

Claudia A. M. Russo
Leandro O. Salles
Paulo Brito

Diversidade dos Seres Vivos





Fundação

CECIERJ

Consórcio **cederj**

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

Diversidade dos Seres Vivos

Volume 3 – Módulo 3
2ª edição

Claudia A. M. Russo
Leandro O. Salles
Paulo Brito



**GOVERNO DO
Rio de Janeiro**

**SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA**



**Ministério
da Educação**



Apoio:



FAPERJ

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

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

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Claudia A. M. Russo

Leandro O. Salles

Paulo Brito

COORDENAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL E REVISÃO

Alexandre Rodrigues Alves

Nilce Rangel Del Rio

COORDENAÇÃO DE LINGUAGEM

Maria Angélica Alves

REVISÃO TÉCNICA

Marta Abdala

Departamento de Produção

EDITORA

Tereza Queiroz

REVISÃO TIPOGRÁFICA

Jane Castellani

Sandra Valéria F. de Oliveira

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Jorge Moura

PROGRAMAÇÃO VISUAL

Bruno Gomes

Marta Strauch

Reinaldo Lee

ILUSTRAÇÃO

Bruno Gomes

David Amiel

Reinaldo Lee

CAPA

Reinaldo Lee

PRODUÇÃO GRÁFICA

Oséias Ferraz

Verônica Paranhos

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.

R969d

Russo, Claudia A. M.

Diversidade dos Seres Vivos: v.3: mód.3 —

2.ed. — Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2010.

120p.; 19 x 26,5 cm.

ISBN: 85-89200-14-0

1. Anfíbios. 2. Répteis. 3. Mamíferos. 4. Evolução Humana. I. Salles, Leandro O. II. Brito, Paulo. III. Título.

CDD: 333.95

2010/1

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 23 – Introdução aos mandibulados _____ | 7 |
| <i>Claudia A. M. Russo</i> | |
| Aula 24 – A origem dos tetrápodos _____ | 19 |
| <i>Claudia A. M. Russo</i> | |
| Aula 25 – A origem dos anfíbios _____ | 29 |
| <i>Paulo Brito</i> | |
| Aula 26 – Origem dos répteis _____ | 39 |
| <i>Paulo Brito</i> | |
| Aula 27 – Dinossauros _____ | 49 |
| <i>Paulo Brito</i> | |
| Aula 28 – Aves _____ | 59 |
| <i>Paulo Brito</i> | |
| Aula 29 – Mamíferos I _____ | 71 |
| <i>Claudia A. M. Russo</i> | |
| Aula 30 – Mamíferos II, os hominídeos _____ | 81 |
| <i>Claudia A. M. Russo</i> | |
| Aula 31 – Evolução humana I _____ | 95 |
| <i>Claudia A. M. Russo</i> | |
| Aula 32 – Evolução humana II _____ | 103 |
| <i>Claudia A. M. Russo</i> | |

Introdução aos mandibulados

AULA 23

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Despertar interesse pelo conhecimento dos gnastostomados e pela diversidade.
- Ressaltar a importância da duplicação gênica e tetraploidização em evolução.

Pré-requisito

Rever Aulas 3, 4, 5, 14, 15, e 17.

GNATOSTOMADOS

Já vimos, na última aula, que os primeiros peixes não possuíam mandíbulas, como os agnatos. Nesta aula estudaremos o grupo dos gnatostomados, que inclui todos os vertebrados com mandíbulas.

Este grande e diverso grupo, que hoje inclui os peixes ósseos, os

peixes cartilaginosos, os anfíbios, os répteis, os mamíferos e as aves, surgiu há cerca de 430 milhões de anos. Ele alcançou sua maior diversidade no Devoniano (há 410 milhões de anos), período no qual todas as classes conhecidas já se encontravam representadas. Apesar de parecer pouco importante, a uma primeira vista, o desenvolvimento da mandíbula é tido como um dos eventos mais importantes da história evolutiva dos animais. A mandíbula dos vertebrados garante a eles o acesso a uma alimentação diferenciada e a possibilidade de serem caçadores em potencial, ao invés de apenas filtradores.

Uma questão interessante é que o processo de mastigação nos peixes é bem diferente do processo humano. Por exemplo, enquanto na cabeça humana apenas a mandíbula se move, na cabeça de um peixe ocorre algo muito mais complexo, pois mais de vinte ossos se movimentam durante o processo de alimentação. De qualquer forma, a mastigação é permitida pela mandíbula dos animais gnastostomados. Embora de difícil comprovação paleontológica, imaginamos que o surgimento da mandíbula pode ter ocorrido de duas maneiras distintas. A explicação clássica para a origem da mandíbula dos gnatostomados é a que diz que essa estrutura se deriva de modificações no arco branquial, como mostra a Figura 23.1.

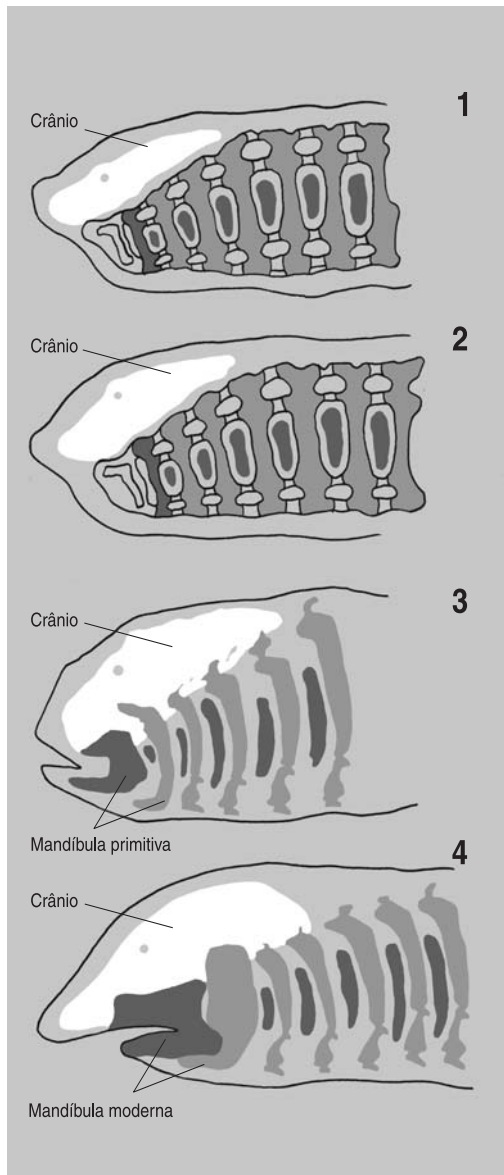


Figura 23.1: A evolução da mandíbula a partir dos arcos branquiais.

Vocês se lembram da aula em que conversamos sobre o fato de o desenvolvimento ser uma evolução observável? Pois é, uma outra teoria para explicar o surgimento da mandíbula se baseia no desenvolvimento. Vamos pensar um pouco sobre isso. Como podemos explicar a evolução através do desenvolvimento? Ora, larvas de organismos não possuem ossos ou cartilagens, muito menos mandíbula. Apesar disso, organismos mandibulados adultos apresentam, obviamente, mandíbula. Assim, observando o desenvolvimento de um único indivíduo ao longo de sua vida, podemos ter uma idéia de como aconteceu o aparecimento da mandíbula na história evolutiva dos mandibulados. A primeira teoria para explicar esse aparecimento tem base em duas evidências independentes.

A primeira é que embriologicamente a mandíbula tem origem na parte superior do **MESÊNQUIMA**. Essa mesma região do mesênquima, nos organismos sem mandíbulas (como os anfióxos – **Figura 23.2** e os **JUVENIS** de lampréias), se desenvolve em elementos cartilaginosos que suportam o velum. A importância do **VELUM** é ser uma das primeiras regiões a condricar na região da faringe e serve para selecionar partículas alimentícias sugadas para o interior da boca. Esse velum dos organismos sem mandíbula poderia ser homólogo à estrutura mandibular, ou seja, a mandíbula poderia ter se desenvolvido a partir de algumas modificações nessa região.

MESÊNQUIMA

São células não diferenciadas do mesoderme que originam cartilagens e esqueleto.

JUVENIS

São os indivíduos jovens de uma determinada espécie, ou seja, os indivíduos que ainda não atingiram a maturidade.

VELUM

É uma região que seleciona partículas alimentícias sugadas para o interior da boca dos agnatos.

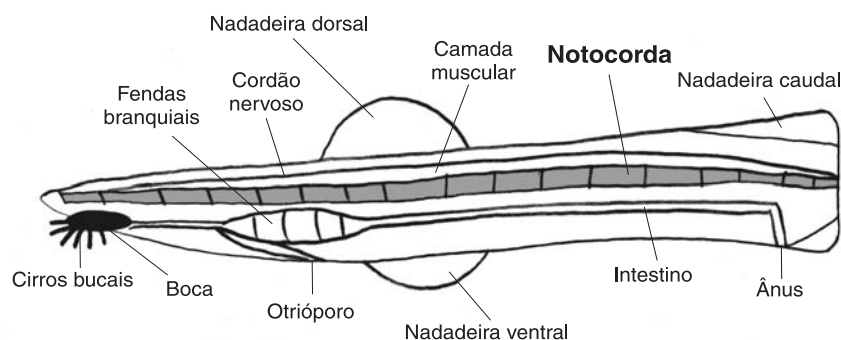


Figura 23.2: Um anfióxico. Todos os anfióxos pertencem ao gênero *Branchiostoma* do subfilo Cephalochordata de organismos com uma notocorda, mas sem coluna vertebral.

Além da mandíbula, outro passo importante dado pelos primeiros gnastostomados foi a aquisição nadadeiras pares bem desenvolvidas e firmemente sustentadas por cinturas. Esse tipo de adaptação foi importante para manter o balanço do organismo na coluna d'água.

Embora possamos postular a origem desse grupo a partir de um ancestral agnato, não conhecemos nenhum grupo agnato a que se possa atribuir uma ancestralidade direta. Contrariamente aos agnatas, que provavelmente não formam um grupo monofilético, os gnastostomados formam um grupo natural, baseado em características derivadas concretas. Algumas dessas características ou sinapomorfias desse grupo são: 1) existência de uma mandíbula verdadeira; 2) três canais semicirculares no ouvido interno; 3) membros (nadadeiras ou membros) bem desenvolvidos, sustentados por cinturas. Lembre-se de que se os gnastostomados foram um grupo monofilético, suas sinapomorfias apareceram na história evolutiva apenas uma vez.

Daqui para diante vamos falar dos animais com mandíbulas. Iniciaremos esse discurso com uma breve visão de seus três grandes grupos: os placodermas, os condrícties, e os osteícties. Desses três, apenas os placodermas não possuem representantes vivos, ou seja, eles constituem um grupo extinto de peixes. Alguns pesquisadores reconhecem um quarto grupo, também extinto, que inclui os acantódios. Outros incluem os acantódios no grupo dos osteícties, como iremos fazer aqui, nesta aula.

PLACODERMAS

Apesar de estarem extintos hoje, os placodermas tiveram um enorme sucesso há cerca de 400 milhões de anos, no Devoniano, e apresentam um registro fóssil amplo e bem diversificado. Eles habitavam tanto a água doce, como a água salgada. Entretanto, a posição filogenética em relação a outros gnastostomados é incerta. Alguns autores os colocam como basais em gnastostomados, outros os colocam mais próximos de osteícties, outros ainda, mais próximos dos condrícties.

No início do Devoniano, os placodermas eram peixes bem pequenos; entretanto, ao longo desse período, eles começaram a se desenvolver, ficando cada vez maiores. Alguns fósseis sugerem que algumas espécies de placodermas alcançaram um comprimento de até 9 metros! Todos os placodermas eram recobertos por uma carapaça óssea ornamentada e muito espessa, que cobria toda a metade anterior do corpo do animal. Na realidade, essa carapaça era tão espessa que já foi sugerido que eles não conseguiam sustentar o próprio corpo na coluna d'água.

Imagine um peixe de nove metros de comprimento em que toda a metade anterior fosse formada por uma camada óssea espessa. O alto custo energético de manutenção da flutuabilidade do animal pode os ter levado à extinção. Seu corpo era achatado dorsoventralmente, com **SUPERFÍCIE VENTRAL** plana lembrando a superfície de um tubarão. Como esse grupo é conhecido apenas pelo registro fóssil, não sabemos que cores os placodermas tinham. Acesse a página da web <http://www.exhibits.lsa.umich.edu/New/Education/Activities/ColorBook/Dunkleosteus.html> para colorir o *Dunkleosteus* caçando um pequeno peixe com as cores que você preferir.



Figura 23.3: A foto de um membro do Museu de História Natural da Suíça preparando um exemplar de *Dunkleosteus*, um placoderma fóssil que chegou a medir nove metros de comprimento.

SUPERFÍCIE VENTRAL

É a superfície de baixo. Superfície dorsal é a superfície de cima.

EVOLUÇÃO PARA O SUCESSO OU APENAS EVOLUÇÃO?

Você já deve ter ouvido falar que “tal espécie é menos evoluída do que tal espécie”, não é? Pois é, a maneira como estamos tratando da evolução pode leva-lo a concluir que estamos falando dos animais “menos evoluídos” primeiro e, depois, dos mais evoluídos. Por exemplo, em seu livro didático de Biologia, os invertebrados são abordados antes dos vertebrados. No nosso curso de Diversidade dos Seres Vivos, também fazemos o mesmo. Mas a razão é simples, é que estamos falando de tempo. Ou seja, o registro fóssil indica que os invertebrados surgiram antes dos vertebrados, e os peixes surgiram antes dos mamíferos. Por essa razão, este curso, e a maior parte da bibliografia em Biologia, aborda a disciplina por essa forma cronológica. Mas vamos pensar um pouquinho sobre essa questão de mais evoluído. O que significa ser mais evoluído? Se o organismo mais evoluído é aquele que evoluiu mais tempo, então os organismos mais evoluídos que existem são as bactérias, pois elas estão evoluindo há mais de três bilhões de anos! Portanto, essa questão de uma espécie ser mais evoluída do que outra não existe. Todas as espécies se originaram de um ancestral comum e foram evoluindo. Algumas foram se diferenciando tanto morfologicamente, que outros nomes eram atribuídos às novas espécies, mas a origem é a mesma. No caso dos peixes, por exemplo, você não deve enxergá-los como um mero passo para os anfíbios. Simplesmente, algumas linhagens de peixes se diferenciaram em organismos que deram origem aos anfíbios. Eles não são um simples passo, pois o sucesso evolutivo dessa linhagem é enorme: mais de 24 mil espécies, enquanto apenas quatro mil espécies de mamíferos são conhecidas! Essa diversidade de espécies permite aos peixes ocuparem praticamente toda superfície da Terra coberta por água.

CONDRÍCTIES

A Classe dos Chondrichthyes é atualmente representada por novecentas espécies conhecidas geralmente como os tubarões, as raias (Elasmobranchii) e as quimeras (Holocephalii). Os representantes iniciais dessa classe eram organismos parecidos com os tubarões atuais. Na realidade, os tubarões fósseis e os atuais são tão parecidos que eles podem ser considerados **FÓSSEIS VIVOS**. A diagnose desse grupo pode ser feita através de diversos caracteres presentes nos condrícties atuais. Entretanto, a característica mais importante é aquela que dá nome ao grupo, Chondrichthys. O esqueleto dos condrícties não é composto por ossos como o dos outros vertebrados, mas apenas por cartilagem, como nossas orelhas.

Uma outra sinapomorfia dos tubarões é a presença de **MIXOPTERÍGIOS** pélvicos. Essas estruturas são dutos associados às nadadeiras pélvicas dos machos com a função de conduzir o esperma no momento da cópula. Entretanto, essa característica é uma sinapomorfia apenas para as espécies atuais, já que algumas espécies fósseis do Devoniano não apresentavam essa estrutura. Por outro lado, os machos de algumas espécies de placodermas as possuíam embora não fossem condrícties.

FÓSSIL VIVO

É uma designação genérica para organismos que mudaram muito pouco ao longo de sua evolução, como os tubarões.

MIXOPTERÍGIOS OU CLASPERS

São órgãos copuladores dos tubarões.

ATAQUES DE TUBARÕES

A primeira coisa que vem à cabeça quando mencionamos a palavra tubarões é ataque, não é mesmo? Realmente, ataques de tubarões a seres humanos são comuns em muitas praias do mundo. No Brasil, o maior número de ocorrências é no Estado de Pernambuco, onde 36 ataques já foram registrados, com 122 fatalidades. No Estado do Rio de Janeiro, apenas 6 ataques constam nos autos, com apenas uma fatalidade, em 1946. Na Austrália, por outro lado, 124 ataques de tubarões já foram registrados e cerca de 50% deles foram fatais. Entretanto, as praias mais perigosas em termos de ataques de tubarões são as do Estado da Flórida (EUA), que já registraram 474 ataques. Ao contrário do que muitos pensam, a maior parte desses ataques não é contra surfistas, mas contra nadadores; a seguir vem os surfistas e logo depois os mergulhadores. A maior parte dos ataques não provocados é do grande tubarão branco, *Carcharodon carcharias*. Especialistas dão aos banhistas algumas dicas para diminuir os riscos no mar, por exemplo, evitar: 1) entrar na água sozinho; 2) nadar para longe da costa; 3) entrar na água à noite, quando os tubarões são mais ativos; 4) entrar na água com ferimentos ou em período menstrual; 5) entrar com jóias que reflitam a luz, chamando atenção do tubarão.

Entretanto, apesar de todas essas observações podemos dizer que os tubarões são vítimas de preconceito. Para você ter uma idéia, o número de mortes por ano associadas a picadas de abelhas e vespas é bem maior do que o de ataques de tubarões. Portanto, preste atenção às dicas e aproveite a sua praia!

Antigamente, os pesquisadores consideravam os condrícties como os gnatostomados mais primitivos. Isso porque a cartilagem é ontogeneticamente precursora e é substituída por osso durante o desenvolvimento do indivíduo. Todavia, trabalhos mais recentes demonstraram que a cartilagem é uma adaptação embrionária, confirmada pela presença de tecido ósseo nos condrícties. Os mais antigos restos de condrícties conhecidos são escamas isoladas encontradas no Siluriano superior da Ásia, embora somente a partir do Devoniano médio passou-se a conhecer restos esqueléticos bem preservados desse grupo.

O grupo mais importante de condrícties são os elasmobrânquios. Esse grupo inclui os tubarões e as raias e é conhecido desde o Siluriano superior. Caracterizam-se por possuírem, entre outras particularidades: 1) duas nadadeiras dorsais (na superfície superior de seu corpo) geralmente acompanhadas por grandes espinhos com dentículos; 2) uma nadadeira anal.

