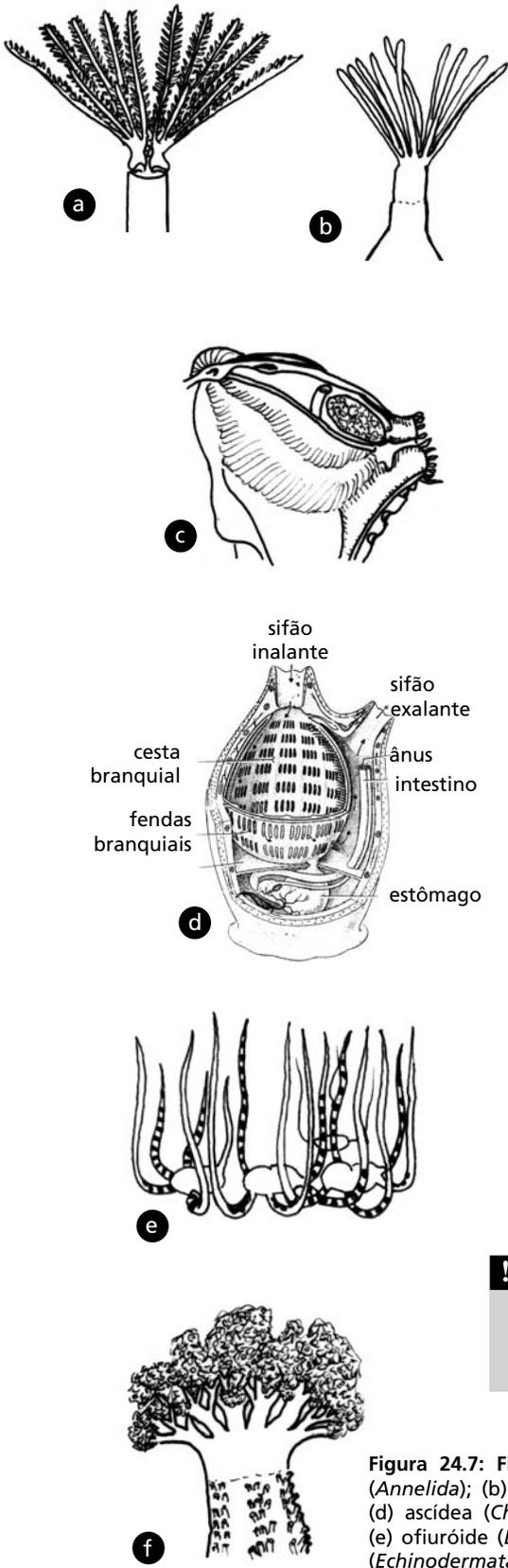


Figura 24.7: Filtração muco-ciliar: (a) poliqueta (*Annelida*); (b) bryozoa; (c) mexilhão (*Mollusca*); (d) ascídea (*Chordata*) (Storer & Usinger, 1979); (e) ofiuróide (*Echinodermata*); (f) pepino-do-mar (*Echinodermata*).

Outra estratégia de filtração ocorre através de **redes mucosas**, onde o alimento suspenso na água do mar fica aprisionado pela rede enquanto a água passa livremente. É comum nos poliquetos do gênero *Chaetopterus*, em urocordados planctônicos e em algumas larvas de tricópteros (insetos de água doce).

As formas que não obtêm material em suspensão através da filtração o fazem através de **tentáculos** ou **pés tubulares**, como corais e crinóides (lírios-do-mar) ou pela secreção de uma **armadilha de muco**, externa ao corpo, onde o alimento em suspensão fica aprisionado quando entra em contato com o muco, sem que haja filtração. Este método é empregado por moluscos como os gastrópodes **VERMETÍDEOS** e **pterópodes**.

VERMETÍDEOS

Moluscos gastrópodes que constroem agregados de tubos calcáreos alongados, semelhantes a vermes.

PTERÓPODES

Um dos raros grupos de gastrópodes planctônicos providos de uma concha muito fina e leve para permitir a flutuação. O muco da armadilha mucosa também funciona como uma espécie de bóia, facilitando também a flutuação.

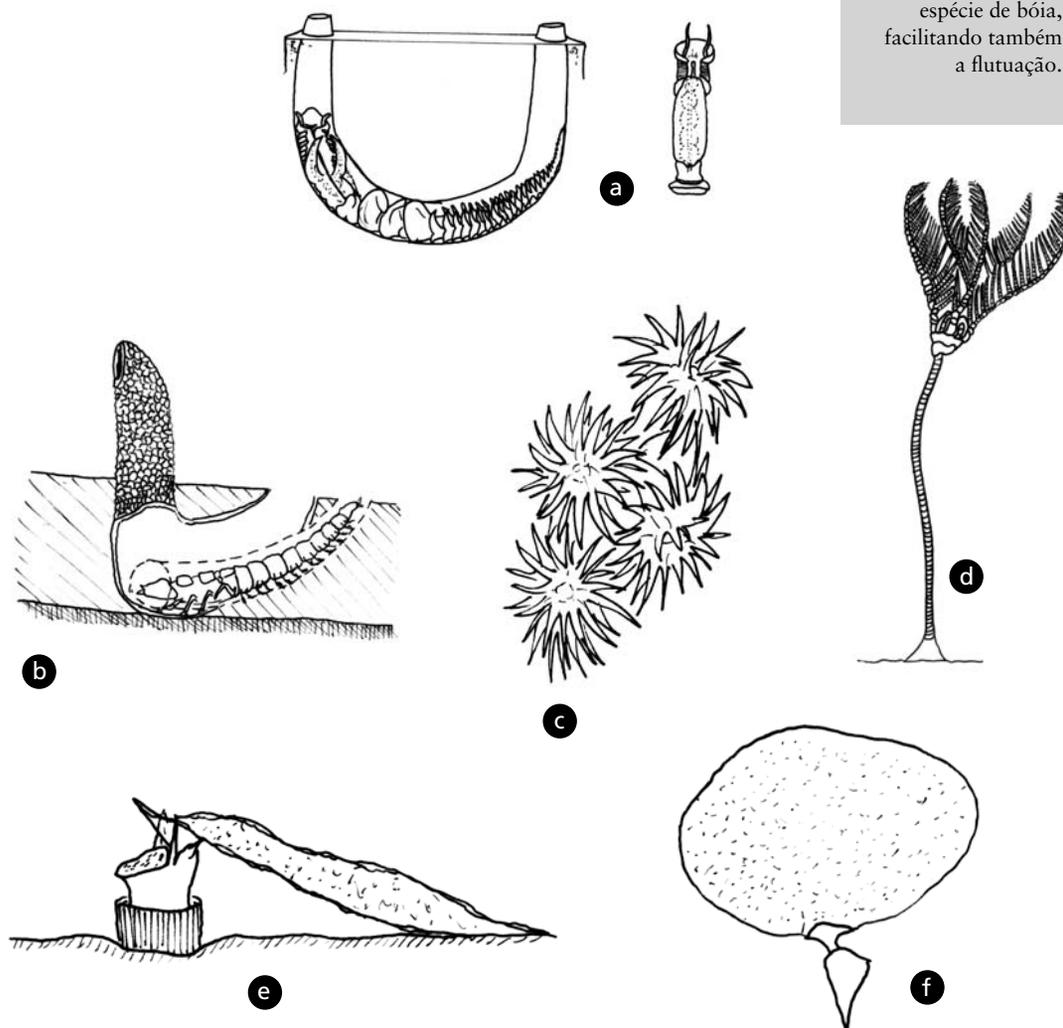
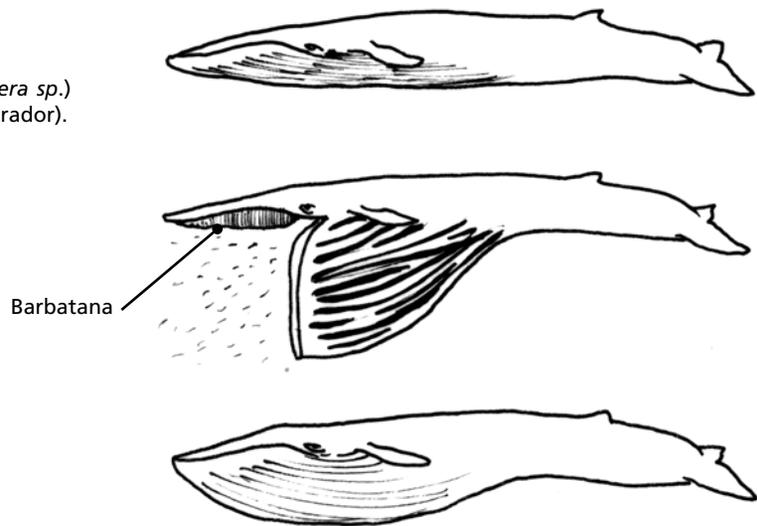


Figura 24.8: Alimentação suspensiva: rede mucosa (a-b): a) poliqueta (*Chaetopterus sp.*), b) tricóptera (*Macroneura sp.*). Tentáculos ou pés tubulares (c-d): c) coral (*Cnidaria*), d) lírio-do-mar (*Echinodermata*). Armadilha de muco (e-f): e) molusco vermetídeo (*Petalonchus sp.*), f) molusco pterópodo.