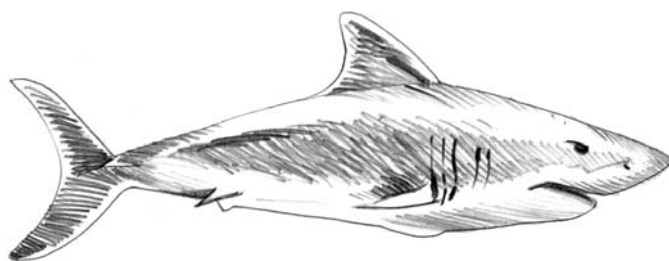


Figura 23.4: Um tubarão branco, *Carcharodon carcharias*.

Muitos fósseis de tubarões são conhecidos no Brasil, principalmente em terrenos de origem marinha do Cretáceo superior e do Terciário brasileiro. Por exemplo, nas Formações Gramame e Maria Farinha, Bacia de Paraíba-Pernambuco; na Formação Pirabas, no Pará, é comum encontrarmos representantes desse grupo. Além destes, já foi descrito o fóssil de uma raia *Iansan beurleni*, do Cretáceo inferior, na Formação Santana, Bacia do Araripe.

O outro grupo dos condrícties são as quimeras. Conhecidos desde o Devoniano superior, no Paleozóico, esse grupo pode ter sido originado a partir de um ancestral diferente de placoderme. Esse grupo, também chamado de holocéfalos, compreende as quimeras atuais, além de uma série de fósseis do Paleozóico e do Mesozóico. Os quimeróides atuais são condrícties muito especializados, diagnosticados pela: 1) presença de placas dentárias trituradoras; 2) presença de estruturas frontais nos machos, denominadas de “espinhos cefálicos”, entre outras características.

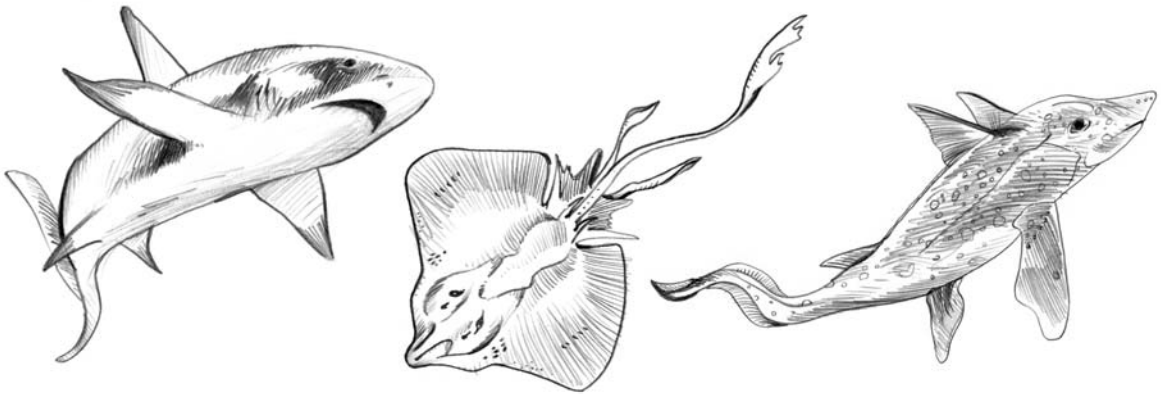


Figura 23.5: Tubarão, raia e quimera: diversidade de condrícties.

TELEOSTOMI

Os Teleostomi compreendem os acantódios e os osteícties (Osteichthyes). A classificação atual requer que nomes sejam dados apenas a grupos monofiléticos, mas os tetrápodos também são incluídos nesse grupo.

ACANTÓDIOS

Os primeiros gnatostomados conhecidos no registro fóssil são acantódios, representados por espinhos isolados coletados no Siluriano inferior. Esse grupo, com distribuição temporal conhecida entre o Siluriano inferior e o Permiano superior, é encontrado em todos os continentes, em terrenos de origem marinha.

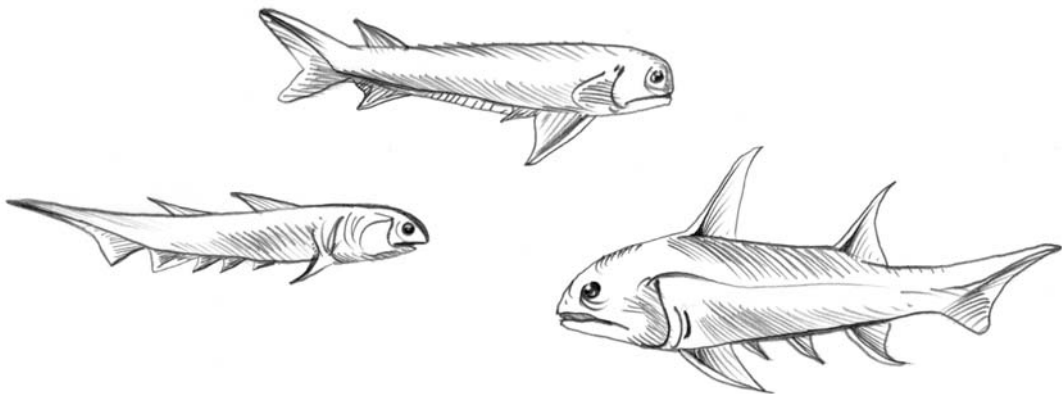


Figura 23.6: Algumas espécies de acantódios; repare nas nadadeiras com espinhos frontais. Repare que os acantódios, como a maior parte dos peixes primitivos, possuem olhos grandes e nadadeiras caudais heterocercas, isto é, com a parte de cima maior do que a de baixo.

Entretanto, como já mencionamos, o ponto mais conflitante com relação aos acantódios diz respeito às relações de parentesco desse grupo com os outros gnatostomados. Os acantódios já foram considerados condrícties, osteícties, placodermas, ou uma Classe à parte. Atualmente, há um consenso considerando este grupo como uma Classe, formando o grupo mais próximo dos Osteichthyes. Embora os acantódios não tenham sido formalmente propostos como um grupo natural, existe uma concordância geral de que estes formam um grupo natural baseado nos seguintes caracteres derivados, como: 1) presença de espinhos nas nadadeiras; 2) dentes sem esmalte.

OSTEÍCTIES

Os especialistas em peixes, os ictiólogos, dividem os osteícties em dois grandes grupos: os actinopterígijs e os sarcopterígijs. Os actinopterígijs, que formam a maioria dos vertebrados atuais, apresentam as nadadeiras contendo longos raios dérmicos. Os mais antigos restos de osteícties são escamas, dentes e ossos dérmicos coletados no Siluriano superior da Suécia e da Estônia, sendo que a partir do Devoniano todos os grupos de peixes ósseos se encontram representados. Os peixes ósseos se caracterizam por um endoesqueleto rígido, composto por ossos formados no seio da cartilagem e substituindo-a gradativamente ao longo do desenvolvimento do indivíduo. Outras características importantes do grupo são: 1) presença de grandes ossos dérmicos portando dentes; 2) presença de uma bexiga natatória.

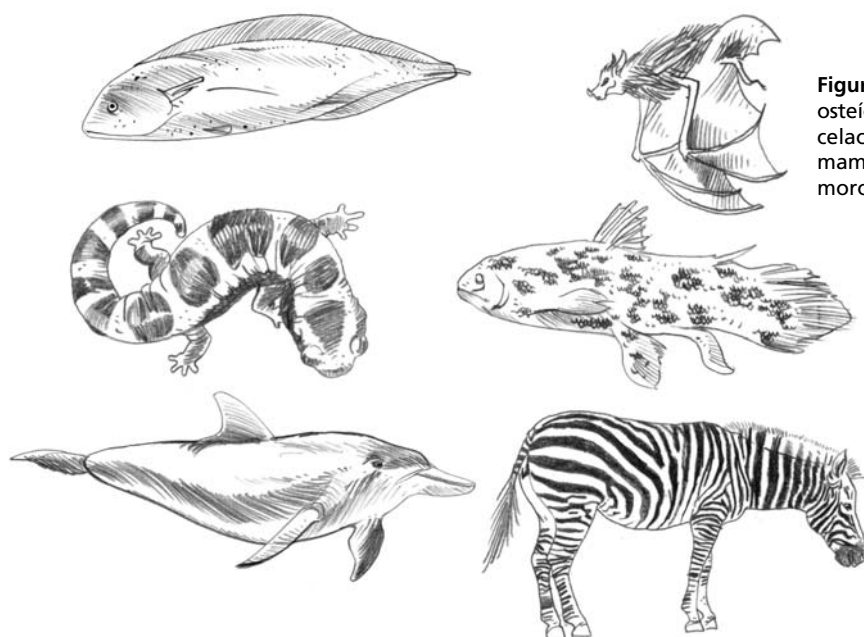


Figura 23.7: Diversidade de osteícties: peixe pulmonado, celacanto, e tetrápode e um mamífero, um golfinho, um morcego.

TETRÁPODES

São todos os animais com quatro patas, como anfíbios, aves, e mamíferos.

Os sarcopterígijs formam um grupo monofilético incontestável. O grupo se subdivide em vários grupos naturais distintos, entre os quais citamos os dipnóicos (ou peixes pulmonados), os celacantos, e os **TETRÁPODES**. Atualmente, os Sarcopterígijs estão representados por três gêneros de Dipnóicos – Lepidosiren, Protopterus e Neoceratodus, e por duas espécies de celacantos – Latimeria chalumnae e L. menadoensis –, e pelos Tetrápodes.

Os Sarcopterígijs se caracterizam pela presença de esmalte nos dentes. Sim, isso mesmo, o esmalte que seu dentista fala que é importante para proteger seus dentes das cáries, é uma sinapomorfia desse grupo em que nós incluímos, os sarcopterígijs. Os primeiros tetrápodes são conhecidos do Devoniano médio. Esse grupo herdou de seus ancestrais o tipo dentário labirintodonte, a capacidade de respirar oxigênio atmosférico através de suas coanas e suas patas derivadas das nadadeiras lobadas. Na próxima aula veremos como esse grupo se originou e se diferenciou.

RESUMO

O desenvolvimento da mandíbula é tido como um dos eventos mais importantes da história evolutiva dos animais. Isso porque a mandíbula garante aos vertebrados o acesso a uma alimentação diferenciada e ativa, ao invés de apenas filtradores. Os animais com mandíbulas podem ser divididos em três grandes grupos: os placodermas, os condrícties e os osteícties. Desses três grupos, apenas os placodermas não possuem representantes vivos, ou seja, são um grupo extinto de peixes. Todos os placodermas eram recobertos por uma carapaça óssea ornamentada e muito espessa, que cobria toda a metade anterior do corpo do animal. A Classe dos Chondrichthyes é atualmente representada por novecentas espécies, geralmente conhecidas como os tubarões, as raias (Elasmobranchii) e as quimeras (Holocephalii). Os representantes iniciais dessa classe eram organismos parecidos com os tubarões atuais. O esqueleto dos condrícties não é composto por ossos como o dos outros vertebrados, mas apenas por cartilagem, como nossas orelhas. Trabalhos recentes demonstraram que a cartilagem é uma adaptação embrionária, confirmada pela presença de tecido ósseo nos condrícties. Os condrícties são divididos em elasmobrânquios e quimeras. O último grande grupo de animais com mandíbulas são os osteícties. Esse grupo é dividido, por sua vez, em actinoptérígios e sarcoptérígios. Enquanto, no primeiro grupo está a maior parte da diversidade de vertebrados existente atualmente, no segundo estão os peixes pulmonados, os celacantos, e os tetrápodos. Os actinoptérígios apresentam, como sinapomorfia, nadadeiras com raios dérmicos, enquanto os sarcoptérígios apresentam dentes esmaltados.

EXERCÍCIOS

1. Qual foi a importância da evolução da mandíbula para os andibulados?
2. O que são os acantódios? Qual sua importância para a evolução dos vertebrados?
3. Por que a presença de cartilagem era considerada como uma característica primitiva dos condrícties em relação à presença de osso?
4. Que grupo monofilético é definido pela presença de esmalte nos dentes?

A origem dos tetrápodos

AULA 24

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Ressaltar a organização do corpo dos tetrápodos.
- Apresentar as adaptações à terra firme.

Pré-requisito

Aulas 3, 4, 5, 14, 15, 17 , 19 e 23.

TETRÁPODOS

São organismos que possuem quatro membros, tais como: quatro patas (cavalos); dois braços e duas pernas (humanos); duas asas e duas pernas (morcegos e aves). Eventualmente esses membros podem ter sido completamente eliminado como nas cobras e baleias.

Como você já deve ter observado ao longo de nosso curso, a evolução dos seres vivos não é tão simples de ser estudada, apesar de ser um assunto fascinante e permitir um melhor entendimento do mundo em que vivemos. A dificuldade está no fato de a transformação constituir uma história, cuja documentação inexistente, o que dificulta reconstruir com fidelidade o desenrolar do fenômeno evolutivo. Na maior parte dos casos, o melhor que temos são evidências que servem para inferir alguns fenômenos e os processos geradores da diversidade observada na natureza. Assim, a análise comparada das relações de parentesco (filogenética) é uma das metodologias mais eficientes para reconstruir a história evolutiva dos organismos.

Em se tratando da história da adaptação dos tetrápodos à vida terrestre, ao se verificar o que ocorreu com todos os organismos que, de forma independente, fizeram essa transição, chega-se à conclusão de que tal processo foi fundamental para essa transição. Como exemplo, basta verificar a anatomia dos peixes (animais aquáticos) e dos anfíbios (animais terrestres) e compará-la à de outros vertebrados que fizeram o caminho oposto: foram da terra para água (**Figura 24.1**), como as baleias. Que características os anfíbios ganharam, ou quais eles perderam? Outra rica fonte de informação é a comparação entre os girinos (larvas de anfíbios) e os anfíbios adultos, pois estes últimos vivem na terra, enquanto os girinos vivem na água. Dessa forma, pode-se entender melhor como ocorreu essa transição.

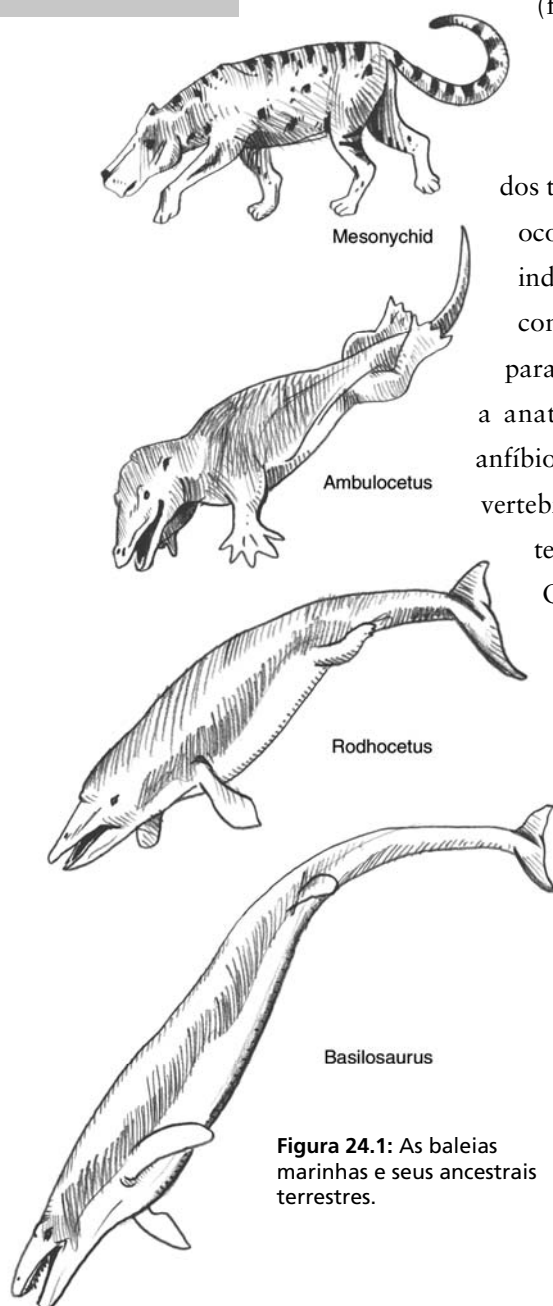


Figura 24.1: As baleias marinhas e seus ancestrais terrestres.

A ORIGEM DAS BALEIAS

Um dos exemplos mais bem documentados em termos de registro fóssil é a transição da terra para o mar do ancestral das baleias, como mostra a **Figura 24.1**. Através da busca no registro fóssil, conseguimos encontrar alguns exemplares de organismos de hábitos intermediários entre terra e mar. Coletivamente, esses fósseis de baleias são chamados de arqueocetos, já que as baleias pertencem à Ordem Cetacea. Realmente, alguns fósseis de baleias apresentam patas, outros apresentam patas traseiras muito pequenas e outros ainda, já totalmente aquáticos, não apresentam patas, como as baleias modernas. O extinto *Basilosaurus* é um belo exemplo de uma baleia ancestral que ainda apresentava pequenas patas traseiras. O ancestral terrestre das baleias deveria se parecer com o organismo ilustrado na figura. Interessante é que há pesquisadores que já encontraram alguns filhotes de baleia que nascem com uma perna e até duas, o que é uma lembrança do passado longínquo desses indivíduos cujos ancestrais andavam sobre a terra. Isso significa que os genes que codificam pernas ainda existem em baleias. Em algum ponto de sua evolução esses genes passaram a ser irrelevantes, pois o hábito do organismo já era aquático. Assim, quando esses genes foram silenciados, esse evento não foi deletério ao organismo, que sobreviveu muito bem com os genes para patas traseiras silenciado.

Embora não se manifestem, genes podem ficar silenciados quando estão no genoma de um indivíduo. Um dos fatores mais comuns é a presença de um repressor do gene.

O repressor impede a transcrição e conseqüentemente a expressão do gene. Entretanto, se alguma mutação, como no caso desses filhotes de baleia, afetar o repressor, o gene volta a se expressar no indivíduo mutante.

PRIMEIROS TETRÁPODOS

Voltando à origem dos tetrápodos, fica evidente que as patas desses organismos tiveram origem a partir de estruturas do esqueleto das nadadeiras em seus ancestrais (peixes). Realmente, se compararmos as estruturas internas de uma nadadeira de sarcopterígio com as de um tetrápodo primitivo, podemos ver que elas são bem parecidas. Essas estruturas, patas e nadadeiras, são consideradas homólogas.