Quase todos os métodos citados neste item envolvem organismo de baixa mobilidade ou sésseis com o alimento indo até eles. Entretanto o hábito suspensívoro ocorre também em animais grandes de excelente e rápida mobilidade, como alguns peixes filtradores e algumas baleias, como as baleias jubartes (**Figura 24.9**), comuns na costa brasileira. Para eles, o corpo é tão grande que a água é pouco viscosa (lembre-se do número de Reynolds - Aula 21). Assim, uma vez iniciado o movimento, ele se mantém por inércia com um baixo gasto de energia. Por serem grandes, podem cobrir uma maior área alimentar enquanto nadam, concentrando uma boa quantidade de alimento, principalmente animais do plâncton marinho.

Figura 24.9: Baleia (*Megaptera sp.*) e suas barbatanas (órgão filtrador).



Depositívoros

Os **depositívoros** são aqueles animais que capturam alimento depositado no substrato marinho, de lagos e de rios, no ambiente aquático; na terra, no ambiente aéreo. Geralmente, os depositívoros estão constantemente se alimentando, pois o seu alimento está misturado com as partículas não orgânicas do sedimento. Em alguns casos, a porcentagem de alimento presente nos solos ou nos sedimentos é menor que 2%. O animal só aproveita uma ínfima parcela do queingere. Além disso, o alimento depositado muitas vezes constitui-se, principalmente no ambiente aquático, de restos de organismo já parcialmente digeridos na coluna d'água. A evolução do hábito depositívoro se deu no sentido de uma maior eficiência digestiva, um menor gasto energético e na alimentação praticamente contínua.

! Muitos livros utilizam a denominação detritívoros em vez de depositívoros. Entretanto, os animais que se alimentam no fundo aquático, não necessariamente digerem detritos, mas muitas vezes a fauna e flora associada a estes. A classificação dos animais aquáticos em filtradores ou detritívoros é conceitualmente errada, porque utiliza critérios diferentes. A denominação filtrador é baseada no método de captura e a detritívoro no tipo de alimento. Deve ser lembrado que muitas vezes o animal filtrador está se alimentando de detritos que estão em suspensão. A classificação correta, portanto, é suspensívoro e depositívoro, pois se baseia em um único critério, no qual o animal se alimenta na coluna d'água ou no sedimento, respectivamente.

Os depositívoros podem, eventualmente, selecionar as partículas orgânicas antes de engolir, sendo denominados **depositívoros seletivos** (Figura 24.10). Nesta categoria se enquadram, no meio aquático, alguns moluscos escafópodes, moluscos bivalves, pepinos-do-mar, anelídeos poliquetas e diversos grupos de insetos aquáticos (rios e lagos). São formas que geralmente habitam a superfície do sedimento e, portanto, concentram sua alimentação onde a parte orgânica é mais abundante. No meio aéreo, uma grande variedade de pequenos animais se alimenta de partículas orgânicas da superfície do solo, principalmente nas **SERRAPILHEIRAS**. Essa fauna é representada principalmente por artrópodes como insetos (alguns besouros), crustáceos (tatuzinho-de-jardim), aracnídeos (ácaros) e miriápodes (gongolos).

SERRAPILHEIRA

Camada orgânica dos solos caracterizada pelo acúmulo de detritos de origem vegetal, principalmente folhas de árvores.

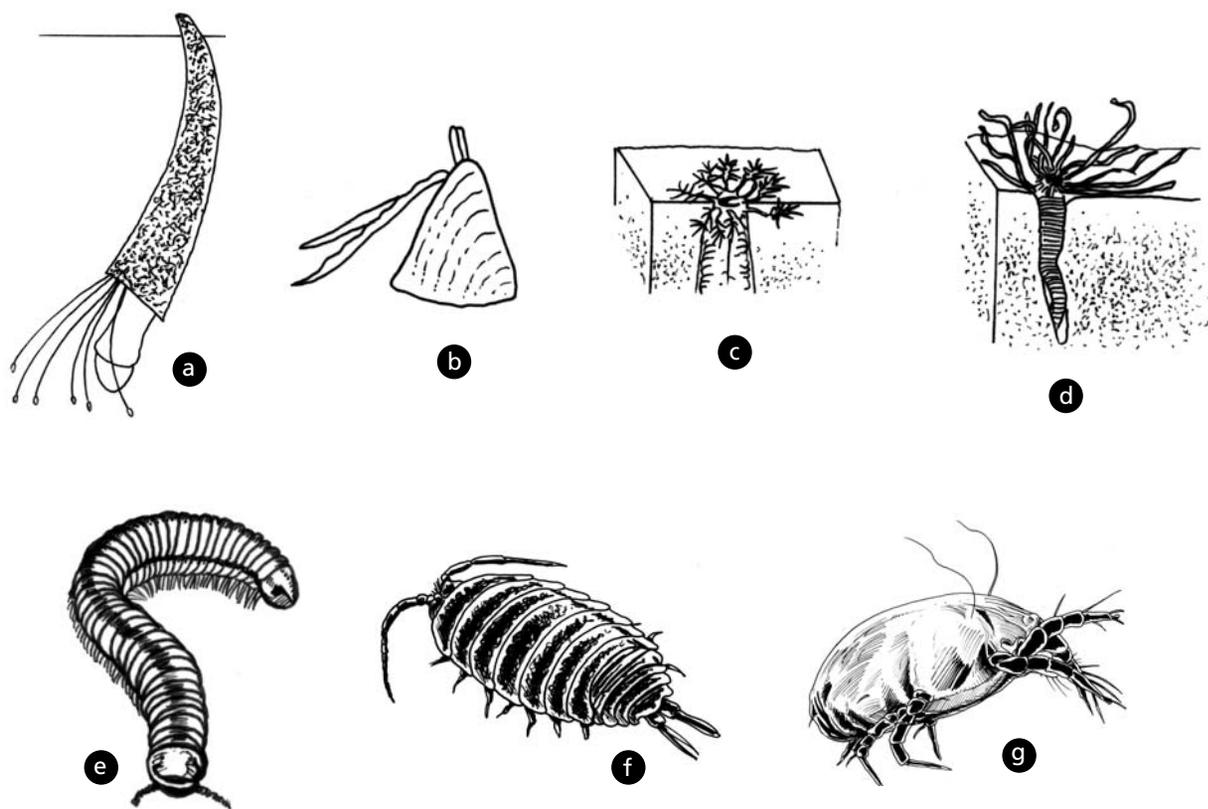


Figura 24.10: Depositívoros seletivos: (a) escafópode (*Mollusca*); (b) bivalve (*Donax sp.*); (c) pepino-do-mar (*Echinodermata*); (d) poliqueta (*Loimia sp.*); (e) Gongolo (*Myriapoda*); (f) tatuzinho-de-jardim (*Crustacea*); (g) ácaro (*Acari*).

Os depositívoros não seletivos (Figura 24.11) são aqueles que apresentam o “hábito de minhoca” se alimentando constantemente do sedimento e digerindo o material orgânico associado, como detritos e microorganismos. Nesse caso, o animal se mantém em constante movimento para capturar o máximo de sedimento possível por unidade de tempo. No meio aquático, são representados principalmente por alguns poliquetas, no mar, e oligoquetas e insetos aquáticos em rios e lagos. No ambiente terrestre, o exemplo clássico é o da minhoca (oligoqueta), que constantemente está retrabalhando o solo.