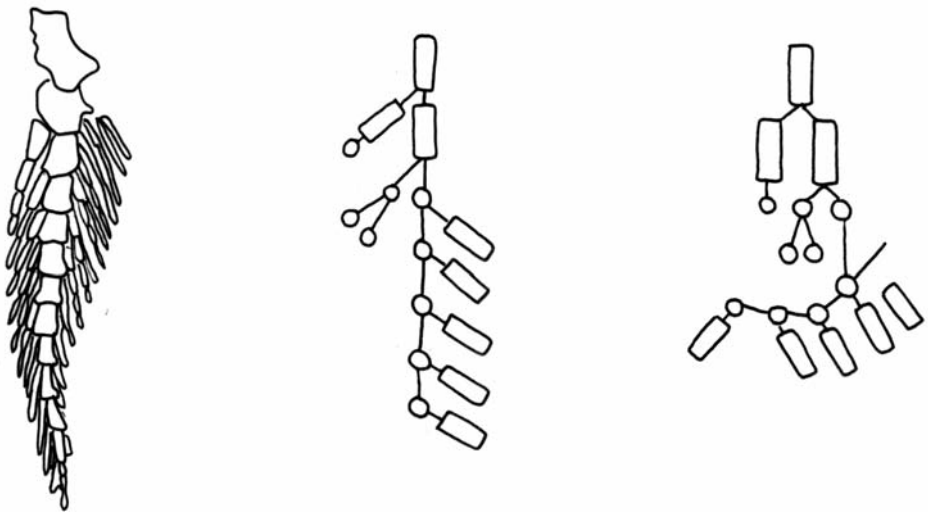


Figura 24.2: Comparação das estruturas de um sarcopterígio e um tetrápodo primitivo.

Um dos principais problemas quando da invasão da terra pelos organismos aquáticos foi a sustentação do corpo do animal fora d'água, o que passou a envolver um peso muito maior (ver boxe 2). Os primeiros organismos tiveram que conseguir sustentar esse maior peso para se manter em terra firme. Assim, a sustentação de um peixe se dá no meio aquático que o envolve. Na terra, o corpo necessita de um suporte mais rígido, que deve mantê-lo acima do solo, de maneira a evitar a fricção durante a locomoção. Nos tetrápodos, parte da solução desse problema de sustentação se resolveu pela presença da coluna vertebral com vértebras ósseas rígidas.

O EMPUXO DE ARQUIMEDES

Você já tentou carregar seu irmãozinho ou priminho dentro d'água para verificar que é muito mais difícil carregá-lo em terra firme? Ou seja, na água ele parece muito mais "leve". Na realidade, o processo físico que descreve esse fenômeno é o mesmo princípio que explica por que algumas coisas bóiam e outras não. Quem primeiro descreveu essa teoria foi o pensador grego **ARQUIMEDES**. Segundo uma lenda, ele se deu conta disso durante um banho e exclamou a famosa expressão "**EURECA!**". O que faz um objeto boiar num líquido é a força que o líquido exerce empurrando o objeto para cima. Arquimedes se deu conta de que a força era igual ao peso do líquido que o objeto tinha deslocado. Isso significa que quando temos um objeto leve, porém grande, como uma bola, ele flutua na água, pois seu peso é menor do que o peso do volume de água que ela desloca. Entretanto, quando jogamos na água um objeto pequeno como uma bolinha de gude, ela afunda, pois o peso da água que ela deslocou é menor que o próprio peso da bolinha e, portanto, ela afunda. Isso acontece porque todo o corpo que cai na água recebe um "empurrão" para cima com a mesma força do peso da água que ele deslocou. Assim, o empurrão na água é mais forte do que o do ar, pois a água é muito mais pesada do que o ar; assim os corpos são mais "pesados" no ar. Portanto, no caso dos tetrápodos, o primeiro grande problema que eles enfrentaram foi a sustentação do corpo fora d'água.

ARQUIMEDES

Viveu há muito tempo.
Nasceu na Grécia Antiga em 287 a.C. e morreu em 212 a.C. Por isso, pouco se conhece sobre sua vida. Sabemos que foi o idealizador de várias teorias matemáticas e físicas e é hoje considerado um dos três mais importantes matemáticos de todos os tempos.

EURECA (OU HEURECA)

Expressão de triunfo ao encontrar-se a solução de um problema difícil.

Do grego *heúreka* = "achei!" (do verbo *heurisko*).

As vértebras ósseas são conhecidas em todos os peixes sarcoptérgios fósseis. Entretanto, os celacantos e os peixes pulmonados modernos não apresentam essas vértebras calcificadas, indicando que esses organismos perderam essas estruturas secundariamente. A perda secundária acontecia quando o ancestral do organismo (ou a larva) apresentava essa característica mas o descendente (ou o indivíduo adulto) não.

DÍGITOS

Dígitos são dedos.

Nos vertebrados, podemos notar um reforço gradativo da coluna vertebral. Assim, no fóssil *Panderichtys*, o peixe fóssil mais próximo aos tetrápodos, as costelas ainda não eram bem desenvolvidas. As estruturas de sustentação mais complexas irão aparecer apenas a partir dos primeiros tetrápodos, como o *Acanthostega* (ver **Figura 24.3**). Esse organismo já possuía costelas bem desenvolvidas, formando uma caixa sólida, que protegia suas vísceras. O *Acanthostega* era um tetrápodo interessante. Apesar de ele poder se movimentar bem em terra, ele possuía oito **DÍGITOS** em cada uma das patas, tinha brânquias e uma nadadeira caudal que deveria funcionar quando se encontrava dentro d'água.

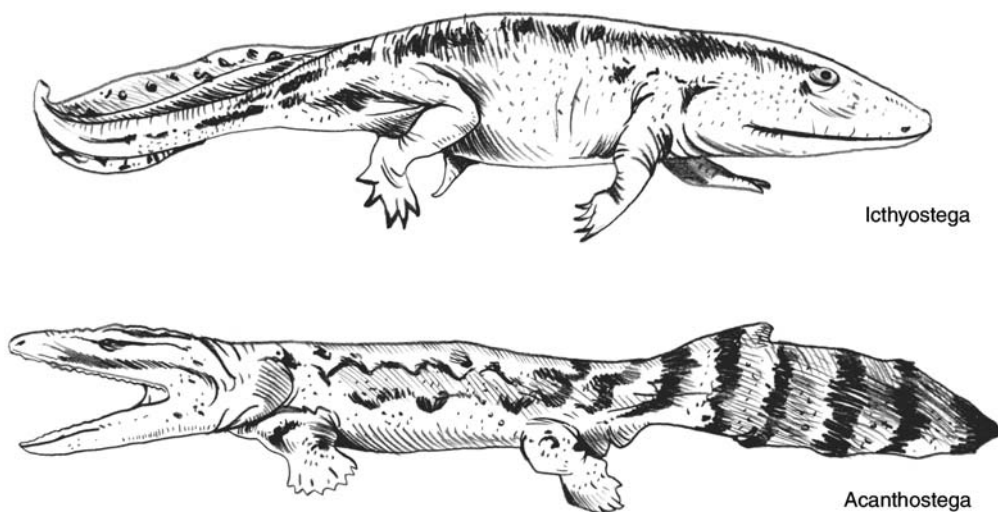


Figura 24.3: Tetrápodes ancestrais, como o *Ichthyostega* e o *Acanthostega*.

É possível que, os primeiros tetrápodos se sentissem tão à vontade na terra quanto na água. O *Ichthyostega* é o primeiro tetrápodo conhecido capaz de sobreviver na terra. Ele conservou uma membrana ao longo do dorso, na parte caudal, que era, provavelmente, utilizada como a nadadeira de um peixe.

Para se locomoverem na terra, os tetrápodos adaptaram dois pares de membros providos de dedos, que permitiam reduzir a fricção entre o corpo e o solo. O *Ichthyostega* já tinha seus membros bem desenvolvidos, sustentando, com eficiência, o corpo em terra firme. Naturalmente, a evolução dessas características se deu lentamente, como mostram os diversos fósseis dessa época.

Com a descoberta de novos tetrápodos fósseis, surgiu uma outra argumentação sobre a formação dos dedos diferenciados. Descobertas recentes nos mostram que as patas dos primeiros tetrápodos tinham até oito dedos. Entretanto, esse fato não fez com que houvesse um aumento do comprimento desses membros, em relação às nadadeiras dos outros sarcopterígios.

Para se locomoverem fora da água, os primeiros tetrápodos utilizavam uma coordenação parecida com a dos anfíbios atuais. A pata anterior esquerda e a posterior direita mexiam ao mesmo tempo, alternando-se com o movimento da pata anterior direita e da posterior esquerda. Tal tipo de locomoção está presente nos dipnóicos e nos celacantos. Esse caráter, comum a todos os sarcopterígios vivos, nos leva a crer que esse tipo de locomoção já se encontrava, provavelmente, presente nos outros grupos de sarcopterígios fósseis.

CAPTURA DE OXIGÊNIO

A vida na terra colocou um outro problema fundamental para os organismos que fizeram essa transição: como obter o oxigênio necessário para a respiração e se livrar do dióxido de carbono produto dela? Na verdade, essas funções requerem a presença de uma superfície aquosa, ou seja, de um líquido. Obviamente, quando o líquido está exposto ao ar, uma grande quantidade se perde por evaporação. Para os peixes, que apresentam brânquias, isso não constitui problema algum.

Da mesma forma, os primeiros tetrápodos devem ter conservado as brânquias durante uma parte de sua vida, como nos anfíbios atuais na forma de girinos. Os pulmões dos tetrápodos surgiram como um órgão interno com a função de realizar as trocas gasosas. Como esse órgão não está em contato com o ar, isso implica a redução da perda de água. Por outro lado, em alguns anfíbios, especializações da pele podem servir para trocas gasosas. Entretanto, este é definitivamente um caráter mais ou menos recente, já que apenas as rãs e as salamandras o possuem. Portanto, dificilmente, ele pode ter facilitado a conquista da terra firme pelos primeiros tetrápodos, pois a pele grossa e coberta de escamas desses animais deveria ser imprópria a essas trocas.

O pulmão dos celacantos atuais, transformado em órgão de acumulação de gordura, não é funcional, como é o dos peixes sarcopterígeos. O pulmão dos dipnóicos atuais é bem desenvolvido; ele é compartimentado e usado como lugar de trocas gasosas. Os dipnóicos africanos e sul-americanos respiram ar apenas durante as estações secas. Esse modo de respirar é, portanto, anterior aos tetrápodos.

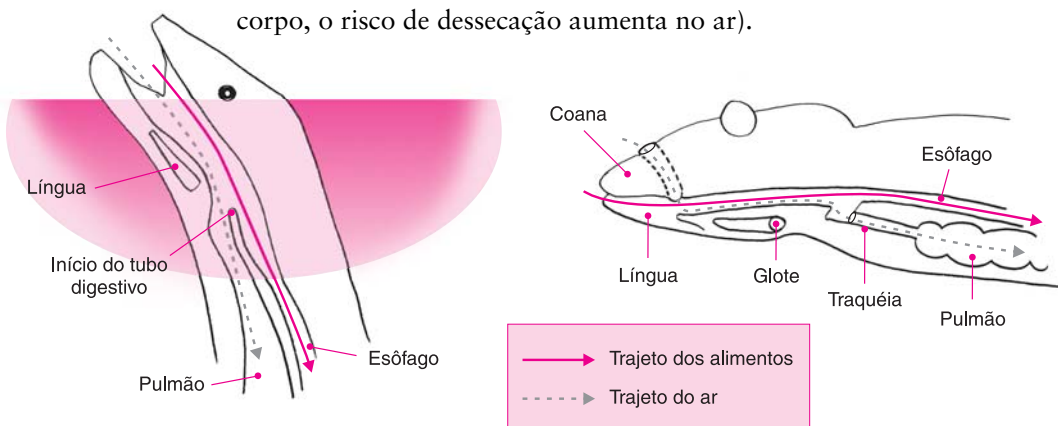
Em paralelo ao uso pulmonar, o sistema sangüíneo dos peixes também sofreu alguma modificação. Lembre-se de que, nos humanos, pelas artérias passa o sangue que é rico em oxigênio. Esse sangue arterial sai dos pulmões e banha os órgãos dos organismos com oxigênio, que lançam sangue venoso (pobre em oxigênio e rico em gás carbônico) nas veias. As veias saem dos órgãos e vão até o pulmão, onde se dá a eliminação do gás carbônico.

Nos primeiros tetrápodos, uma artéria pulmonar aparece ligada a uma brânquia. A veia pulmonar drena o sangue oxigenado diretamente para o coração com duas cavidades, e um sistema de válvulas separa o sangue branquial do sangue pulmonar. Esse é o início de um duplo sistema circulatório associado à respiração de ar pelos tetrápodos.

Outro caráter associado à respiração de ar nos tetrápodos é o desenvolvimento de uma narina interna – também chamada de coana – no palato. O ar entra pela narina externa, através da coana. Os celacantos ainda possuem a narina externa dos peixes. Os dipnóicos atuais constituem um bom exemplo da maneira como o ancestral dos tetrápodos respirava oxigênio, ou seja, tanto pelas brânquias como pelo pulmão.

Os sentidos da visão, do olfato, do tato e do paladar são fundamentais tanto na água como na terra. Na terra existe o risco de a superfície do olho secar. Para manter a córnea úmida e limpa, os primeiros tetrápodos desenvolveram uma glândula lacrimal, ligada à coana, que já devia estar associada a uma pálpebra móvel. Para detectar as substâncias químicas pela língua ou pelo epitélio nasal - paladar e olfato - é necessária uma superfície úmida (ainda que tais superfícies se situem no interior do corpo, o risco de dessecação aumenta no ar).

Figura 24.4: Respiração pulmonar de um peixe Dipnóico (pulmonado).



Por outro lado, a detecção de sons é mais complicada na terra que na água. Os peixes escutam porque as ondas de pressão e as ondas sonoras podem passar através do corpo sem distorção - a densidade dos ossos e da carne desses organismos é semelhante à da água. Entretanto, a maior parte dos peixes não tem um ouvido apurado como o dos tetrápodos.

Os tetrápodos percebem as ondas sonoras porque têm um tímpano que vibra com o som. A maior parte dos tetrápodos tem um só osso dentro do ouvido interno, chamado de estribo, e que é homólogo a um dos ossos que tem a função de sustentar a mandíbula nos peixes, o osso hiomandibular. Nos mamíferos, dois ossículos suplementares se associam ao estribo: o martelo e a bigorna, que aumentam a sensibilidade do ouvido.

A maior parte das inovações morfológicas e anatômicas aparece nos animais aquáticos antes da saída das águas. O surgimento dos tetrápodos é caracterizado sobretudo pelo desenvolvimento dos membros com dedos em uma única etapa. A conquista da terra e a transição da vida da água para terra se passaram em etapas sucessivas. O problema era o mesmo para todos, mas as soluções foram bem diferentes, conforme vimos em outras aulas como a dos insetos e das plantas.

RESUMO

Podemos usar o método comparativo para estudar como aconteceu a passagem da água para terra nos tetrápodos. As patas desses organismos tiveram origem a partir de estruturas do esqueleto das nadadeiras em seus ancestrais (peixes). Se compararmos as estruturas internas de uma nadadeira de sarcopterígio com de um tetrápodo primitivo, podemos ver que são bem parecidas. Essas estruturas, patas e nadadeiras, são consideradas homólogas. Um dos principais problemas, quando da invasão da terra pelos organismos aquáticos foi a sustentação do corpo do animal fora d'água. Parte da solução desse problema de sustentação se resolveu pela presença da coluna vertebral com vértebras ósseas rígidas. Estruturas de sustentação complexas irão aparecer no tetrápodo fóssil *Acanthostega*. Os primeiros tetrápodos devem ter conservado as brânquias durante uma parte de sua vida. Os pulmões dos tetrápodos surgiram como um órgão interno, cuja função era realizar as trocas gasosas. Como esse órgão não está em contato com o ar, ele reduz a perda de água. Em relação ao sistema sangüíneo, uma artéria pulmonar aparece ligada a uma brânquia. A veia pulmonar drena o sangue oxigenado diretamente para o coração com duas cavidades, e um sistema de válvulas separa o sangue branquial do sangue pulmonar. O desenvolvimento de uma narina interna ou coana também foi importante para essa transição. O ar entra pela narina externa, através da coana.

EXERCÍCIOS

1. Que tipo de adaptação possibilitou a sustentação do corpo dos tetrápodos em terra firme?
2. Por que alguns autores acham que os primeiros tetrápodos respiravam através de brânquias?
3. O que a comparação entre girinos e sapos adultos pode nos dizer sobre as adaptações à vida na terra?
4. Quais as diferenças entre o coração dos peixes e o dos tetrápodos? E as diferenças do ouvido?

A origem dos anfíbios

AULA 25

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Apresentar as adaptações e as principais características dos anfíbios.
- Descrever a diversidade dos anfíbios.

Pré-requisito

Aulas 3, 4, 5, 14, 15, 17, 19, 23 e 24.

VERTEBRADOS DE TRANSIÇÃO

Composta do prefixo grego *anf* (*i*)- "de ambos os lados" e do radical da mesma origem *bio*- "vida", a palavra anfíbio já indica por si só a condição de vida desses organismos: habitam alternadamente o espaço aquático e o terrestre. Conforme vimos na aula anterior, foram eles os primeiros vertebrados a conquistar o ambiente terrestre. No entanto, essa conquista só não foi completa porque tais organismos ainda hoje dependem da água para a reprodução. Nesta aula, vamos falar um pouco mais sobre a vida dos tetrápodos.

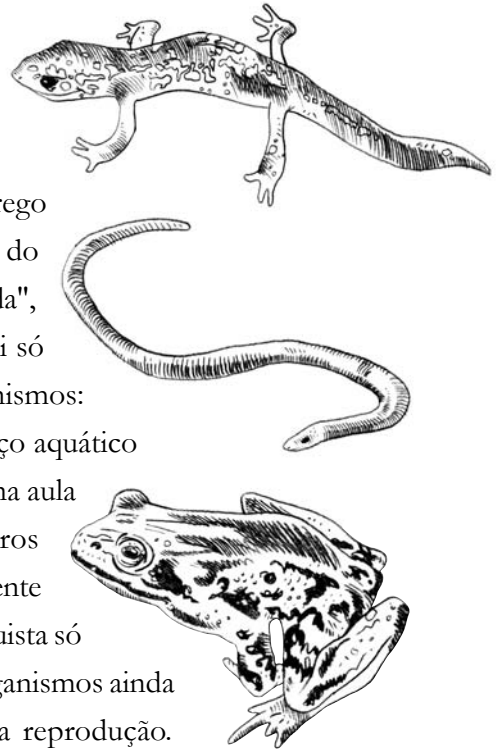


Figura 25.1: Alguns representantes da ordem Anura.