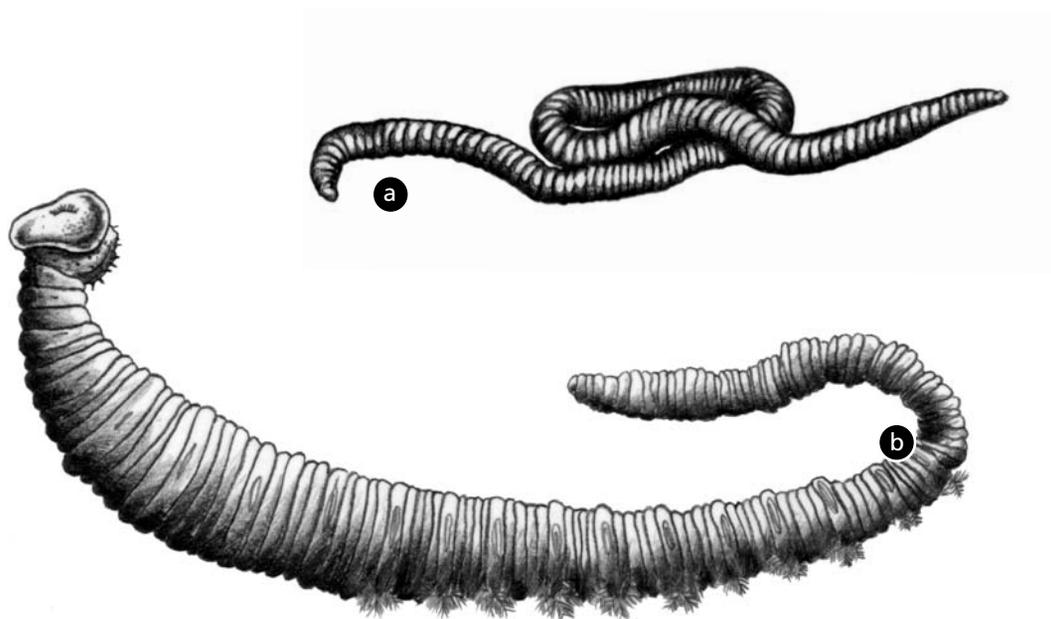


Figura 24.11: Depositívoros não seletivos: (a) minhoca (*Pontoscolex sp.*); (b) poliqueta (*Arenicola sp.*).

SIMBIOSE

A simbiose é uma forma de captura de alimento diferenciada, onde um animal utiliza recursos obtidos por outro organismo, geralmente autótrofo, para obter todo ou boa parte de seus recursos alimentares. Muitos animais têm, além da simbiose, outro hábito alimentar para completar sua demanda de alimentos. No meio aquático, é bem conhecida a simbiose entre microalgas, denominadas **zooxantelas**, e corais (cnidários) construtores de recifes. Embora o coral possa se alimentar através de seus tentáculos tubulares, boa parte de seu recurso energético provém da fotossíntese das zooxantelas, que crescem dentro do corpo do coral e liberam resíduos utilizados na alimentação.

Alguns moluscos, como os nudibrânquios, também podem ter simbiose, mas neste caso bem curioso, o animal se alimenta de algas, digere-as mas mantém seus cloroplastos (organela responsável pela fotossíntese) funcionando por até dois meses. Ou seja, o animal “rouba” a fábrica de energia das algas e a utiliza para completar seu suprimento alimentar.

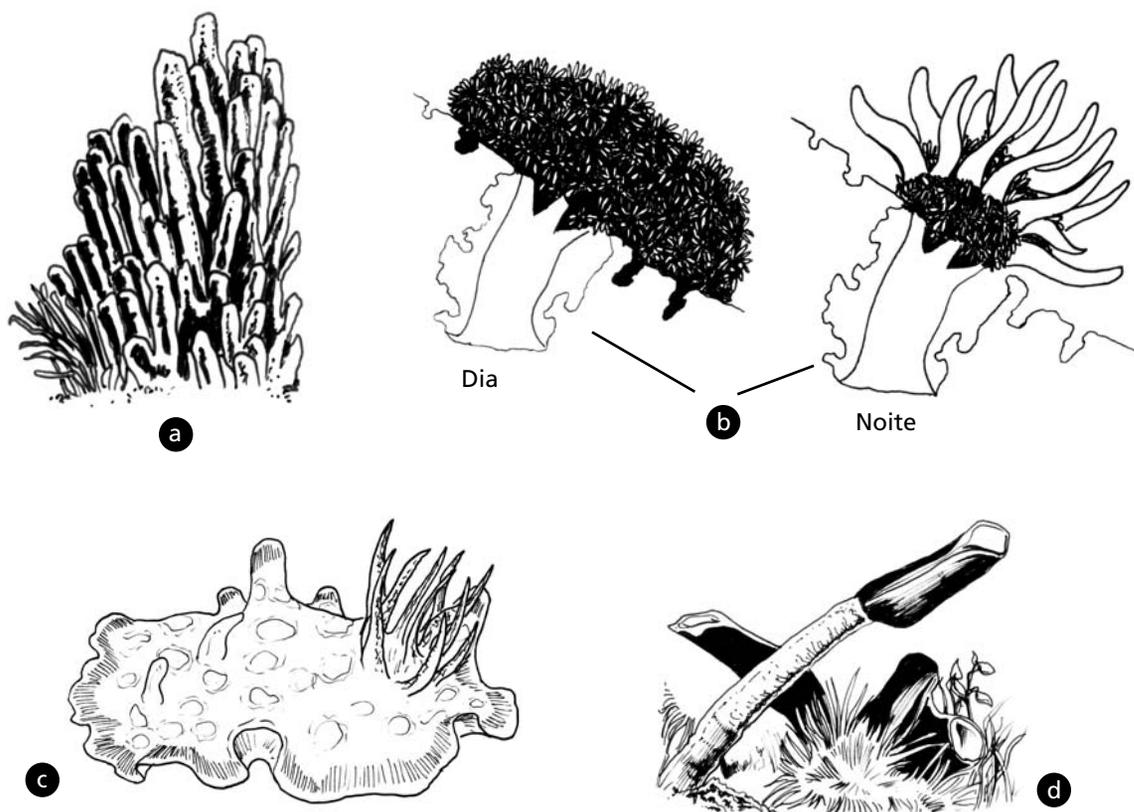


Figura 24.12: Simbiose: (a) coral; (b) anêmonas-do-mar; (c) nudibrânquio (*Mollusca*); (d) pogonóforo.

Em grandes profundezas marinhas também são comuns relações simbióticas. Estas foram descobertas recentemente (menos de 30 anos). Ocorrem nas denominadas **Fontes Hidrotermais** ou **Oásis das Profundezas** (ver disciplina Diversidade dos Seres Vivos). Nelas, pequenos chaminés expõem água em altíssimas temperaturas e carregadas de substâncias reduzidas (Figura. 24.13). As substâncias quando oxidadas pela água do mar adjacente, liberam energia. Muitas bactérias produzem sua energia dessa forma, num processo de produção que denominamos quimiossíntese. Um grupo especial de anelídeos, antes denominado **pogonóforo**, se destaca por obter seu alimento através da simbiose com bactérias quimiossintetizantes.



Pogonóforos – foi um dos últimos “filos” descritos no reino animal (século XX). São animais muito longos e afilados (semelhantes a fios de cabelo) que se caracterizam pela completa ausência de um tubo digestivo, absorvendo material orgânico diretamente da água do mar. Com a descoberta das fontes hidrotermais, foram encontrados pogonóforos gigantes de grande diâmetro (alguns centímetros), mas também desprovidos de tubo digestivo. Muitos autores criaram um novo filo para estas novas formas e o denominaram **Vestimentifera**. Entretanto, estudos morfológicos e moleculares recentes têm demonstrado que os pogonóforos e vestimentíferos são na realidade anelídeos, provavelmente poliquetos que apresentam redução do tubo digestivo devido ao hábito de vida. Não por acaso, o primeiro pesquisador que descreveu um pogonóforo identificou-o como um poliqueto. O velho sábio tinha razão.