ORIGEM

Como você já sabe, os tetrápodos originaram-se durante o Devoniano, período no qual se iniciou a transição dos vertebrados para a terra firme. Durante sua adaptação à vida terrestre, os anfíbios encontraram diversos problemas relacionados à reprodução, à retenção de água e respiração. Do mesmo modo, as primeiras plantas terrestres também necessitavam de solos úmidos para o crescimento e a reprodução, ficando geralmente restritas às margens de corpos d'água. Os primeiros invertebrados terrestres sofriam com a manutenção de seus recursos hídricos.

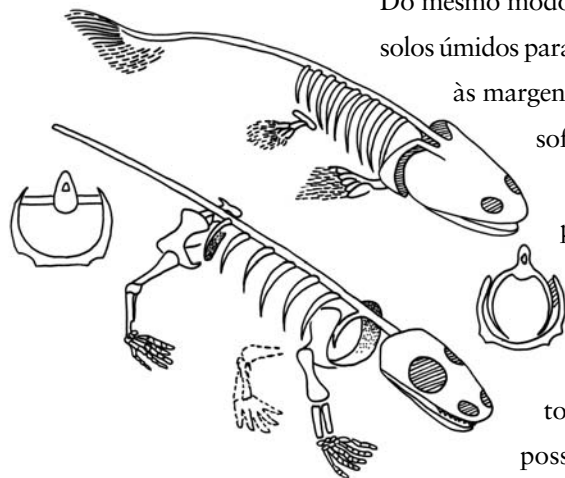


Figura 25.2: Comparação da anatomia de um riptistida e um anfíbio.

Provavelmente, nenhum dos principais grupos de peixes sarcopterígeos (celacantos e peixes pulmonados) e deu origem aos anfíbios. Supõe-se que o ancestral desses organismos seja um grupo de peixes sarcopterígeos extintos chamado riptistida, muito comuns durante todo o Permiano. Assim como os anfíbios, os riptistidas possuíam uma narina que levava diretamente à boca, e essa característica não é encontrada em nenhum outro grupo de peixe.

Outras semelhanças você pode observar na **Figura 25.2**.

Adaptações muito semelhantes foram impostas, tanto para as plantas como para os animais. Por outro lado, os primeiros artrópodes terrestres (principalmente os insetos), vencendo as imposições do novo ambiente, tornaram-se abundantes no período Devoniano superior, representando uma nova fonte de alimento na terra. Essa dispersão dos invertebrados, aliada à dispersão das plantas pela terra, proporcionou um novo ambiente para os anfíbios. Nesse novo ambiente, esses primeiros organismos a habitar a terra encontravam alimento e abrigo em abundância. Além disso, a terra firme representava uma fuga de predadores que já eram abundantes nas águas ocupadas pelos peixes ancestrais dos anfíbios.

DIVERSIDADE DE ANFÍBIOS

Em termos de reprodução, a dos anfíbios é bastante complexa. Ela envolve fecundação externa porquanto os gametas são lançados na água. Assim, esses organismos estão restritos a ambientes úmidos, geralmente próximo a lagos, rios ou brejos. Não existem representantes marinhos da Classe Amphibia. Suas patas dianteiras apresentam quatro dígitos. Além disso, eles são **ANIMAIS ECTOTÉRMICOS**. Sua pele é lisa, úmida e rica em glândulas mucosas. A epiderme desses animais é permeável, permitindo trocas osmóticas com o meio, além da **RESPIRAÇÃO CUTÂNEA**. A pele não apenas promove a troca de gases, mas também permite a troca de água com o ambiente. Ou seja, os anfíbios perdem água pela evaporação cutânea. Entretanto, quando o ambiente está muito seco, eles conseguem absorver água através da pele. Algumas glândulas da pele dos anfíbios produzem toxinas muitas vezes danosas aos humanos.

Atualmente, a diversidade de anfíbios é recontada na Amphibia web data base (<http://amphibiaweb.org/>). Nessa data base, você vai encontrar fotos, mapas de distribuição de espécies, e algumas descrições. As 5.403 espécies listadas de anfíbios estão divididas em três ordens: Anura (4.700 espécies), Gymnophiona (159 espécies) e Urodela (506 espécies). Várias espécies desses animais já estão extintas ou se encontram ameaçadas de extinção. As principais causas disso são: mudança do clima, fragmentação e modificação do habitat e introdução de espécies exóticas que competem com os anfíbios do local.

ECTOTERMIA

É a incapacidade de gerar calor para manter a temperatura do corpo constante. Aves e mamíferos são animais endotérmicos.

ANIMAIS

ECTOTÉRMICOS

Não possuem a capacidade de regular a temperatura do corpo como nós.

RESPIRAÇÃO CUTÂNEA

Trocas gasosas feitas através da pele.

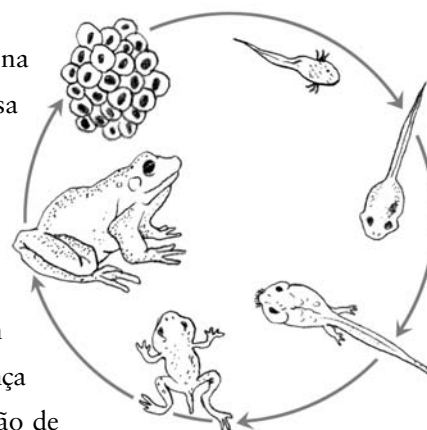


Figura 25.3: O ciclo de vida de uma perereca.

Uma das características marcantes de todos os organismos da classe (sinapomorfia de anfíbios) é a língua muscular protrátil, utilizada na alimentação de indivíduos anuros e urodelos adultos. Todos os anfíbios atuais adultos são carnívoros, que se alimentam principalmente de insetos e usam a língua protrátil para capturá-los. O coração, mais complexo que o dos peixes, apresenta três câmaras, com o aurículo esquerdo já completamente separado do direito, mas com apenas um único ventrículo sem divisão. A circulação é dupla, visto que agora já existe respiração pulmonar.

A biologia reprodutiva dos anfíbios é extremamente complexa e a maioria das espécies se reproduz com fecundação externa e tem **CUIDADO PARENTAL**. A maioria das espécies é ovípara e deposita os ovos na água (raramente sobre a terra), podendo eclodir em larvas aquáticas ou em miniaturas de adultos terrestres. As larvas aquáticas geralmente sofrem metamorfose (ver boxe) para atingir a forma adulta que é terrestre. Algumas salamandras alcançam o tamanho adulto mantendo características de larva. Essa condição é denominada neotenia. Uma larva aquática proporciona, a uma espécie terrestre, acesso a recursos de outra forma não disponíveis. As modificações do modo reprodutivo ancestral incluem o fim do estágio larval, a viviparidade e o cuidado parental, incluindo fêmeas que alimentam seus girinos.

CUIDADO PARENTAL

São todas as atividades de um animal para proteger e manter seus filhos.

METAMORFOSE

Mudança da forma de uma larva em um adulto.

A METAMORFOSE DOS ANUROS

Embora muitas espécies de anuros tenham desenvolvido modos reprodutivos que suprimem um estágio larval aquático, uma história de vida que inclui um girino apresenta certas vantagens. Um girino é um animal completamente diferente de um anuro adulto, tanto morfológica quanto ecologicamente. Alguns autores inclusive acreditavam que os girinos e os sapos dariam origem a espécies ecológicas distintas, porquanto ocupavam nichos ecológicos muito diferentes. Os girinos são tão diversificados em suas especializações morfológicas e ecológicas quanto os adultos e ocupam uma variedade de habitats quase tão grande. Os girinos da maioria das espécies de anuros são herbívoros filtradores, enquanto todos os anuros adultos são carnívoros que capturam presas individuais. Todos os girinos são filtradores e a alimentação e a ventilação das brânquias são atividades relacionadas. As brânquias externas das larvas são perdidas durante a metamorfose e a troca de gases com o ambiente é realizada por membranas úmidas nos pulmões, na pele e na cavidade bucofaríngea. Durante a metamorfose, toda a estrutura do girino é alterada. A cauda é absorvida, a boca alarga-se e o longo intestino modifica-se em um intestino curto de um animal carnívoro. A respiração, antes branquial, passa a ser pulmonar e surgem as patas. Por um curto período, o animal fica vulnerável a predadores.

Como os números já mencionados mostram, os anuros (sapos, rãs e pererecas) representam o grupo de maior diversidade. Espécies dessa ordem não possuem cauda, mas têm quatro membros bem desenvolvidos. A diversidade morfológica dos anuros permite uma enorme variedade de modos de locomoção: eles podem saltar, caminhar, escalar e nadar. Em contraste com os anuros, os urodelos (salamandras e tritões) retêm o padrão locomotor de ondulações laterais. Patas reduzidas podem ocorrer em algumas espécies. Esse padrão é considerado **PRIMITIVO** para os tetrápodos. De qualquer forma, as ondulações laterais são usadas de maneira combinada com os movimentos das patas. Podem apresentar pulmões reduzidos ou mesmo ausente em alguns grupos. É uma ordem com poucos representantes; o maior número de espécies é encontrado no grupo das salamandras, onde uma família apresenta maior versatilidade em seus mecanismos alimentares, incluindo projeções da língua para capturar as presas em sua extremidade pegajosa.

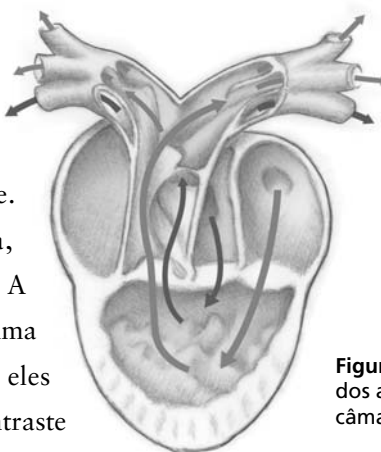


Figura 25.4: O coração dos anuros com três câmaras.

PRIMITIVO

Lembre-se de que o estado de caráter primitivo ou plesiomorfia é um estado que já estava presente no ancestral dos tetrápodos. Os urodelos apenas não sofreram modificações nessa característica.

XENOPUS, O MODELO

Você se lembra da aula de Taxonomia (Aula 4), onde vimos que as drosófilas são modelos importantes para estudarmos diversas disciplinas como evolução, genética, ecologia etc.? Muitos aspectos da Biologia são similares em diversos organismos. Entretanto, freqüentemente é muito mais fácil estudar alguns aspectos particulares em organismos específicos. Por exemplo, para estudarmos genética, o melhor é fazê-lo em organismos com reprodução rápida como a mosca *Drosophila* ou a bactéria *Escherichia coli*. Já imaginou como seria estudarmos todos os aspectos da genética usando apenas humanos, que se reproduzem de 30 em 30 anos!? A maior parte dos organismos modelos possuem boas vantagens para pesquisa. Há um sapo que também faz parte dessa honrosa lista de modelos amplamente usados pelos cientistas em todo o mundo. É o chamado de sapo africano, pertencente ao gênero *Xenopus*. Esse animal já está com seu projeto-genoma em andamento. A quantidade de pessoas trabalhando com ele é tão grande que um congresso inteiro é dedicado à pesquisa com esse animal!

O último grupo dos anfíbios são os gymnophiona. Tais organismos são anfíbios ápodes, ou seja, não apresentam pernas. Espécies dessa ordem possuem hábitos escavadores ou aquáticos e ocupam habitats tropicais em todo mundo. No Brasil, são comumente conhecidos como cobras-cegas ou cobras-de-duas-cabeças. Um outro nome que usamos para denominar esses organismos é cecílias. Infelizmente, devido a sua distribuição restrita e à pequena diversidade, as cobras-cegas são pouco conhecidas. Como a maior parte dos animais que se enterram, as espécies de gymnophiona possuem olhos pequenos, e alguns podem ser cegos. As cobras-cegas se alimentam de vermes e insetos. Quando paradas se parecem com minhocas, entretanto sua locomoção é muito mais ágil, sendo que a dificuldade da coleta desses organismos é muito grande. A fecundação interna e a viviparidade são comuns nesses organismos.

ADAPTAÇÕES À VIDA TERRESTRE

A mudança evolutiva da água para a terra envolveu transformações, pois a água e o ar apresentam características extremamente diferentes. Enquanto os animais terrestres obtêm o oxigênio do ar atmosférico, bombeando-o para dentro e para fora de pulmões em forma de saco, os animais aquáticos utilizam a simples passagem da água pelas brânquias para absorvê-lo. A locomoção sobre a terra exigiu mudanças no esqueleto desses seres que envolvem principalmente a sustentação do corpo e um aumento da massa muscular nos membros locomotores.

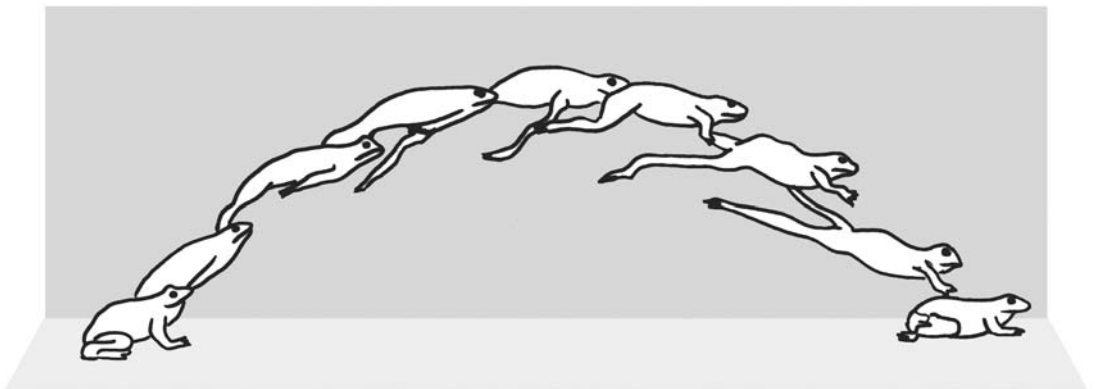


Figura 25.5: A locomoção de um anuro.

Em consequência das diferenças entre a água e o ar, várias mudanças estruturais foram impostas aos anfíbios. Já vimos que a água promove uma maior fluidez do animal e que o ar não oferece tal sustentação. Quando um vertebrado terrestre se mantém em pé, seu corpo fica suspenso pela coluna vertebral, que suporta o peso do tronco e o transmite ao solo através das cinturas e das patas. Nos anfíbios, as vértebras, em pequeno número, encaixam-se para formar uma forte e flexível coluna vertebral. As costelas são muito curtas e costumam estar fusionadas às vértebras nas espécies recentes. O crânio tende a ser pequeno, largo e completamente ossificado.

Nos anfíbios, a pele glandular e desprovida de escamas externas é altamente permeável à água. Essas características são fundamentais para a sobrevivência no meio terrestre. As glândulas mucosas estão distribuídas por toda a superfície do corpo e secretam substâncias compostas por outras que mantêm a pele úmida e permeável. Para um anfíbio, uma pele seca reduz a permeabilidade à água e aos gases dificultando a entrada de oxigênio e a habilidade do animal em utilizar o resfriamento por evaporação, para manter sua temperatura corporal dentro dos limites estáveis.

A forma do corpo dos anuros evoluiu provavelmente a partir de um tipo inicial mais semelhante ao das salamandras. As salamandras e as cecílias nadam como os peixes, através de movimentos ondulatórios na região da cauda. Os anuros nadam por meio de movimentos rápidos das patas posteriores. Talvez esse comportamento tenha surgido como maneira de escapar de predadores aquáticos ou terrestres com um salto rápido, seguido de locomoção na terra ou na água. A visão e a audição também funcionam diferentemente na água e no ar. Surgiram pálpebras móveis e glândulas lacrimais que protegem e limpam os olhos.

PESTICIDAS E O SEXO DOS ANFÍBIOS

Você já foi ao supermercado e viu uma seleção de hortaliças e vegetais ditos orgânicos? Pois é, esses produtos são desenvolvidos sem o uso de pesticidas. Entretanto, uma grande parte dos pesticidas ainda é usada na agricultura. Recentemente, alguns pesticidas tiveram efeito impressionante em sapos. Alguns estudos comprovaram que um dos pesticidas mais usados no mundo, atrazina, é capaz de transformar sapos machos em hermafroditas – criaturas com órgãos sexuais de macho e de fêmea ao mesmo tempo! Esse pesticida perturba o funcionamento de **GLÂNDULAS ENDÓCRINAS** e pode inibir a produção e a função dos hormônios.

GLÂNDULAS ENDÓCRINAS

São as glândulas que produzem hormônios, inclusive os sexuais.

Para testar essa teoria, os cientistas colocaram girinos de sapos da mesma espécie em dois tanques diferentes. No primeiro tanque, eles colocaram os girinos, água e alimento. No segundo, os pesquisadores colocaram também um pouco de atrazina. Observaram que cerca de 20% dos girinos do segundo tanque davam origem a sapos com problemas em órgãos sexuais, enquanto essa proporção era negligenciável no primeiro tanque. Além de órgãos sexuais mal formados, outros problemas foram encontrados nos sapos que se desenvolveram no tanque com o pesticida. Isso, talvez, seja um outro fator que pode explicar o declínio das populações de sapos em todo o mundo.

As relações filogenéticas das três ordens de anfíbios atuais ainda precisam de estudos mais refinados. Estudos moleculares recentes indicam controvérsias sobre essa relação. O grupo pode ter derivado de duas diferentes linhagens de vertebrados não-amniotas do período Paleozóico, embora não existam fósseis que comprovem a transição entre algum grupo do Paleozóico e entre qualquer outro das três ordens modernas. Os fósseis mais antigos de todas as ordens de anfíbios modernos são muito semelhantes às formas atuais.

CONCEITOS IMPORTANTES

Pedomorfose: Condição na qual uma larva torna-se sexualmente madura sem atingir a forma de corpo do adulto. A pedomorfose pode ser realizada por neotenia ou por progênese.

Neotenia: Retenção de características larvais ou embrionárias, após a época da maturidade reprodutiva.

Progênese: Desenvolvimento acelerado de órgãos reprodutivos em relação ao tecido somático, levando à pedomorfose.