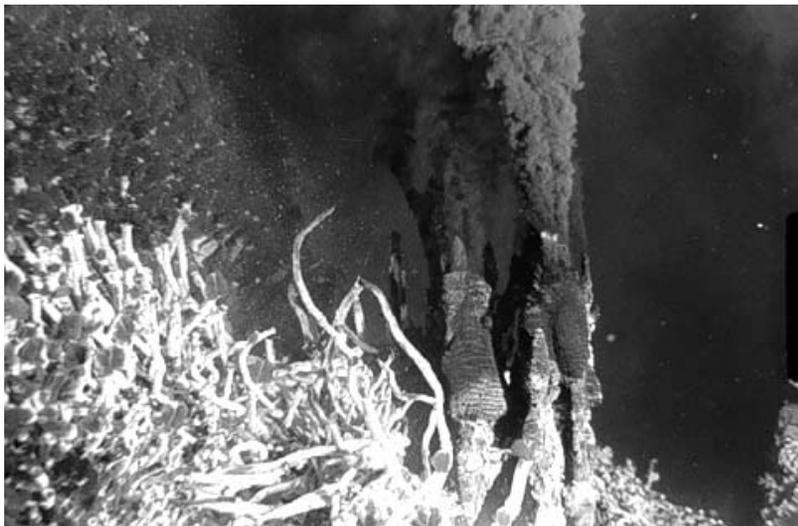


Figura 24.13: Fonte hidrotermal.

RESUMO

O processo de captura de alimento é vital para os metazoários, pois é através da oxidação do alimento capturado que é produzida energia e novos materiais são incorporados. Diversas classificações são utilizadas, considerando o tipo e o tamanho do alimento e sua forma de captura. Aqui, utilizamos uma classificação abrangente baseada nas estratégias de captura utilizadas pelos diversos metazoários. Elas variam, primeiro, quanto ao tamanho do alimento. A macrofagia ocorre quando o tamanho relativo do alimento é grande. Nesse caso, os animais são classificados em: predadores, pastadores, onívoros, saprófagos e parasitas. Os predadores podem ser ainda subdivididos em raptoriais ou perseguidores, rastreadores, tocaieiros ou oportunistas. Os pastadores, que se alimentam de organismos sésseis, são geralmente herbívoros no ambiente aéreo, mas podem se alimentar de outros animais no ambiente aquático. A microfagia é o hábito daqueles animais que se alimentam de partículas pequenas, vivas ou mortas, protistas, vegetais ou mesmo animais. São classificados em suspensívoros e depositívoros, conforme o local e a estratégia utilizada para se alimentar. Uma outra forma complementar de absorção de alimento se dá pela simbiose entre animais e produtores, como ocorre em corais com zooxantelas (protistas) fotossintetizantes e animais de fontes hidrotermais, como pogonóforos em simbiose com bactérias quimiossintetizantes.

EXERCÍCIO AVALIATIVO

Por que não existe um consenso, entre os especialistas, quanto à forma de classificar os métodos de captura de alimento?

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula falaremos sobre o tubo digestivo e o processo de digestão mostrando como eles variam nos diferentes grupos animais, conforme o tipo ou a estratégia de alimentação utilizada.

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Entender as principais formas de digestão dos metazoários.
- Comparar estas estratégias entre os diversos grupos de metazoários.

Pré-requisito

Aula 24 – Mecanismos de captura de alimento

INTRODUÇÃO

Assim como existem diferentes mecanismos de captura de alimento, apresentados na aula anterior, há uma grande variedade de alimento entre os animais. Eles variam quanto ao tamanho, constituição química e facilidade ou não de digestão.

A alimentação por microfagia parece ser a mais primitiva no reino animal, uma vez que as partículas pequenas poderiam ser facilmente digeridas por apresentarem uma relação área/volume muito alta. Além disso, o tamanho das partículas permite que elas sejam engolfadas pelas células, no processo de fagocitose, processo este que já estava bem estabelecido nos protistas heterótrofos. Este tipo de processo é o que denominamos digestão intracelular, pois ocorre dentro das células que revestem o epitélio do tubo digestivo.

O surgimento da macrofagia está associado à necessidade de obtenção de energia em grandes quantidades, compensando o custo energético para procurá-las. Ou seja, ao invés de se alimentar de partículas pequenas e de fácil digestão, os animais macrófagos passaram a capturar energia agregada na forma de organismos maiores. Essa forma de alimentação, entretanto, necessitou de um maior desenvolvimento do aparelho digestivo, uma vez que requer não apenas a quebra mecânica das partículas grandes mas, também, uma digestão das moléculas grandes em moléculas menores. Este processo só foi possível com o surgimento da digestão extracelular, que pode ocorrer paralelamente à intracelular.

Antes de discutir os dois tipos de digestão, vejamos como foi a evolução do tubo digestivo dos metazoários.

TUBO DIGESTIVO

Em esponjas, não se pode falar na existência de um tubo digestivo. Seu nível de organização, do ponto de vista alimentar, não difere muito dos protistas. A água passa por seus canais e leva o alimento diretamente para as células digestivas, onde ocorre a digestão intracelular.

O primeiro tipo de tubo digestivo surge, pelo processo de gastrulação (ver Módulo 2), com os cnidários (**Figura 25.1.a**) e é denominado cavidade gastrovascular. Ela tem uma única abertura e requer que tanto o alimento como os resíduos da digestão entrem e saiam pela mesma abertura. Desta forma, o epitélio da cavidade gastrovascular apresenta células digestivas dispersas. Muitas vezes, elas se encontram em regiões específicas da cavidade, como acontece em alguns antozoários, cuja cavidade é dividida em septos e mesentérios.

Em platelmintos, o tubo digestivo (**Figura 25.1.b**) ainda é em fundo cego (como a cavidade gastrovascular), mas devido à sua bilateralidade, ele se apresenta de forma muito longa e com muitas ramificações, o que facilita o transporte de alimento para cada uma das células.

O surgimento de um tubo digestivo completo com boca e ânus (**Figura 25.1.c**), como ocorre nos pseudocelomados e celomados, envolveu grandes mudanças no processo digestivo. Primeiro, este passa a ter um fluxo unidirecional, fazendo com que alimentos em diferentes estágios de digestão se encontrem em diferentes posições do tubo digestivo. Além disso, tais tubos digestivos podem apresentar uma especialização regional, com partes diferenciadas envolvidas cada uma em um processo, como em uma linha de montagem. A região anterior, por exemplo, seria responsável pela captura, armazenamento e maceração do alimento. Em seguida, viria uma região de transporte, outra de secreção de enzimas digestivas, outra de absorção e, por final, uma região de empacotamento das fezes (restos de alimento não digeridos) na porção posterior.

Este processo de linha de montagem, em um tubo digestivo completo com boca e ânus, envolveu ainda o desenvolvimento de musculaturas associadas ao tubo digestivo para mover o alimento. Desta forma, a digestão se tornou mais eficiente e permitiu um aumento na capacidade metabólica destes animais, otimizando a obtenção de energia de forma rápida e eficiente.