RESUMO

Os anfíbios foram os primeiros vertebrados a conquistar o ambiente terrestre. Entretanto, essa conquista não foi completa, já que esses organismos ainda dependem da água para a reprodução. Durante sua adaptação à vida terrestre, esses organismos encontraram problemas relacionados à reprodução, à retenção de água e à respiração, tal como as primeiras plantas terrestres enfrentaram. São animais ectotérmicos e possuem a pele lisa e úmida por onde realizam a respiração cutânea. Sua pele não apenas promove a troca de gases, na respiração cutânea, mas também permite a troca de água com o ambiente. A principal sinapomorfia de anfíbios é justamente a língua muscular protrátil usada na alimentação de indivíduos anuros e urodelos adultos. As 5.403 espécies listadas de anfíbios estão divididas em três ordens: Anura (4.700 espécies), que são os sapos, rãs e pererecas; Gymnophiona (159 espécies), que são as cobras-cegas; e Urodela (506 espécies), que representa as salamandras. As relações filogenéticas das três ordens de anfíbios atuais ainda precisam de estudos mais profundos, pois a literatura corrente apresenta distorções.

EXERCÍCIOS

1. Por que dizemos que os anuros são o grupo mais diverso de anfíbios?
2. Por que chamamos a língua dos anuros de protrátil? Para que finalidade essa língua é usada?
3. Qual a importância da pele nos anuros?
4. Qual a diferença principal do coração dos peixes e dos anuros?

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Compreender as adaptações dos répteis e examinar suas principais características.
- Refletir sobre a importância do ovo amniótico na diversidade dos tetrápodos.
- Investigar a diversidade dos anfíbios e identificar características primitivas que eles compartilham.

Pré-requisito

Aulas 3, 4, 5, 14, 15, 17, 19, 23, 24 e 25.

INTRODUÇÃO

Os répteis são vertebrados tetrápodos especiais. Eles apresentam, no curso de seu desenvolvimento embrionário, um anexo denominado âmnio. Assim como os peixes, eles formam um grupo não monofilético, não-natural, isto é, os representantes que atualmente classificamos como répteis não possuem uma história exclusiva comum de parentesco. Mesmo assim, como a palavra réptil é ainda muito usada tanto por cientistas como pelo público em geral, decidimos dedicar uma aula à sua diversidade. Você se lembra da definição de grupo monofilético? Pois é, alguns répteis são mais próximos filogeneticamente das aves do que dos outros animais que chamamos de répteis. Assim, eles não podem ser considerados um grupo monofilético. Alguns autores preocupados pelo fato de o uso da taxonomia (nomenclatura) ser restrito aos grupos monofiléticos resolveram redefinir os répteis. Esses autores propõem que os répteis sejam todos descendentes do ancestral A na **Figura 26.1**. Dessa forma, esses autores incluíram as aves no mesmo grupo dos répteis. O que você acha desse tipo de taxonomia? Escreva-nos (biodiversidade@biologia.ufrj.br) contando se você acha que apenas grupos monofiléticos devem receber nome.

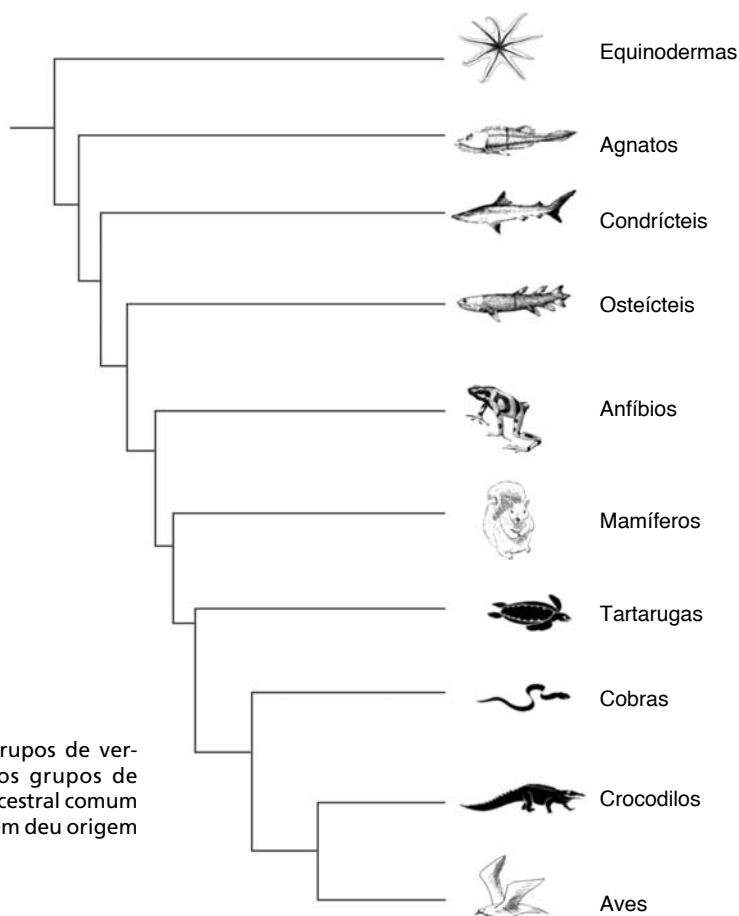


Figura 26.1: Grandes grupos de vertebrados, mostrando os grupos de répteis. Repare que o ancestral comum a todos os répteis também deu origem às aves.

ORIGEM

No ambiente terrestre, os répteis foram o primeiro grupo de vertebrados que se adaptou à vida em lugares secos, com exceção de alguns anfíbios que vivem no deserto. Surgiram no Carbonífero e foram os vertebrados dominantes durante o Mesozóico ou Era dos Répteis, quando ocupavam a maioria dos habitats disponíveis. Os grupos mais antigos estavam divididos em duas formas distintas, separadas conforme a presença de fossas temporais no crânio: os Therapsida (com fossas temporais laterais, uma de cada lado do crânio, também chamados Synapsida) e os Cotylosauria (sem aberturas na região temporal, conhecidos como Anapsida). As fossas temporais são extremamente importantes, pois constituem locais de inserção da musculatura que auxilia na mastigação. Dessa forma, a mastigação dos sinapsídeos é muito mais potente do que a dos anapsídeos. As aves são diapsídeos, ou seja, apresentam duas fossas temporais. A morfologia das formas primitivas de répteis é ampla e envolve animais de grande porte com diversidade de adaptações ao ambiente terrestre, diferentes hábitos alimentares e inclui até formas voadoras.

Os répteis são um grupo extremamente diverso e surgiram já como animais exclusivamente terrestres, portanto não dependem da água para reprodução, como os anfíbios. Esses organismos evidenciam diversas adaptações importantes ao ambiente terrestre que não encontramos nos anfíbios. A mais importante delas é o ovo amniótico, que iremos descrever na próxima seção. Com essa e outras adaptações, eles foram capazes de suportar as condições mais adversas do habitat terrestre e conquistá-lo.

Essas adaptações envolvem mudanças morfológicas e fisiológicas, como uma respiração aérea mais eficaz, realizada por pulmões mais desenvolvidos e de maior capacidade de dilatação. Assim, a respiração cutânea dos anfíbios deixa de ser necessária e o tegumento dos répteis é extremamente cornificado. Ou seja, sua pele não é lisa como a dos anfíbios e pode apresentar placas ósseas, carapaças, plastrões e até escamas. A excreção também se adaptou à vida terrestre, otimizando a manutenção dos recursos hídricos: esses animais passam a excretar ácido úrico, pois a eliminação dessa substância permite ao corpo "economizar" mais água.

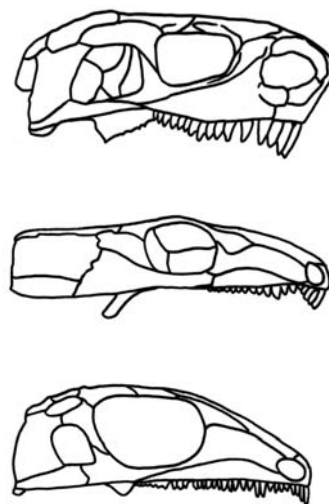


Figura 26.2: Sinapsídeos, anapsídeos e diapsídeos.

EFEITO ESTUFA

É um acúmulo de gases que provocam o aquecimento da Terra.

DETERMINAÇÃO SEXUAL NOS RÉPTEIS

Nos mamíferos, a determinação sexual se dá através dos cromossomos sexuais. Isto é, se o espermatozóide do pai que fecundar o ovo com cromossomo X carregar um cromossomo Y, um menino XY nascerá. Por outro lado, se o espermatozóide carregar um cromossomo X, uma menina virá ao mundo. Entretanto, em algumas espécies de répteis, o sexo do indivíduo é determinado pela temperatura. Isso mesmo, num determinado momento do desenvolvimento do ovo de tartarugas, se a temperatura é mais alta, o indivíduo vira uma fêmea; se a temperatura é mais baixa, o indivíduo vira um macho. Em crocodilianos, temperaturas intermediárias levam à formação de machos. Uma das teorias sobre a extinção dos dinossauros afirma que a temperatura da Terra pode ter subido de repente e os dinossauros, que eram répteis e tinham determinação sexual da mesma forma, podem ter uma geração inteira virado fêmeas. Atualmente, o famoso **EFEITO ESTUFA**, que é responsável pelo aumento da temperatura global, também pode, da mesma forma, levar à extinção as espécies modernas de répteis.

DIVERSIDADE DOS RÉPTEIS

Mais de 6 mil espécies dos répteis atuais são capazes de viver em ambientes mais secos que os anfíbios e muitos podem ser encontrados em desertos, como lagartos e cobras. Algumas espécies se readaptaram à vida aquática. São vertebrados ativos e ágeis, com adaptações que permitiram também uma exploração mais completa do ambiente terrestre. Para a vida na terra, surgiram mecanismos especiais de suporte. A forma do corpo e o tamanho desses animais são extremamente variados e intimamente relacionados ao estilo de vida de cada grupo (as ordens atuais). Os répteis podem ser herbívoros, carnívoros ou onívoros e têm diferentes estratégias para a obtenção do alimento.

Em relação à reprodução, a grande maioria dos répteis apresenta oviparidade, já bastante modificada quando comparada aos anfíbios, e ovos aperfeiçoados, capazes de se desenvolver fora d'água, já que têm uma casca dura e várias membranas importantes. Isso possibilitou aos répteis a independência do meio aquático para a postura dos ovos. A fecundação é interna e os machos da maioria das espécies têm órgãos intromitentes para a passagem do espermatozoide.

A circulação é dupla, como a dos anfíbios. O coração dos répteis crocodilianos, como os jacarés e crocodilos, apresenta quatro cavidades (dois átrios e dois ventrículos) já totalmente separadas. Entretanto, nos demais grupos a separação entre os dois ventrículos é incompleta. A locomoção pode ser feita sobre quatro patas, alcançando grandes velocidades no ambiente terrestre, ou com movimentos natatórios no ambiente aquático, e ainda com movimentos ondulatórios sobre substrato duro, arenoso ou até dentro d'água, no caso das serpentes marinhas. A musculatura ampla e muito desenvolvida permitiu tais adaptações. Os répteis atuais são divididos em quatro ordens: Quelônios (tartarugas, cágados e jabutis); Squamata (lagartos e serpentes); Crocodilia (crocodilos, jacarés, gaviais) e Rhyncocephalia (tuatara). Os lagartos e as cobras são os mais diversos. Se incluirmos as aves, estas fariam uma nova ordem de répteis.

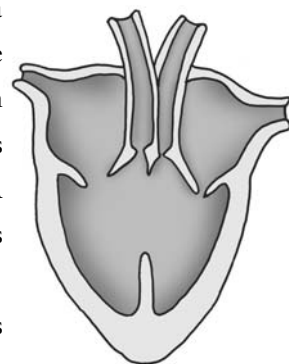


Figura 26.3: O coração dos répteis (excluindo as aves e os crocodilianos) tem um septo que não divide completamente o ventrículo em duas cavidades.

OVO AMNIÓTICO

Uma diferença fundamental entre os anfíbios e os outros tetrápodes é o ovo amniótico, encontrado apenas a partir dos répteis, i.e., répteis, aves e mamíferos. Esse ovo, também chamado de cleidóico ou "ovo terrestre", é um caráter derivado que separa os tetrápodes em dois grupos: amniotas e anamniotas, e conferiu aos répteis uma vantagem imensa sobre os anfíbios.

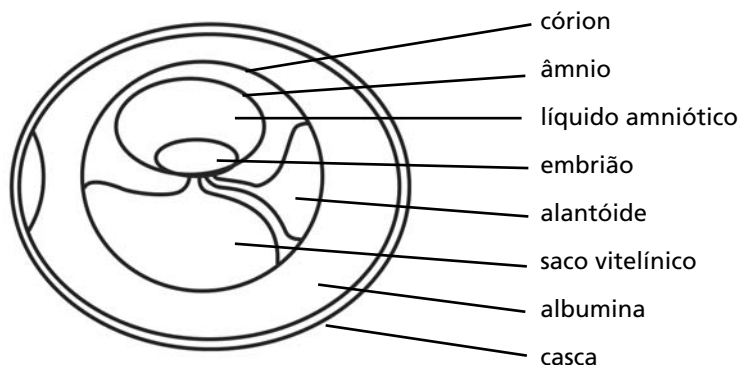


Figura 26.4: Estrutura do ovo amniótico.

O ovo amniótico tem casca coriácea ou calcificada, que suporta e protege o embrião e permite o movimento dos gases respiratórios. A casca do ovo é membranosa e flexível nos lagartos e cobras e muito rígida nos jacarés e tartarugas. A clara do ovo (substância protéica chamada albumina) protege contra impactos mecânicos e funciona como um reservatório de água e de proteínas. O vitelo presente dentro do ovo é muito abundante e representa o suprimento de energia para o embrião em desenvolvimento. Porém, o mais importante é o aparecimento de uma membrana embrionária chamada âmnio, que envolve o embrião em uma cavidade cheia de líquido (líquido amniótico) onde ele se desenvolve e permanece protegido contra dessecação. Mesmo em terra firme, o embrião continua tendo vida aquática, imerso dentro de um ovo, onde estará protegido contra choques mecânicos. Os ovos são colocados em buracos no solo, terra ou em folhas, onde o calor do sol ou da decomposição vegetal ajuda a incubação.

Depois de completar seu desenvolvimento embrionário, o animal rompe a casca do ovo e sai completamente formado, semelhante aos adultos e utilizando os mesmos tipos de alimento que seus pais. Algumas espécies podem praticar cuidado parental, vigiando os ovos nos ninhos e, depois da eclosão, protegendo os filhotes. O tipo de ovo dos répteis e os envoltórios do embrião libertaram definitivamente esses vertebrados terrestres do ambiente aquático, permitindo assim a ocupação do espaço terrestre para a procura de alimento e de novos habitats.

O aperfeiçoamento do ovo está relacionado às mudanças no processo de fecundação que se torna interna; os espermatozóides fertilizam os óvulos bem no alto do oviduto, antes da formação das camadas envoltentes: vitelo (gema), albumina (clara) e casca. O número de ovos produzidos anualmente varia de 1 a 400, dependendo da espécie. Esses fatos determinaram ainda o desenvolvimento de órgãos reprodutores especializados, principalmente no macho, que necessita depositar os espermatozóides dentro do trato reprodutivo da fêmea. Em cobras, o pênis é dividido em duas partes, cada uma denominada hemipênis.

ADAPTAÇÕES AO AMBIENTE TERRESTRE

Além do ovo amniótico, muitas adaptações ao ambiente terrestre, já iniciadas pelos anfíbios, foram melhoradas pelos répteis. Numerosas delas, inclusive, podem ser encontradas no esqueleto, no sistema nervoso, nos rins e no aparelho circulatório, o que torna os répteis, de um modo geral, muito mais eficientes do que os anfíbios, quanto à possibilidade de explorar novos tipos de ambiente. Por exemplo, as patas e as cinturas desses animais são mais robustas, possibilitando uma locomoção mais eficiente. Os pulmões apresentam a superfície interna mais ampliada devido ao maior pregueamento das paredes. A respiração aérea é mais eficiente, porque o número de alvéolos pulmonares é bem maior que o dos anfíbios. Esses organismos excretam ácido úrico, evitando assim a perda de água; por isso a consistência da urina é pastosa.

Os pulmões são órgãos internamente pregueados.

O pregueamento aumenta a eficiência da troca com o meio.

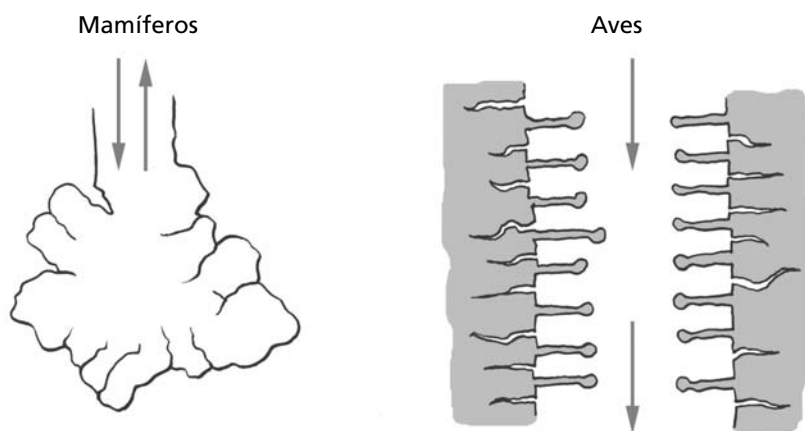


Figura 26.5: Estrutura do pulmão de mamíferos e aves. O pregueamento das paredes aumenta a superfície de troca de gases.

A pele dos répteis é seca, sem glândulas mucosas e com uma espessa camada córnea de células mortas e grandes quantidades de queratina. A queratina é uma proteína insolúvel em água, o que torna a pele impermeável, evitando a evaporação da água. Como a camada córnea impede o crescimento do animal, é necessário seu rompimento periódico (ecdise ou muda). Nas tartarugas e nos crocodilianos, ocorrem descamações, perdas de pequenos pedaços de parte da epiderme. Nas cobras e lagartos, a troca de pele é completa. Na derme existem cromatóforos, que são responsáveis pelas mudanças de cor desses animais, principalmente nos lagartos, como o camaleão, que se protege de predadores através da **CAMUFLAGEM** com o ambiente.

CAMUFLAGEM

São as cores e as padronagens externas de um animal que o permitem se disfarçar ou se esconder no ambiente.

O crânio é maciço e resistente em crocodilianos e tartarugas, e bastante frágil em cobras e lagartos. Os ossos quadrados funcionam como dobradiças e são capazes de baixar o maxilar inferior. Esse mecanismo (e a ausência do osso esterno) é que permite às cobras engolir animais inteiros com o diâmetro maior que seu corpo. Apresentam o maior número de vértebras entre todos os vertebrados (mais de 300 nas cobras). Os crocodilianos possuem 65 vértebras. As tartarugas têm o pescoço extremamente flexível, podendo abrigar a cabeça dentro da carapaça. As demais vértebras, com exceção das caudais, são fusionadas e ligadas aos ossos dérmicos sob a carapaça dorsal. Tartarugas, crocodilos e lagartos possuem membros locomotores curtos, que só sustentam temporariamente o peso do corpo.

CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE EVOLUÇÃO

Você já deve ter ouvido falar nos criacionistas, aquelas pessoas que não acreditam que a evolução das espécies ocorreu. Você provavelmente conhece alguém que pensa assim. Essas pessoas acreditam que Deus criou o mundo exatamente como ele é hoje e que nada mudou na diversidade das espécies desde então. Ou seja, eles não acreditam em evolução dos seres. Apesar de não ser nosso objetivo entrar em uma discussão religiosa, é importante que você tenha algumas coisas claras sobre evolução biológica e criação separada. Em primeiro lugar é importante você perceber que a evolução biológica não é incompatível com nenhuma religião. Deus e evolução não são incompatíveis de modo algum, e muitos biólogos em todo o mundo, que conhecem a fundo tanto a religião como a Biologia, acreditam na existência de Deus e que a evolução ocorreu. Um dos problemas de se enfrentar debates com criacionistas é que eles são baseados em concepções erradas sobre evolução. A partir desta aula iremos discorrer sobre as concepções mais usadas nos argumentos criacionistas.

ALIMENTAÇÃO

A maioria dos répteis é carnívora, alimentando-se de insetos ou de outros invertebrados, como peixes, sapos, aves e pequenos mamíferos. Algumas tartarugas e uns poucos lagartos são herbívoros. As cobras se nutrem exclusivamente de outros animais e muitas, de outros répteis, inclusive de cobras.

A boca em geral é grande, e uma das características dos répteis é engolir suas presas sem mastigar. Os dentes, nos crocodilianos, são fortes e de tamanhos diferentes, servindo para arrancar pedaços. As tartarugas não possuem dentes, mas sim um bico córneo cujas mandíbulas são finas e cortantes. Os lagartos normalmente não possuem dentes e capturam insetos usando a língua bifurcada na extremidade, que se projeta para fora da boca. Os dentes das cobras são pontiagudos, recurvados e voltados para o interior da boca. São usados para reter os animais capturados até a sua imobilização. As peçonhentas imobilizam suas vítimas através de toxinas elaboradas por glândulas salivares, modificadas em glândulas de veneno que desembocam em dentes especializados, denominados presas.

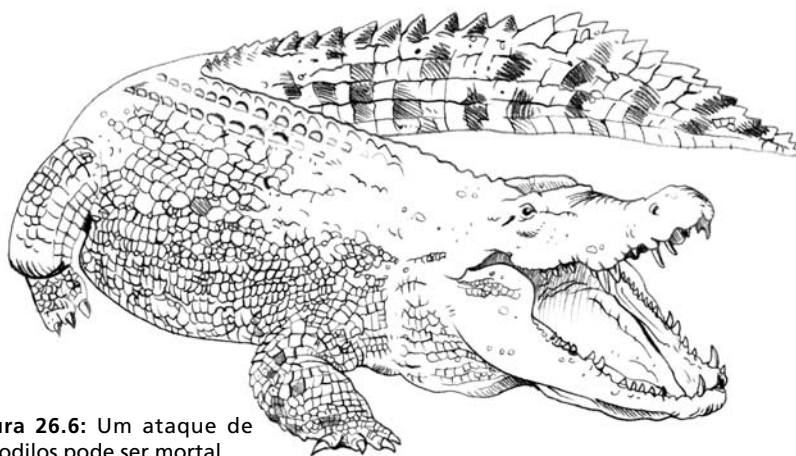


Figura 26.6: Um ataque de crocodilos pode ser mortal.

A implantação dos dentes pode ser feita de três maneiras diferentes: tipo acrodonte (por se prender à base sobre os ossos subjacentes); tipo pleurodonte (preso à borda do dente sobre a face interna da maxila); e tipo tecodonte (o dente está envolvido por um alvéolo de ossos subjacentes). Este último está presente nos crocodilianos e nos mamíferos. Muitos répteis predadores percebem sua presa pela visão, e o movimento da presa é necessário para desencadear o ataque.

RESUMO

Os répteis são vertebrados tetrápodos que apresentam no curso de seu desenvolvimento embrionário um anexo denominado âmnio. Assim como os peixes, eles formam um grupo não monofilético, ou seja, não-natural. Por essa razão, autores incluem as aves no grupo dos répteis. Aves + répteis constituem um grupo natural. A presença do âmnio torna as espécies de répteis não dependentes da água para reprodução, como os anfíbios. Os grupos mais antigos de répteis são divididos em formas distintas, separadas conforme a presença de fossas temporais no crânio: Therapsida (com fossas temporais laterais, uma de cada lado do crânio, também chamados Synapsida) e Cotylosauria (sem aberturas na região temporal, conhecidos como Anapsida). As fossas temporais são importantes pois são locais de inserção de musculatura que auxilia na mastigação, tornando a mastigação dos sinapsídeos mais potente do que a dos anapsídeos. Atualmente, mais de seis mil espécies de répteis estão descritas e são capazes de viver em ambientes secos, mesmo em desertos. A diversidade atual de répteis pode ser dividida em quatro ordens: Quelônios (tartarugas, cágados e jabutis); Squamata (lagartos e serpentes); Crocodilia (crocodilos, jacarés, gaviais) e Rhynchocephalia (tuatara). Os lagartos e as cobras são os mais diversos. Se incluirmos as aves, estas formariam um novo grupo de répteis. Outras adaptações à vida no ambiente terrestre envolvem mudanças morfológicas e fisiológicas, como a respiração aérea mais eficaz, realizada por pulmões mais desenvolvidos e de maior capacidade de dilatação. Por exemplo, a pele dos répteis é seca, sem glândulas mucosas e com uma espessa camada córnea de células mortas e grandes quantidades de queratina. A queratina é uma proteína insolúvel em água, o que torna a pele impermeável, evitando a evaporação.

EXERCÍCIOS

1. Por que os répteis não são considerados um grupo monofilético?
2. Qual a importância das fossas temporais presentes em algumas espécies de répteis?
3. O que possibilitou a conquista do ambiente terrestre pelos répteis?
4. Qual a diferença entre o pulmão de um réptil e o de um anfíbio? O que isso significa em termos de respiração?

Dinossauros

AULA 27

objetivo

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Refletir sobre a diversidade e a importância dos dinossauros.

Pré-requisitos

Aulas 3, 4, 14, 17 e 26.

ORIGEM

Você naturalmente já ouviu falar em dinossauros, não é mesmo? Filmes (como o *Parque dos Dinossauros*, *Dinossauro*), desenhos (*Os Flintstones*) e milhares de livros e revistas se dedicaram a sanar um pouco de nossa curiosidade sobre esses organismos. Eles apareceram na Terra há 250 milhões de anos. Reinaram absolutos em todos os ecossistemas do nosso planeta por cerca de 180 milhões de anos. Entretanto, tais gigantes se extinguíram misteriosamente há cerca de 65 milhões de anos. Da enorme diversidade do Mesozóico apenas uma pequena linhagem sobreviveu, e chamamos de aves. Essa aula se dedica a relatar brevemente uma parte do pouco que sabemos sobre esse fascinante grupo.

A EXTINÇÃO DOS DINOSSAUROS

A extinção dos dinossauros no final do Período Cretáceo é provavelmente um dos eventos mais estudados no registro fóssil. Perguntas como: por que os dinossauros foram extintos e outros organismos sobreviveram? Para responder a isso várias linhas de evidências surgem e todas elas devem ser consideradas, antes da formalização da hipótese. Algumas evidências estão claras. 1) Os dinossauros se extinguíram há 65 milhões de anos; 2) na realidade, nenhum animal com mais de 30 kg sobreviveu à extinção. Os pequenos mamíferos da época e os pássaros sobreviveram; 3) a extinção não foi pontual, muitas espécies já tinham começado a rarear poucos milhões de anos antes de eles desaparecerem do registro fóssil; 4) há cerca 65 milhões de anos, um meteorito muito grande caiu sobre o México. Sabemos que um impacto desse nível tem conseqüências que afetam toda a superfície da Terra, tal como uma bomba. Se você quiser ter alguma idéia sobre como foi esse evento, alugue em vídeo o filme *Dinossauro*. Alguns traços de elementos comuns em meteorito são encontrados em toda a superfície da Terra nesse ponto. Entretanto, como se deu a extinção? Por que alguns foram extintos e outros sobreviveram? Animais grandes como os maiores dinossauros precisam de muita comida para sobreviver. Entretanto, dinossauros menores, como o Velociraptor, também não sobreviveram. Alguns autores dizem que uma doença os matou. Outros, que a temperatura da Terra subiu com o efeito estufa e, como a determinação sexual é pela temperatura em muitos répteis, só nasciam machos. Entretanto, como explicar, que alguns répteis (como as tartarugas e os crocodilos) possuem esse tipo de determinação sexual, mas sobreviveram a esse período? O evento da extinção dos dinossauros representa um dos maiores desafios a cientistas em todo o mundo. Entretanto, devido ao grande número de teorias para explicar esse acontecimento, o que podemos fazer por enquanto é esperar novas evidências que indiquem um único caminho.

A história evolutiva dos dinossauros, como de qualquer outro grupo extinto, não é fácil de ser estabelecida. Por exemplo, os ossos pneumáticos ocos desses animais (parecidos com os das aves) dificultam a preservação do esqueleto no registro fóssilífero. Além disso, a fauna de dinossauros do Mesozóico é singular durante toda a história do Reino Animal. A diversidade de espécies, a presença de inúmeras adaptações morfológicas dificultam o estudo desses organismos, pois análises comparadas são mais difíceis quanto mais singulares forem os organismos extintos.

Por exemplo, a análise comparada com organismos próximos filogeneticamente e vivos (répteis crocodilianos e aves) não ajuda muito. Isso porque a maior parte das características não pode ser encontrada na fauna recente de répteis ou de outros vertebrados terrestres. Naturalmente, sabemos que as condições de vida durante o período Mesozóico eram muito diferentes das condições do mundo atual. Entretanto, devido ao fascínio que os dinossauros exercem sobre nós, muitos pesquisadores dedicam suas vidas a estudar esse grupo. Assim, informações sobre como era a Idade dos Répteis são baseadas diretamente em dados coletados no registro fóssil.

DIVERSIDADE DE DINOSSAUROS

Os dinossauros são classificados dentro de uma subclasse da Classe Reptilia: Archosauria. Essa subclasse inclui não apenas animais extintos, como os dinossauros, mas também organismos vivos ainda hoje, como os répteis crocodilianos e as aves. Dentro dessa subclasse, são reconhecidas cinco ordens. O termo dinossauro é vulgarmente utilizado para designar os animais classificados em duas delas: as ordens Saurischia e Ornithischia, que agrupam os animais que dominaram o ambiente terrestre durante o período Mesozóico.

Membros dessas ordens são facilmente diferenciados pela presença de algumas estruturas esqueléticas especializadas. Isso aconteceu principalmente nas patas, que sofreram um deslocamento para tornar alguns grupos bípedes. Os Saurischia são os chamados "cintura de répteis", enquanto os Ornithischia possuem uma cintura típica de aves, como mostra a **Figura 27.1**.

Lembre-se de que alguns autores consideram as aves como répteis, assim agrupando um ramo monofilético.

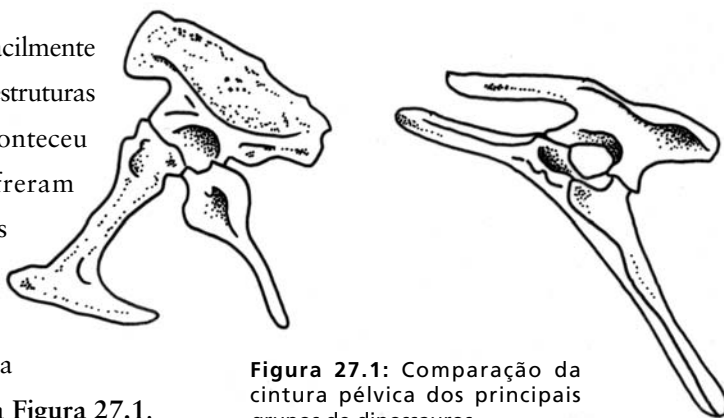


Figura 27.1: Comparação da cintura pélvica dos principais grupos de dinossauros.

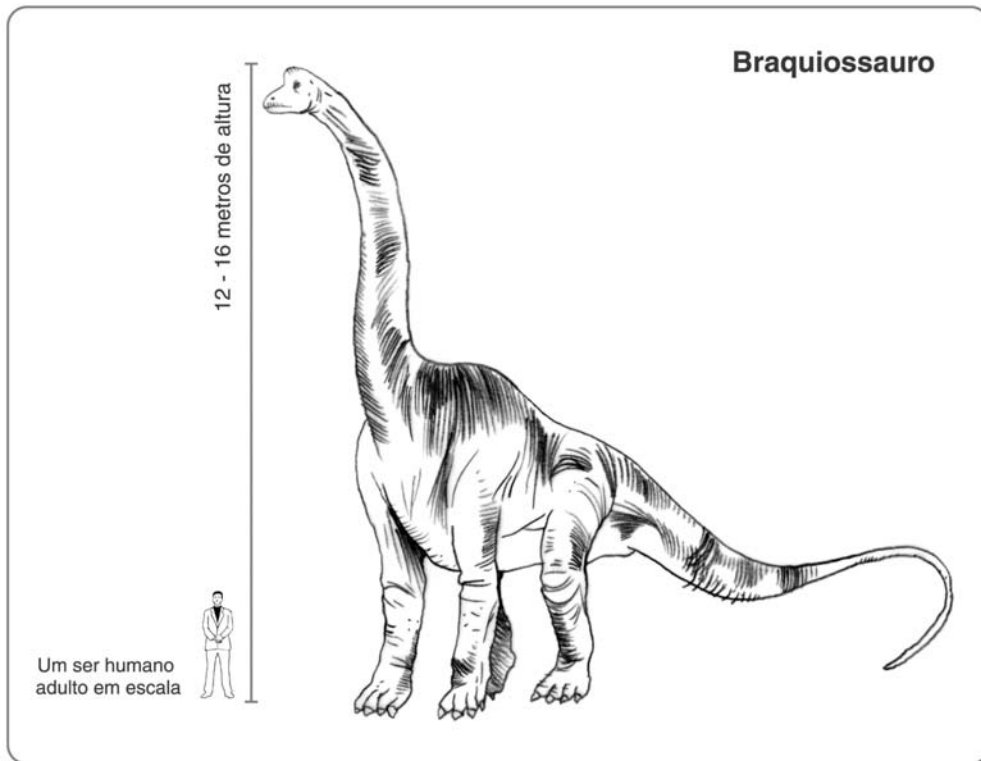


Figura 27.2: Os braquiossauros eram herbívoros que chegavam a medir 16 metros de altura, o equivalente a um prédio de 5 andares.

O crânio dos arcossauros é diápsido, como o das aves, isto é, possui duas aberturas temporais no crânio, uma superior e uma inferior. Os répteis da ordem dos Saurischia incluíam os dinossauros Sauropoda (animais enormes, herbívoros e quadrúpedes) e os Theropoda (carnívoros e bípedes). Algumas espécies, embora de tamanho gigante, como *Diplodocus*, possivelmente serviram de alimento para os imensos répteis carnívoros da época, como o *Tyrannosaurus rex*. O *Tyrannosaurus rex* ou T. rex é um dos mais famosos dinossauros, e um dos maiores carnívoros que conhecemos. (É aquele que, no *Parque dos Dinossauros*, sai correndo atrás do jipe.) Suas patas dianteiras também são um mistério, pois não sabemos sua utilidade. Para você ter uma idéia do tamanho delas, o braço de um T. rex não é muito maior do que o seu próprio braço. Agora imagina você manter o tamanho do seu braço, com uma cabeça medindo um metro e meio!

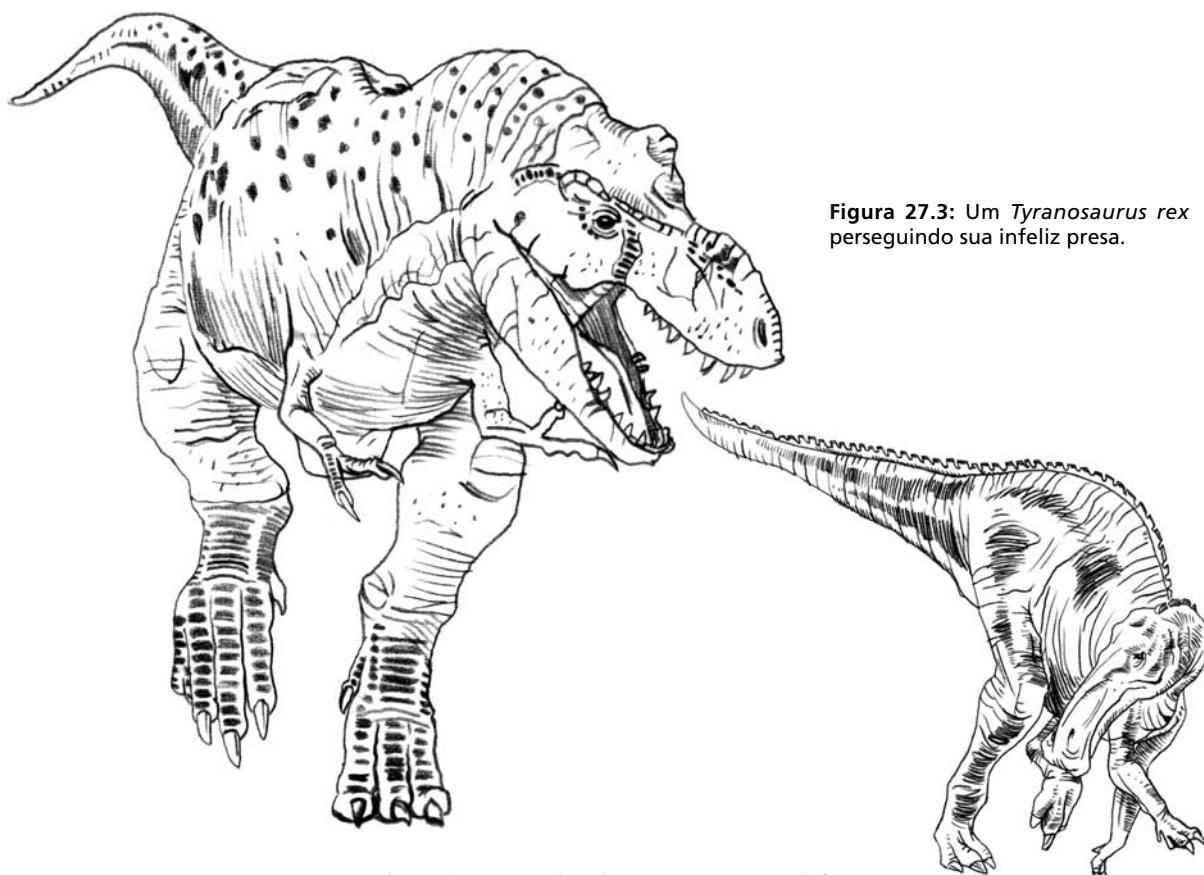
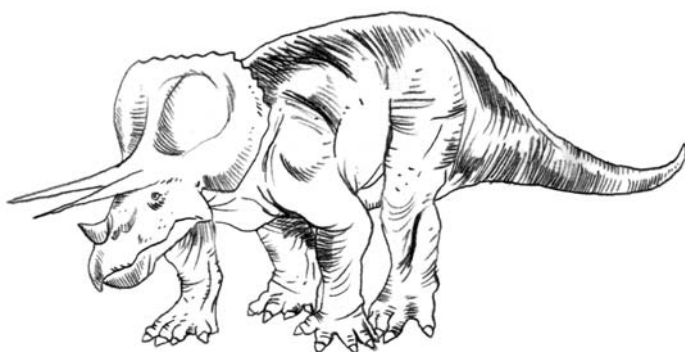


Figura 27.3: Um *Tyrannosaurus rex* perseguindo sua infeliz presa.