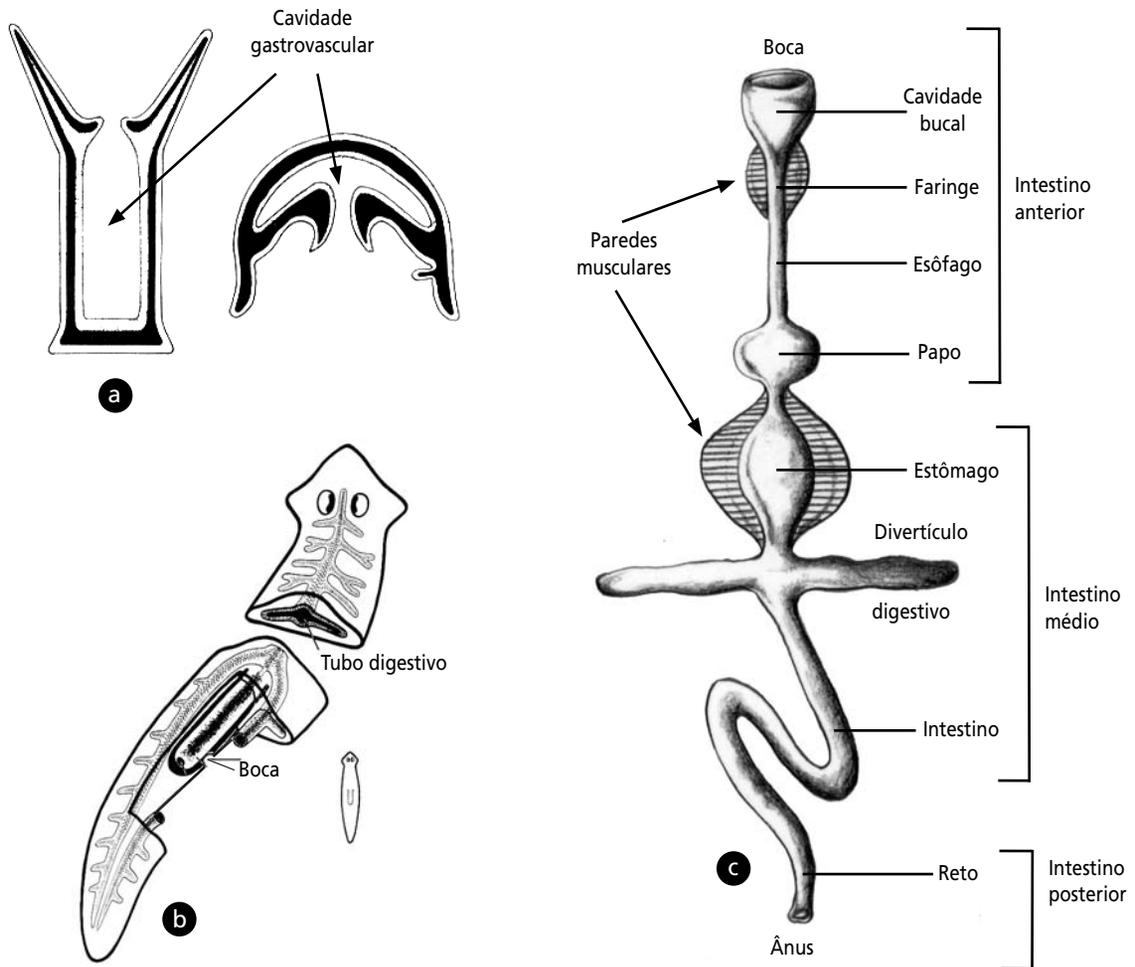


Figura 25.1: Diferentes tubos digestivos: (a) cavidade gastrovascular de cnidário; (b) tubo digestivo em fundo cego de platelminto; (c) tubo digestivo dos demais metazoários com especialização regional.

DIGESTÃO INTRACELULAR

Embora a digestão intracelular seja uma característica plesiomórfica (já ocorria antes do surgimento dos metazoários), ela se manteve em diversos grupos, mesmo em animais mais derivados e com trato digestivo completo. Típica de esponjas, a digestão intracelular é de grande importância nos animais com cavidades digestivas simples, como cnidários e platelmintos, embora estes também apresentem digestão extracelular.

Nos demais grupos, a digestão intracelular se manteve naqueles animais que não obtêm alimento agregado e cujo alimento, de pequeno tamanho, chega ao tubo digestivo sem estar misturado com partículas

inorgânicas. É, portanto, uma característica de animais suspensívoros, como moluscos bivalves e alguns poliquetas, entre os protostômios, e urocordados e cefalocordados, entre os deuterostômios.

Um exemplo do **processo digestivo dos suspensívoros** é a digestão em moluscos bivalves (Figura 25.2.a). Neles, o **alimento filtrado pelas brânquias** é carregado por uma **correia de muco**. A correia é **puxada por cílios** e por um **bastão rotatório localizado em uma evaginação do estômago, denominado estilete cristalino**, como em uma esteira de bagagem de aeroporto. A rotação do estilete é promovida pelo batimento coordenado dos cílios de sua cavidade, o saco do estilete. O movimento do bastão, além de puxar o muco que aprisiona as partículas alimentares, atrita seu ápice com o estômago, liberando **amilase** que iniciará a digestão extracelular. O muco se dissolve devido a uma diminuição do pH do meio, o que permite a digestão do muco, liberando as partículas do alimento. As partículas, agora livres e já quebradas em partículas menores, são então engolfadas pelas células do intestino onde ocorre a digestão intracelular.

Este tipo de digestão é muito semelhante ao que ocorre nos briozoários suspensívoros, os quais também apresentam um bastão rotatório, denominado **bastão mucofecal**. Ele difere dos moluscos bivalves por estar localizado dentro do intestino e não em uma evaginação do estômago (Figura 25.2.b). Como você pode ver, este é um típico caso de convergência, onde animais de grupos muito distintos, mas com o mesmo hábito alimentar, apresentam estratégias digestivas similares.

Este método que mistura digestão intra e extracelular, através de cordões de muco, também ocorre nas ascídeas. Nelas, boa parte do corpo é formada por uma faringe perfurada (Figura 25.2.c). A água que entra pelos sífões da camada externa do corpo atravessa a faringe em forma de saco e coberta por muco. Na região ventral da faringe, uma dobra denominada **endóstilo**, produz o muco o qual é transportado através do batimento ciliar por toda a faringe. Desta forma, o filtro da ascídea está em constante movimento, capturando o alimento e levando-o para a região bucal. O tubo digestivo destes animais apresenta um ceco intestinal e o movimento rotatório de seus cílios faz com que o muco se misture com as enzimas digestivas, numa forma análoga ao que ocorria com o estilete dos moluscos.

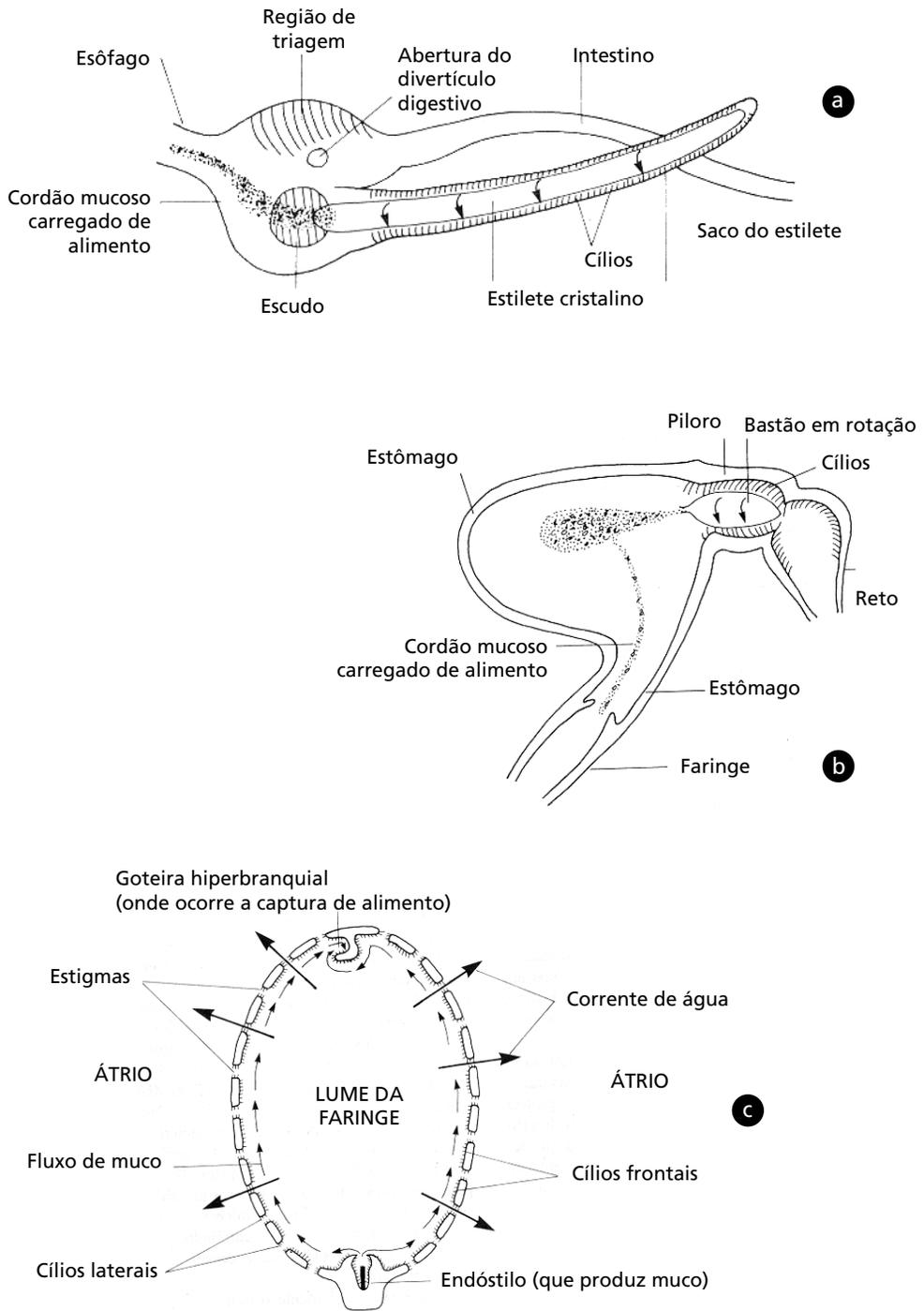


Figura 25.2: Aparelho digestivo. (a) Bivalve; (b) Briozoários; (c) Ascídea.