Os representantes da ordem Ornithischia possuíam modificações na região da cintura pélvica, levando a uma condição semelhante àquela encontrada em aves. Alguns tinham postura bípede, embora todos fossem herbívoros, podendo apresentar bicos córneos no focinho e dentes especializados na porção posterior da maxila. Os quadrúpedes sustentavam, às vezes, uma grande armadura protetora, como *Triceratops*.

Figura 27.4: O *Triceratops* com sua forte armadura protetora do corpo.



A forma do corpo dos dinossauros e seus hábitos alimentares são muito variados, caracterizando as diferentes espécies que dominaram durante 180 milhões de anos, na chamada Idade dos Répteis. Algumas espécies eram enormes, sustentadas apenas sobre as patas posteriores e com hábitos carnívoros; outras, de menor porte, apoiavam-se sobre os quatro membros e tinham hábitos herbívoros.

O PARQUE DOS DINOSSAUROS

O filme mais importante sobre esses animais foi o *Parque dos Dinossauros*. Se você ainda não o viu, deve vê-lo. Corra à sua locadora de vídeo e alugue hoje mesmo uma cópia desse filme fascinante para todo estudante de Biologia. O filme mostra dinossauros perfeitos, gerados através de computação gráfica. Entretanto, o mais interessante dele é a metodologia que os cientistas usaram para desenvolver em laboratório as espécies de dinossauros. Eles recuperaram o material genético de tais animais para reconstruir o genoma desses organismos e recriá-los em laboratório, a partir de ovos. Os genes eram coletados de mosquitos que tinham sugado o sangue dos dinossauros. Interessante é que no ano de lançamento desse filme, alguns pesquisadores publicaram, na prestigiosa revista *Science*, o seqüenciamento de um gene que eles diziam ser de dinossauros. Pronto, a imprensa ficou agitada. Será que teremos um Parque dos Dinossauros realmente daqui a alguns anos? Entretanto, um trabalho posterior provou que esse gene seqüenciado era, na verdade, um gene humano. A contaminação é o principal problema do DNA antigo, ou seja, do seqüenciamento de organismos mortos há muito tempo ou fósseis. A contaminação por DNA humano é mais comum do que podemos imaginar, pois o DNA do dinossauro está presente em baixíssima quantidade e muito quebrado. Enquanto um genoma de um organismo vivo tem milhões e milhões de bases nitrogenadas ligadas, o material genético de um dinossauro tem pedaços com apenas algumas centenas de bases. Assim, qualquer espirro ou gota de sangue humano pode colocar o experimento a perder, seqüenciando o DNA humano e não o de dinossauro. Na realidade, o maior empecilho a um Parque dos Dinossauros real seria encontrarmos a ordem dos genes, pois o seqüenciamento de genes se dá por partes pequenas, e conseguir juntar essas pequenas partes de um genoma de dinossauro na ordem certa seria virtualmente impossível, devido ao número enorme de combinações.

A própria denominação das categorias taxonômicas reflete as principais características de cada táxon. Por exemplo, os Ornithopoda são os dinossauros com bico de pato; os Pachycephalosauria possuem crânio espesso; os Stegosauria, placas; os Ceratopsoidea, chifres e os Ankylosauria têm armadura.

ESPECIALIZAÇÕES MORFOLÓGICAS

As adaptações morfológicas estavam relacionadas principalmente à defesa, à proteção e à termorregulação. As armaduras ósseas, presentes em estegossauros e anquilossauros, protegiam o animal. Entretanto, outras especializações para a defesa, como modificações na extremidade das caudas, desenvolveram longas e pontiagudas lanças no estegossauro e uma espécie de tacape ósseo na cauda do anquilossauro.

Alguns grupos se destacaram por apresentar uma morfologia mais adaptada para a defesa, como os ceratopsídeos, também chamados dinossauros com chifres. Esses dinossauros eram herbívoros, apoiados sobre as quatro patas, com um crânio imenso. A proteção ao crânio era reforçada com fortes e afiados chifres. Essa proteção permitiu ao grupo uma alta eficácia na defesa contra os outros répteis do Mesozóico.

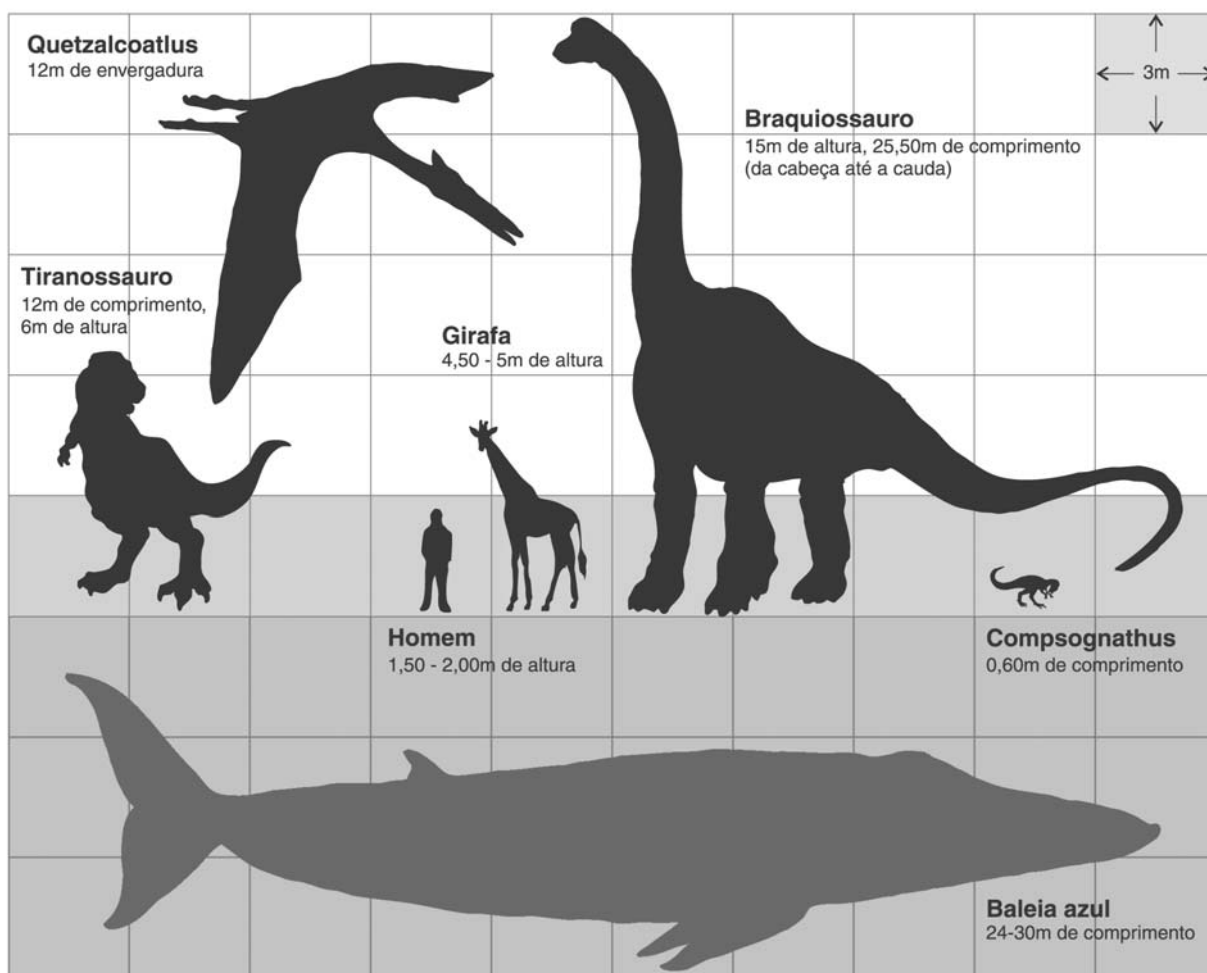


Figura 27.5: Comparações de tamanhos entre vertebrados.

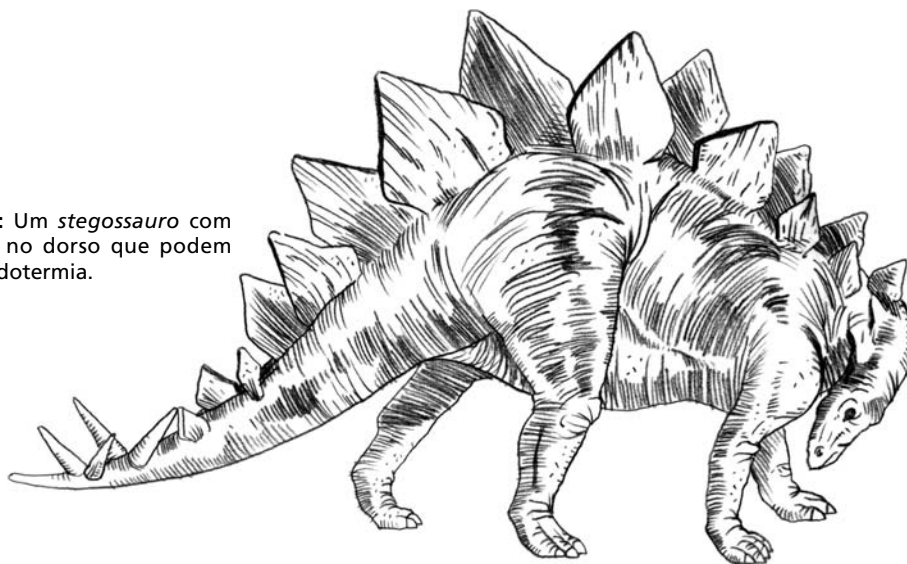
A modificação da postura quadrúpede para bípede foi importante. Essa alteração permitiu aos dinossauros utilizarem suas patas anteriores para segurar as presas, aumentando a eficiência dos predadores bípedes. Ao mesmo tempo, as patas posteriores tornaram-se mais longas e a importância das anteriores para a locomoção diminuiu.

Os animais endotérmicos conseguem controlar a temperatura do corpo com seu próprio metabolismo.

ENDOTERMIA

Existem muitas dúvidas acerca das características fisiológicas dos dinossauros, e para tentar esclarecer essas interrogações foram criadas hipóteses que podem ser analisadas com base no registro fóssil e debatidas pela comunidade científica especializada. Recentemente, foi proposto que os dinossauros poderiam ter sido endotérmicos, como as aves e os mamíferos. Os motivos para se levantar essa hipótese tão questionável são principalmente o fato de os dinossauros terem vivido com sucesso durante 140 milhões de anos, com seu tamanho grande, seus longos membros e sua locomoção bípede. Além disso, algumas espécies têm longos pescoços, como os brachiossauros. Nessas espécies, a cabeça está muito acima de seu coração, necessitando uma alta pressão sanguínea para manter a circulação pulmonar, fato que implicaria a existência de um coração de quatro câmaras mais potente. As mudanças morfológicas no padrão geral de um dinossauro e as alterações na postura também podem ter sido importantes para o controle da temperatura do corpo nos répteis primitivos. Algumas espécies, como *Stegosaurus*, apresentavam enormes placas no dorso e na cauda, cuja função seria desempenhar um papel importante na termorregulação, funcionando como dissipadores de calor, por meio de uma orientação adequada do corpo e do controle do fluxo sanguíneo em relação ao vento.

Figura 27.6: Um *stegossauro* com suas placas no dorso que podem indicar a endotermia.



DINOSSAUROS E AVES

Os dinossauros e as aves apresentam muitas características comuns, como os ossos pneumáticos e as escamas epidérmicas, fato que levou os pesquisadores a colocá-los dentro de um mesmo grupo: os Archosauria. Por outro lado, outras características como aquelas relacionadas ao voo e à endotermia são exclusivas das aves e dependentes das penas. Na próxima aula iremos estudar as aves. Hoje em dia, os pesquisadores consideram as aves como dinossauros não extintos que desenvolveram a habilidade de voar.

O estudo dos fósseis mais antigos de aves mostra que esse grupo provavelmente evoluiu a partir de ancestrais répteis. A ave ancestral, chamada *Archaeopteryx lithographica*, apresenta características que unem as aves aos dinossauros. Elas possuem o crânio muito semelhante ao dos primitivos representantes desse grupo. As primeiras aves possuíam dentes e costelas abdominais e, além disso, uma longa cauda óssea desconhecida em qualquer outra ave. Os dedos dos membros anteriores possuíam garras.

Por outro lado, *Archaeopteryx* apresentava penas bem desenvolvidas e a forma das asas e das pernas essencialmente semelhante às das aves modernas. Certamente, essa forma aerodinâmica das aves ancestrais serviria para planar e saltar e, talvez, realizar limitados vôos batidos, deslocando-se através do ar, entre as árvores. A origem dessa ave ancestral não está clara, pois não existem fósseis intermediários que possam relacioná-la aos grupos dos quais ela poderia ter evoluído, deixando desconhecido o grupo de dinossauros mais próximo evolutivamente.

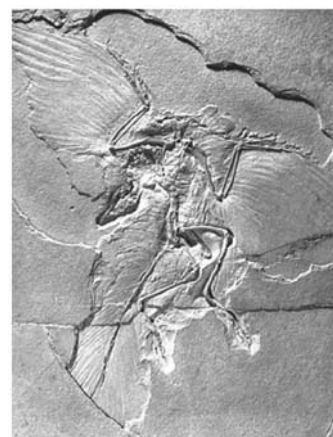


Figura 27.7: Um dos fósseis mais famosos, o *Archaeopteryx lithographica*.

RESUMO

O termo dinossauro é vulgarmente utilizado para designar dois grupos de répteis que dominaram o ambiente terrestre durante o período Mesozóico: as ordens Saurischia e Ornithischia. A subclasse Archosauria inclui não somente animais totalmente extintos, como os dinossauros, mas também répteis vivos, como os crocodilos e as aves. Os dinossauros se extinguíram há cerca de 65 milhões de anos; entretanto, muitas teorias tentam explicar o que aconteceu naquela época. Uma das mais aceitas é aquela que sugere que a queda de um meteoro dizimou esses organismos. Em relação às adaptações morfológicas, uma das modificações mais importantes foi a passagem da postura quadrúpede para a bípede. Essa modificação permitiu aos dinossauros utilizar suas patas anteriores para segurar as presas, aumentando a eficiência dos predadores bípedes. Alguns grupos se destacaram por apresentar uma morfologia mais adaptada à defesa ou à termorregulação. O estudo dos fósseis mais antigos de aves mostra que esse grupo evoluiu provavelmente a partir de ancestrais répteis dinossauros, pois a ave ancestral, chamada *Archaeopteryx lithographica* apresenta características que unem as aves aos dinossauros.

EXERCÍCIOS

1. Qual a teoria mais aceita sobre a extinção dos dinossauros? Por quê?
2. O que os dinossauros e as aves têm em comum?
3. Como você explicaria a sobrevivência de alguns mamíferos à extinção do Cretáceo?
4. Quais são os principais grupos de dinossauros e o que caracteriza cada um deles?

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Compreender como ocorreu a origem e a diversidade das aves.
- Discutir as teorias sobre a origem do voo.

Pré-requisitos

Aulas 3, 4, 14, 17, 18, 26 e 27.

ORIGEM

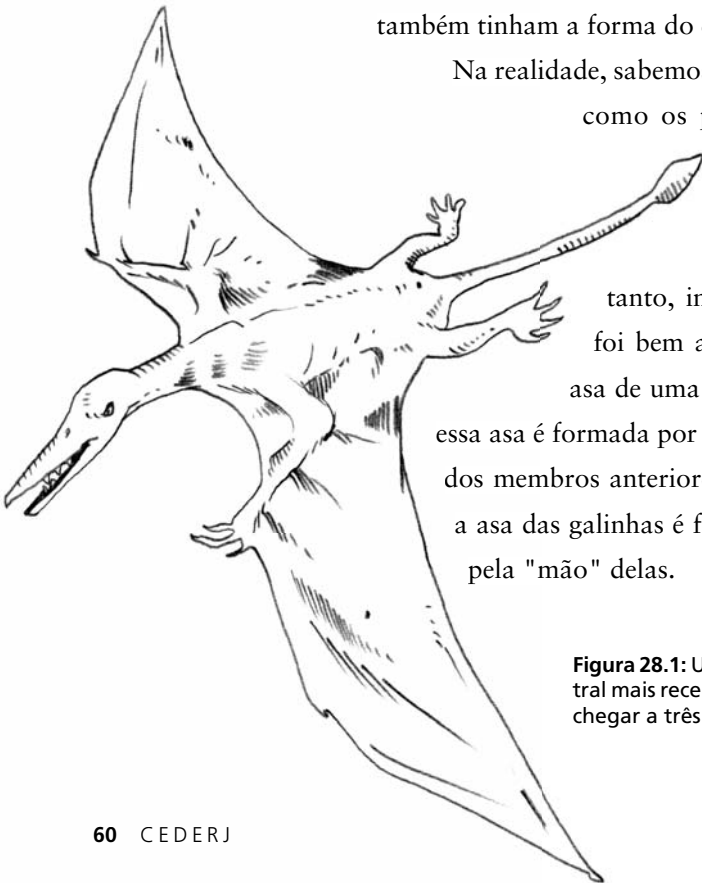
Na última aula, vimos que os dinossauros deram origem às aves. Agora, vamos tratar da evolução e da diversidade desses organismos alados. Assim como os dinossauros, o estudo da evolução das aves também é dificultado pelo fato de seus ossos serem leves e ocos, embora isso faça deles animais leves e adaptados ao voo. Tais características tornam os ossos inadequados para a conservação fóssil, que é uma das principais fontes de informação evolutiva. Discutiremos, nesta aula, os pontos considerados mais importantes das muitas evidências que nos levam a acreditar no modo como isso ocorreu.