Como visto, a digestão de suspensívoros com filtração mucociliar apresenta muitas convergências, como a mistura de digestão extra e intracelular, a formação de cordões móveis de muco puxados por movimentos rotatórios e a dissolução do muco para liberação de partículas.

DIGESTÃO EXTRACELULAR

A digestão extracelular permitiu que os animais pudessem utilizar uma gama mais variada de tamanhos de alimentos. Por outro lado, esse tipo de digestão requer uma série de modificações no tubo digestivo. Como as partículas alimentares são maiores, é requerida uma digestão mecânica prévia. Também, são necessárias a produção e a secreção de enzimas, como proteases, amilases e lípases no tubo digestivo. A manutenção de condições adequadas dentro do tubo digestivo, como o nível de pH, também é requerida para que as enzimas possam catalisar a digestão da forma mais eficiente possível.

Por consumir tecido animal, os predadores produzem, na digestão, resíduos que podem ser oxidados, para a produção de energia, ou mesmo incorporados, já que a composição estrutural do predador e do alimento é similar. Quando a composição difere muito, algumas modificações no padrão de digestão são necessárias, como veremos a seguir.

Digestão extracelular em depositívoros

Como visto na aula anterior, os depositívoros, em especial os não seletivos, comem uma série de material inorgânico, como sedimento misturado com partículas orgânicas (que representam a menor porção ingerida). Como consequência, diversos animais depositívoros, principalmente os não seletivos, apresentam tubos digestivos longos (enrolados) ou com ramificações na forma de **cecos intestinais** ou **divertículos**. O aumento do tubo digestivo leva a um aumento considerável na área efetiva para digestão, já que a porção orgânica ingerida é relativamente pequena. Você pode observar essa diferença de tamanho, comparando o tubo digestivo de dois animais de mesmas dimensões, mas com hábito alimentar diferente, como um sipuncúlo (depositívoros não seletivos) e um equiúro (depositívoro seletivo ou suspensívoro).

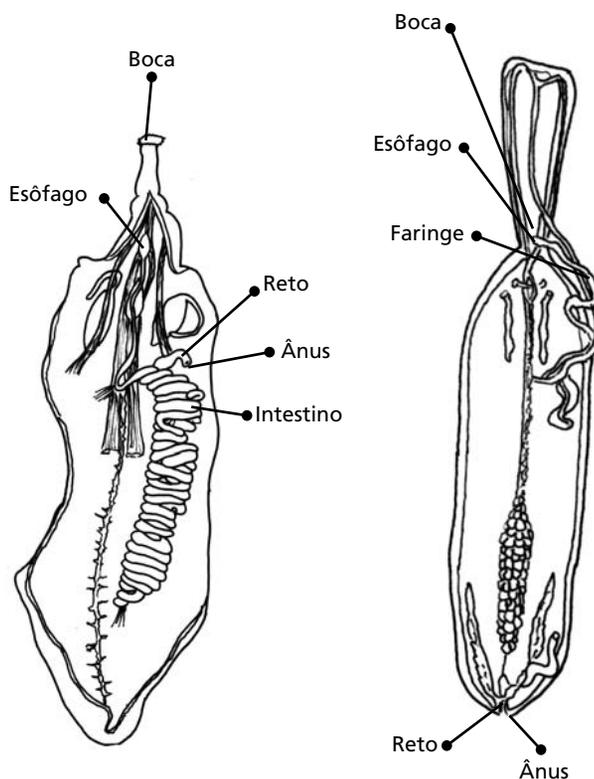


Figura 25.3: Tubo digestivo:
(a) sipuncúlo; (b) equiúro.

Além de a fração orgânica dos depositívoros ser relativamente pequena, ela também é composta de materiais de baixo valor nutritivo, como restos já digeridos por outros animais, carapaças de quitina ou fragmentos de celulose. Todas estas substâncias são carboidratos de cadeias muito longas, de difícil digestão e pobres em conteúdo de nitrogênio, um elemento essencial, principalmente quando o alimento vai ser incorporado para o crescimento ou para a produção de gametas.



Embora carboidratos possam fornecer energia, os carboidratos de cadeias longas, ao passarem pelo tubo digestivo, são apenas parcialmente digeridos, fornecendo pouca energia efetiva. É por isso que quem faz regime come muita salada (folhas). Alguns destes carboidratos são compostos de cadeias muito longas de carbono, enquanto os animais apresentam um conteúdo protéico muito alto. Muito carbono não significa muito material para incorporação e crescimento, pois um mínimo de nitrogênio é necessário para construir as moléculas dos aminoácidos que compõem as proteínas. Por exemplo, suponha que você é dono de uma fábrica de carros, e comprou 2 mil pneus por um preço muito baixo, entretanto, você só tem em estoque 100 motores. Por mais pneus que você tenha, sua limitação será o número de motores e você só pode usar 500 pneus. Para construir mais carros e usar todos os pneus, você precisaria adquirir pelo menos mais 300 motores.

Estes animais apresentam um tubo digestivo muito especializado, com regiões para armazenagem e para maceração das partículas maiores. A maceração fragmenta alimento e expõe uma área maior à digestão e à associação com microorganismos para digestão de celulose e enriquecimento de nitrogênio através de sua fixação.

As minhocas são bons exemplos da complexidade digestiva dos animais depositívoros. Apesar de sua aparência externa muito simples, as minhocas, assim como os depositívoros aquáticos, alimentam-se do sedimento continuamente. O alimento passa primeiro por uma cavidade, o papo, onde

é armazenado, sendo depois carregado para a **moela** (veja nota no boxe a seguir). A moela é uma parte do tubo digestivo extremamente musculosa, onde o alimento é macerado e transformando em fragmentos cada vez menores. Para tanto, são utilizados grãos de areia, que ficam constantemente armazenados na moela para facilitar tal maceração. A musculatura da moela é a musculatura mais poderosa que a minhoca apresenta, mais do que aquela utilizada na locomoção.

Os depositívoros, apesar de todas as especializações, nem sempre conseguem digerir totalmente o alimento, sendo importante na reciclagem e no enriquecimento dos sedimentos onde vivem. Por esta razão, as minhocas têm um papel fundamental no enriquecimento do solo, pois além de aumentarem sua aeração com sua escavação, elas enriquecem o solo com suas fezes, que apresentam alimento já parcialmente digerido, permitindo a liberação de nutrientes para as plantas.

Os depositívoros marinhos também têm um papel importante, pois transformam resíduos de difícil digestão, e que seriam perdidos para o fundo dos oceanos, em biomassa viva. Eles



Pastadores que se alimentam de grãos, como o caso das galinhas, também apresentam uma moela para macerar os grãos duros. Com certeza um caso de convergência devido ao tipo de alimento.

podem ser consumidos pelos predadores, retornando para as cadeias tróficas marinhas, em um típico caso de reaproveitamento de energia.

Digestão extracelular e simbiose em pastadores herbívoros

Entre os produtos consumidos pelos pastadores herbívoros, destacam-se os carboidratos. Boa parte dos carboidratos está armazenada na forma de amido, e a amilase é uma enzima largamente utilizada pela maioria dos pastadores vertebrados ou não.

Outro produto muito comum nos vegetais, principalmente nos vegetais de ambientes aéreos, é a celulose, um carboidrato composto de cadeias de carbono extremamente longas, como visto no item anterior. Para digeri-lo, os pastadores utilizam uma série de estratégias, incluindo a simbiose com outros organismos que conseguem digerir a celulose e com bactérias que fixam oxigênio.

Digestão extracelular por simbiose; o caso dos protostômios

Entre os protostômios, o consumo de grandes quantidades de celulose é comum em gastrópodes aéreos, em bivalves marinhos que perfuram madeira (os **TEREDINÍDEOS**), em traças e cupins (**Figura 25.4**).

Nos gastrópodes e bivalves, a digestão da celulose parece ser efetuada por microorganismos simbiotes que vivem em seu trato digestivo, principalmente bactérias. Estudos realizados sobre a ação enzimática em trato digestivo isolado destes animais, não mostrou a capacidade de produção de enzimas capazes de digerir a celulose (celulases). Assim, a simbiose nesses organismos é obrigatória, principalmente no caso dos teredinídeos que vivem perfurando troncos ou outros pedaços de madeira, não tendo outra opção alimentar.

TEREDINÍDEOS

Bivalves marinhos extremamente modificados. Vermiformes apresentam um par de conchas muito pequenas em relação ao resto do corpo. São reconhecidos como verdadeiras pragas por serem capazes de destruir, em pouco tempo, barcos e estruturas de madeira construídas no ambiente marinho.

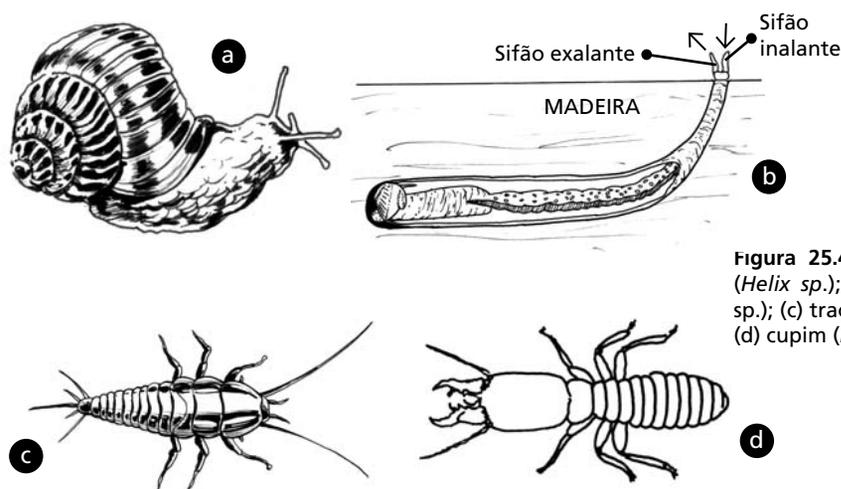


Figura 25.4: (a) Gastrópode aéreo (*Helix* sp.); (b) teredinídeo (*Teredo* sp.); (c) traça-de-papel (*Zygentoma*); (d) cupim (*Isoptera*).

Apesar da fama de grandes destruidores de madeira, os cupins não produzem celulases. Sua digestão é efetuada por pequenos protistas flagelados que vivem em simbiose com eles. O mais conhecido é *Trichomonas termopsidis*, encontrado em cupins do gênero *Termopsis*. Esses flagelados são organismos anaeróbicos obrigatórios e, portanto, quebram a celulase pelo processo de fermentação, liberando o resto do material para que possa ser digerido pelos cupins, em processos aeróbicos, com grande produção de energia. Assim, o cupim fornece um ambiente livre de oxigênio (o qual seria mortal) para os flagelados e recebe seus resíduos alimentares. No entanto, a celulose, além de difícil digestão, é composta de longas cadeias de carbono, pobres em nitrogênio. Por isso, os cupins, além da simbiose com os flagelados, a fazem também com bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico. Isto lhes confere uma especialização alimentar muito grande e um dos casos de simbiose obrigatória mais conhecidos na natureza.

As traças, os grande vilões das bibliotecas, parecem ser o único metazoário capaz de produzir sua própria celulase, independente da relação simbiótica. Esta relação, entretanto, ocorre com bactérias que fixam o nitrogênio, solucionando o problema do baixo valor nutricional de cadeias longas de carbono.

4.2.2. Digestão extracelular por simbiose: o caso dos vertebrados

O hábito pastador é muito difundido entre os vertebrados, principalmente nos mamíferos. Como a pastagem é principalmente de folhas, o conteúdo de celulose é muito alto, mesmo nelas. Os que não são capazes de se alimentar de celulose, são geralmente frugívoros, ou seja, alimentam-se de frutos onde o conteúdo de celulose é mínimo e os carboidratos são mais facilmente digeríveis, como glicose, frutose e sacarose.

Os pastadores de plantas, geralmente, apresentam simbiose com microorganismos associados ao trato digestivo, que neste caso apresenta câmaras especiais para a digestão simbiótica como os **APÊNDICES VERMIFORMES**, **cecos intestinais** e **compartimentos estomacais** (Figura 25.5).

APÊNDICE VERMIFORME

Esta cavidade do tubo digestivo dos herbívoros é, geralmente, uma câmara de fermentação para a fauna simbiótica. Muitos animais onívoros, como os seres humanos, apresentam resquílios desta cavidade, popularmente denominada apêndice, e cuja inflamação causa a famosa apendicite.

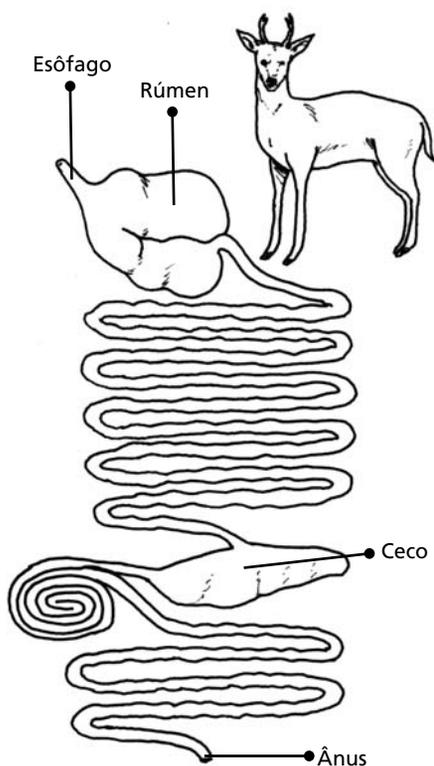


Figura 25.5: Tubos digestivos de mamíferos pastadores.

A simbiose mais comum no trato digestivo dos mamíferos. Este tipo de simbiose é encontrada também em tartarugas marinhas herbívoras (como *Chelonia mydas*) e em iguanas (*Iguana iguana*). Ocorre com bactérias e protistas, geralmente ciliados e não flagelados como no cupim.

Nestes casos, ambos também são organismos anaeróbicos obrigatórios e, portanto, só digerem parcialmente a celulose por fermentação. Além disso, muitos desses microorganismos também enriquecem a celulose sintetizando proteínas a partir de nitrogênio inorgânico, tornando a relação simbiótica fundamental para estes pastadores.

A relação simbiótica tem seu máximo de complexidade nos mamíferos que apresentam uma cavidade estomacal denominada **rúmen**. Os animais que apresentam tal cavidade, os **ruminantes**, são em geral animais bem conhecidos como as vacas, ovelhas e cabras. Neles, o alimento após ser macerado pela boca é engolido e se dirige ao rúmen, onde ocorre a fermentação. De tempos em tempos, o alimento retorna à boca por regurgitação e o animal volta a mastigá-lo, quebrando cada vez mais as longas cadeias celulósicas.

Por esta razão, os ruminantes estão constantemente mastigando, como se tivessem com um chiclete na boca, mesmo que não estejam pastando. Para facilitar a maceração, é secretada uma grande quantidade de saliva, algumas vacas podem produzir até 100 litros de saliva em um único dia!!!

Nos mamíferos não ruminantes, a massa de alimento não retorna à boca e a fermentação ocorre ou em câmaras no estômago ou em apêndices e cecos intestinais. Este tipo de simbiose ocorre em grupos muito distintos de mamíferos, como marsupiais, preguiças e macacos. A eficiência digestiva é, entretanto, maior nos ruminantes, pois a fermentação ocorre antes de passar para o intestino, aumentando a área de possível absorção. O regurgitamento e a mastigação contínua do bolo alimentar aumentam a capacidade de fragmentação da celulose. Além disso, como a fixação de nitrogênio orgânico ocorre na região anterior do tubo digestivo, este pode ser absorvido mais facilmente, não sendo eliminado com as fezes.

O surgimento da relação simbiótica entre alguns animais e microorganismos foi um passo evolutivo fundamental para a conquista do ambiente aéreo pelas formas pastoras, pois, como visto, os vegetais aéreos, devido à baixa densidade do meio, apresentam tecidos de sustentação rígidos e de difícil digestão, como é o caso da celulose.



Observe como as fezes de uma vaca são homogêneas, é difícil perceber restos de alimentos nelas. Isto porque ela foi constantemente macerada pela boca. Compare com as fezes de um animal doméstico, como um cachorro ou mesmo um cavalo.

RESUMO

Os diferentes mecanismos de captura de alimento levam à obtenção de tipos de alimentos diferenciados. Na evolução dos metazoários, o tubo digestivo evoluiu no sentido de um aumento da eficiência metabólica, passando de uma digestão apenas intracelular, como em poríferos, para uma digestão extracelular. Estas duas formas podem ocorrer conjuntamente em cnidários e platelmintos que apresentam tubos digestivos com uma única abertura. Ocorrem também em animais providos de tratos digestivos completos com especialização regional, mas que se utilizam de partículas pequenas e nutritivas como no caso de muitos suspensívoros.

Em depositívoros, predadores e pastadores, a digestão é basicamente extracelular. A utilização de alimentos misturados com sedimento e de baixo valor nutricional fez com que os depositívoros desenvolvessem uma relação simbiótica com microorganismos. Esta relação simbiótica é mais comum em animais pastadores que se utilizam de alimentos ricos em celuloses. Os microorganismos além, de quebrarem a celulose, também são capazes de fixar nitrogênio, atividade esta que enriquece o alimento, que é baseado em longas cadeias de carbono. Os predadores, por se alimentarem de outros animais, não precisam de tal enriquecimento, já que a constituição química do alimento é similar a do predador.

A simbiose ocorre tanto em ambientes aéreos ou aquáticos, sendo que os microorganismos simbiontes são geralmente bactérias e protistas anaeróbicos obrigatórios. Nos vertebrados, o aparecimento de câmaras de fermentação facilita tal processo, com os ruminantes apresentando a complexidade máxima, pois estes podem regurgitar o alimento e mastigá-los novamente para quebrar mecanicamente a celulose, aumentando a eficiência da fermentação.

EXERCÍCIO AVALIATIVO

Um pesquisador colocou uma série de cupins em um ambiente com uma alta pressão parcial de oxigênio (3 vezes maior do que o normal). Após algum tempo, certificou-se de que os cupins continuavam vivos, entretanto, estes, ao se alimentarem, não conseguiam mais digerir a celulose como faziam antes do experimento. O que você sugere que tenha acontecido para que isto ocorresse?

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, veremos como os metazoários obtêm oxigênio do meio ambiente para oxidar o alimento absorvido após a digestão no processo de respiração celular.

Introdução à Zoologia

Gabarito

Aplicando a fórmula do Número de Reynolds: $u \times d / \nu$ onde: u = velocidade do animal, d = dimensão do animal e ν = viscosidade cinemática do meio, temos, padronizando tudo para metros, como resultado:

Para a tainha é: $1 \times 0,3 / 0,000001 = 300.000$ e

para o peixe-borboleta é: $0,3 \times 0,15 / 0,000001 = 45.000$

Ou seja, o Número de Reynolds para o peixe-borboleta é mais do que 6 vezes maior do que para a tainha. Portanto, esta, ao nadar, necessita bater suas nadadeiras com maior frequência, pois o mar para o peixe-borboleta é mais viscoso do que para a tainha.

1) No caso do movimento do Nereis, a porção do corpo que está em contato com o substrato é justamente aquela que está distendida e não a que está contraída. Esta porção distendida é que estende os parapódios para dar tração. No caso da minhoca, a tração é dada pela porção dilatada da onda, não pela estendida (ou esticada). É na porção dilatada que estão as cerdas. Assim, a fase da onda onde existe tração com o substrato é oposta nos dois casos, daí o Nereis apresentar ondas diretas e nas ondas retrógradas (minhoca).

2) Como visto, os animais de praia de corpo mole escavam usando uma mesma estratégia, que é a ancoragem seguida da retração do resto do corpo. Como visto, são grupos taxonômicos muito distintos (Arenicola é um poliqueta, Donax é um molusco e Metapeachia é um cnidário). Esse tipo de locomoção só pode ter evoluído de forma independente nesses grupos, sendo, portanto, características homoplásticas.

3) Um animal com a dimensão de uma baleia tem uma relação área/volume extremamente pequena e, portanto, um número de Reynolds muito alto. Nesses casos, a força para levar este animal a se movimentar não pode partir da superfície (como no caso da locomoção ciliar) pois não seria suficiente para carregar um corpo volumoso. A solução é a força para a locomoção ser gerada pelo volume e não pela área do corpo, daí a predominância da locomoção muscular.

1) As serpentes usam dois tipos de rastejamento principais: no rastejamento por ondas peristálticas, o movimento é por ondas retrógradas, que correm ao longo do corpo, semelhante ao que ocorre em minhocas. Mas utilizando-se da retração ou do relaxamento dos músculos, que ligam as costelas às escamas ventrais, que tem o mesmo papel das cerdas na minhoca, ou seja, fixar o corpo no substrato nos pontos de máxima contração do corpo.

2) Em ambos os casos, a locomoção se dá por movimentos laterais do corpo por ondas diretas (mesmo sentido do movimento) cuja função principal é arremessar os apêndices para a frente, os quais, vão puxar o corpo durante a locomoção. A grande diferença é que no caso dos poliquetas, os apêndices não são articulados, enquanto que nos jacarés a locomoção é mais eficiente devido à articulação de seus apêndices.

Como visto, a classificação pode variar conforme o ambiente e o tipo de alimento. Assim, alguns autores consideram a estrela-do-mar como predador (aqui foi denominada pastadora) e alguns consideram animais que filtram microalgas, também como pastadores, pois seriam formas herbívoras. A classificação utilizada nesta aula considera, portanto, apenas o método utilizado e não a constituição química do alimento. Entretanto, alguns animais ocupam posições intermediárias entre as classificações. Um predador rastreador, por exemplo, não difere muito de um pastador.

Provavelmente, devido à alta pressão parcial de oxigênio no meio, este tenha atingido o trato digestivo dos cupins. Como os simbiosomas que quebram a celulose para o cupim são flagelados anaeróbicos obrigatórios, estes devem ter morrido em contato com o oxigênio, incapacitando o cupim de digerir seu alimento.

Introdução à Zoologia

Referências

BARNES, R.D. *Zoologia dos Invertebrados*. São Paulo: Roca, 1990. 1179p.

BARNES, R.S.K.; CALOW, P.; OLIVE, P.J.W. *Os Invertebrados: uma nova síntese*. São Paulo: Atheneu, 1995. 526p.

BRUSCA, R.C.; BRUSCA, G.J. *Invertebrates*. Sunderland: Sinauer, 1990. 923p.

BRUSCA, R.C.; BRUSCA, G.J. *Invertebrates*. Sunderland: Sinauer, 2003. 936p.

HICKMAN, C.P.; ROBERTS, L.S.; Larson. *An Integrated principles of Zoology*. 9.ed. St. Louis: Mosby-Year Book, 1993. 983p.

KARDONG, K. *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function Evolution*. New York: McGraw-Hill Science. 1997. 747p.

POUGH, F.H.; JANIS, C.M.; HEISE, J.B. *A Vida dos Vertebrados*. São Paulo: Atheneu, 2003. 699p.

SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia Anima: Adaptação e Meio Ambiente*. São Paulo: Santos Livraria Editora, 1996. 600p.

STORER, T.I.; USINGER, R.L. *Zoologia Geral*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1979. 757p.



UENF
Universidade Estadual
do Norte Fluminense



Universidade Federal Fluminense
uff



UNIRIO



SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA



Ministério
da Educação