Um dos fatos mais interessantes em evolução é a ocorrência de espécies intermediárias entre aquelas que existem atualmente. Isso é claramente um indicativo de que houve evolução, e inclusive nos mostra como aconteceu. As aves mais antigas (como o *Archaeopteryx*), por exemplo, possuíam dentes, costelas abdominais, uma longa cauda óssea, penas e asas. As primeiras aves apareceram no Período Jurássico, conforme mostramos na última aula (**Figura 27.1**). Isso mesmo, essas mais antigas evidenciam que os ancestrais das aves tinham dentes e caudas ósseas, como os répteis, constituindo um dos exemplos mais bonitos de fósseis intermediários que conhecemos. Esses primeiros organismos também tinham a forma do corpo já adaptada para planar e voar.

Na realidade, sabemos que mesmo alguns répteis já eram alados, como os pterossauros, ilustrado na **Figura 28.1**.

Assim, a princípio poderíamos imaginar que a origem das aves aconteceu pela diferenciação de um réptil alado. Entretanto, inúmeras evidências nos mostram que não foi bem assim. Por exemplo, quando você come a asa de uma galinha num churrasco, pode reparar que essa asa é formada por três partes unidas. Em termos de estrutura dos membros anteriores humanos (os braços), isso significa que a asa das galinhas é formada pelo "braço", pelo "antebraço" e pela "mão" delas.

Figura 28.1: Um pterossauro, réptil alado que não é o ancestral mais recente das aves. As asas desses organismos podem chegar a três metros de envergadura.





Por outro lado, a asa dos pterossauros é formada pela expansão de um único dígito (dedo). Já a asa dos morcegos manifesta uma origem diferente das outras duas, pois é formada pela extensão de quatro dígitos. Assim, esses dados mostram que inúmeros organismos diferentes fizeram evolução da capacidade de voar independentes. A recente descoberta de dinossauros com penas nos indica que o ancestral das aves é um desses animais, chamado terópodo, tipo **VELOCIRAPTOR**.

VELOCIRAPTOR

É aquele dinossauro inteligente de *Parque dos Dinossauros*.

Figura 28.2: Diferentes tipos de asas mostrando estruturas (e origem) diferentes entre elas.

DIVERSIFICAÇÃO

Ainda durante o Cretáceo, isto é, antes da grande extinção dos dinossauros, surgiram aves semelhantes às garças e aos biguás tais como vemos hoje. Entretanto, foi apenas depois da extinção dos dinossauros, no começo do Terciário, que as aves sofreram uma enorme diversificação. Você deve se lembrar da Aula 18, onde abordamos o assunto de como a diversidade dos seres vivos flutua de acordo com as extinções e radiações. Vimos então que extinções promovem radiações subseqüentes porque muito abrigo e muito alimento estão disponíveis. Além disso, os predadores não sobrevivem tão bem às extinções. Assim, logo em seguida a uma extinção como a dos dinossauros, inúmeros nichos ficaram vagos, promovendo uma radiação de dois grupos: aves e mamíferos.

Entre os tetrápodos, as aves se distinguem por terem o corpo coberto por penas (características exclusivas), que revestem e isolam o corpo permitindo a regulação da temperatura, pois diminuem a perda de água e de calor através da superfície do corpo, possibilitando o vôo, pois oferecem uma superfície plana ao deslocamento do ar. Os membros anteriores estão modificados em asas e os membros posteriores, chamados pernas, são adaptados para empoleirar, andar ou nadar.

**CARACTERÍSTICA
COMPLEXA**

Retorne à Aula 7 para maiores informações sobre como estudar características complexas, como a origem do voo.

COMO O VÔO SURTIU?

Assim, como a evolução de qualquer **CARACTERÍSTICA COMPLEXA**, o voo das aves deve ser imaginado em passos, onde cada passo representa um avanço (adaptação) em relação ao passo anterior, e a diferença entre eles tem que ser explicada através de uma mutação gerada aleatoriamente. Dessa forma, duas teorias surgiram para explicar a evolução do voo. A primeira é chamada "Do chão para cima". Dado um ancestral bipedal de uma linhagem de organismos voadores, o voo deve ter sido originado do chão para cima. Essa teoria assume que o ancestral não vivia normalmente em cima das árvores ou que não havia árvores em seu habitat. Um ancestral bipedal teria seus braços livres para fazer o que quisesse enquanto corresse. A velocidade de corrida permitiria a ele atingir a velocidade mínima para decolagem. Uma outra teoria é chamada "Da árvore para baixo". Nessa, o ancestral da linhagem alada é um animal com hábito arbóreo. Em tal cenário, o voo teria se desenvolvido da árvore para o ar. Um organismo que tivesse a capacidade de saltar de uma árvore para outra, ou de planar, poderia ter desenvolvido essa capacidade. Como a capacidade de planar é útil em árvores porque permite ao organismo descer rapidamente sem se machucar, o ancestral planador deve ter adquirido uma mutação que transformou suas membranas em asas. Ele pode ter iniciado o processo batendo essas membranas.

As aves são animais endotérmicos, de tamanhos variados, que podem viver em ambientes pantanosos (onde são mais abundantes), em savanas, ambientes marinhos e até em regiões polares. Animais endotérmicos como as aves e os mamíferos conseguem manter constante a temperatura do corpo. Por exemplo, os humanos têm uma temperatura de 36,5 °C. Frio e calor acionam nosso metabolismo à produção de calor ou à sua eliminação através do suor, respectivamente. Assim, nós conseguimos manter essa temperatura independente da ambiental. Também as aves conseguem habitar regiões mais inóspitas como as polares, ao contrário dos répteis ou dos anfíbios.



Figura 28.3: Aves e mamíferos de regiões polares possuem plumagem clara. Assim, eles conseguem se esconder de predadores e presas.

ESTRATÉGIAS REPRODUTIVAS

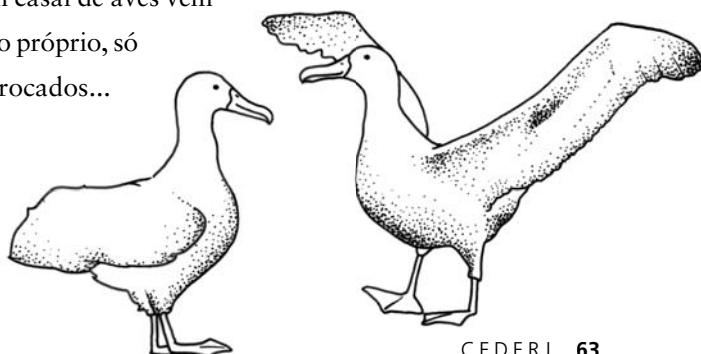
A biologia reprodutiva das aves possui características específicas muito interessantes e são extremamente diversificadas. Essa diversidade inclui comportamentos de corte e rituais nupciais que representam um momento decisivo na vida dos machos. O **DIMORFISMO SEXUAL** é muito marcante nas aves. Na maioria das espécies, as fêmeas são maiores que os machos e possuem uma coloração mais uniforme, geralmente sem ornamentos na plumagem. Já os machos possuem plumagem de cores fortes e variadas. Além disso, os machos das aves cantam e realizam danças rituais que servem para atrair as fêmeas na época do acasalamento. Esse comportamento é caracterizado como ritual nupcial.

No momento do acasalamento, existe uma grande competição pelas fêmeas, e a atuação dos machos momentos antes da cópula é que vai definir qual parceiro será escolhido. Os machos se exibem construindo ninhos, trazendo "presentes" (gravetos, folhas e até pequenas pedras) e cantando para as fêmeas. A formação de um casal de aves vem de um ritual que, muitas vezes, lembra o nosso próprio, só que sem chocolate, flores, jóias, e sorrisos trocados...

DIMORFISMO SEXUAL

O termo dimorfismo sexual indica que a morfologia do macho é diferente da morfologia da fêmea.

Figura 28.4: Ritual de acasalamento entre aves.



CÓPULA

É o cruzamento.

VITELO

É o alimento para o embrião que se desenvolve dentro do ovo. Veja a Aula 26.

Assim que a ave fêmea escolhe seu macho, o casal é formado e ocorre a **CÓPULA** com fecundação interna. Os ovos produzidos pelas fêmeas possuem muito **VITELO** e são envolvidos por uma casca calcária dura. Esses ovos são depositados em ninhos previamente preparados para permitir a incubação. Durante esse período, o macho e a fêmea irão dividir igualmente as tarefas que envolvem a manutenção da prole e do ninho – ou seja, ambos os sexos promovem o cuidado parental.

O tempo de incubação do ovo até o nascimento é muito variado. Ao eclodir o ovo, os filhotes são alimentados e vigiados pelos pais, com um cuidado parental muito grande, até então não observado em nenhum outro vertebrado. Algumas espécies de aves aquáticas desovam no solo ou em rochas sobre ilhas. Esses locais são chamados de ninhais, mas a maioria das espécies constrói um ninho no alto de uma árvore para conter os ovos e abrigar os filhotes dos predadores.

MORFOLOGIA

A morfologia das aves é modificada devido a seus hábitos peculiares. Por exemplo, a pele das aves é mole e flexível e não apresenta glândulas, com exceção da uropigial. Essa glândula está presente na cauda e é desenvolvida principalmente nas aves aquáticas. Ela secreta uma substância oleosa, que as aves usam para impermeabilizar suas penas e evitar que o bico se torne quebradiço. Por isso, é fácil observar aves fazendo a manutenção de sua plumagem, arrumando as penas com o bico e tocando na glândula uropigial repetidamente para molhar o bico nesse óleo. As penas das aves crescem a partir de pequenos folículos na pele. Toda a plumagem é trocada sazonalmente e de forma gradual, de modo a não interferir na capacidade de voar desses organismos. Tal período é chamado de muda, e ocorre pelo menos uma vez ao ano.

Já vimos que o *Achaeopteryx* possuía dentes. Porém, aves modernas não os possuem. Elas utilizam o bico como ferramenta para obter e manipular o alimento, para arrumar as penas, para coletar materiais para o ninho e construí-lo, além de outras atividades, incluindo a defesa. Como Darwin já tinha notado nos tentilhões das Ilhas Galápagos a forma do bico geralmente indica os hábitos alimentares. Como as aves vivem em ambientes diversos, do alto de montanhas a regiões costeiras, o alimento é também muito variado. Existem aves insetívoras, nectívoras, herbívoras, carnívoras, onívoras e espécies carniceiras, como os urubus e abutres.

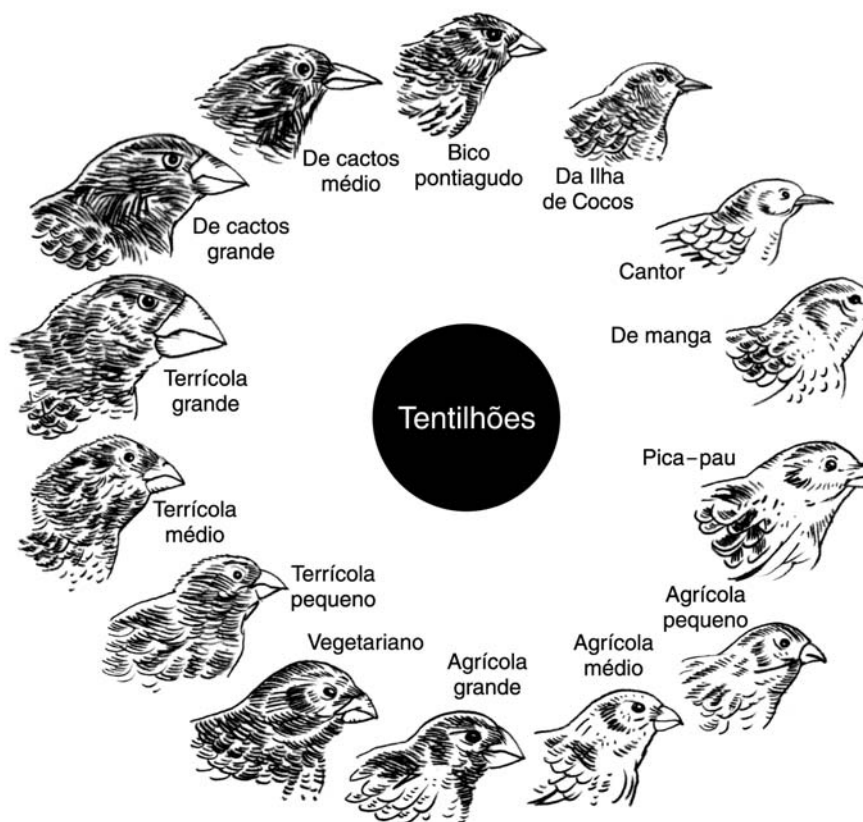


Figura 28.5: Tentilhões de Darwin.

O processo de diversificação das aves deu origem a um grande número de espécies. Cerca das oito mil atuais são conhecidas, distribuídas em todos os continentes, mares, ilhas e topo de montanhas. Isso é verdade, mesmo para regiões muito altas, acima 6 mil metros de altitude. Nas regiões polares existem poucas espécies, ou seja, a diversidade é baixa. Entretanto, as poucas que habitam essas regiões são muito abundantes.

O tamanho também varia bastante nas aves. Assim, as menores espécies, como os beija-flores, podem pesar menos de 50 gramas. As espécies de pequeno porte podem viver empoleiradas em galhos de árvores, alimentando-se de insetos e realizando um importante controle biológico desses artrópodes, muitas vezes vetores de doenças que atingem o ser humano.

Por outro lado, as maiores espécies, como os avestruzes, podem chegar até 2 metros de altura, assim como os grandes condores, cuja envergadura da asa pode atingir até três metros! Aves de grande porte têm peso (perto de 150 quilos) que inviabiliza o voo, e as asas tornam-se atrofiadas. Geralmente, são espécies corredoras com membros posteriores longos e forte musculatura.

Outras espécies, como os pingüins, não voam. Eles adaptaram suas asas para mergulhar. Esse grupo de aves utiliza as pequenas asas como remos. Assim, a capacidade de mergulho desses organismos é incrível. Algumas espécies são capazes de mergulhar até 300 metros de profundidade para capturar os peixes de que se alimentam.

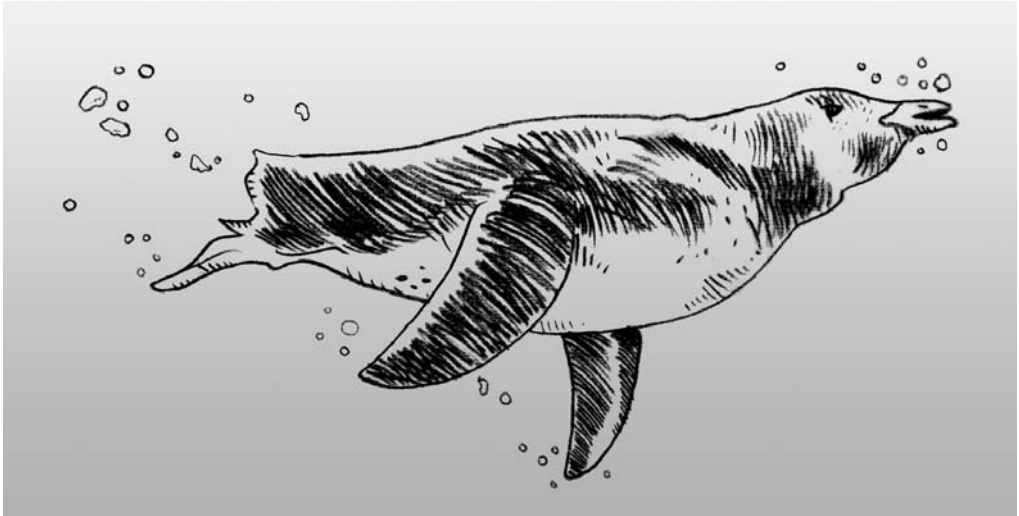


Figura 28.6: Um pingüim mergulhando à procura de alimento.

FISIOLOGIA

O trato digestivo das aves apresenta algumas características diferentes das dos demais vertebrados. Com a ausência de dentes, impedindo o processamento dos alimentos na boca, o sistema digestivo passa a ter um papel extremamente importante na digestão. O excesso de alimento coletado é mantido no esôfago. Você já percebeu que muitas aves têm papos? Pois é, esses papos são uma porção dilatada do esôfago, que serve para guardar alimento temporariamente.

Além disso, o aparelho gástrico das aves apresenta uma estrutura que chamamos de proventrículo. O proventrículo é um tipo de pré-estômago ou estômago anterior. Nessa estrutura ocorre uma digestão química, antes de o alimento chegar ao estômago posterior. A digestão se dá com a secreção de enzimas digestivas e de ácidos. A moela, como a de galinha que compramos no supermercado, é o estômago mecânico posterior, cuja função mais importante é o processamento mecânico do alimento.

Apesar de a moela conter músculos bem potentes, ela sozinha não conseguiria processar o tipo de alimento da maior parte das aves. Lembre-se de que aves se alimentam de sementes (como o alpiste), de grãos de milho, entre outras coisas muito duras. O que acontece é que as aves também ingerem pequenas pedras e um pouco de terra quando comem. Esse material mineral é acumulado na moela. Assim, quando a moela está moendo o alimento esse material auxilia no seu tritramento. A moela de perus, por exemplo, consegue triturar até agulhas de costura, para você ter uma idéia de quão poderoso é esse sistema digestivo.



Figura 28.7: Esquema simplificado do sistema digestivo em aves.

Uma outra adaptação interessante do sistema digestivo de algumas aves marinhas é o hábito de engolir as próprias penas. Você deve estar pensando na razão para tal absurdo. Na realidade, a razão é simples. Essas aves se alimentam de peixes. A maior parte deles possui espinhas, mas a moela não é tão poderosa quanto a dos perus, descrita acima. Assim, eles engolem as penas, que se acumulam entre a moela e o intestino. Essas penas servem de peneira, não deixando as espinhas que passaram pela moela danificarem as paredes do estômago desses organismos.

Depois de passar pelos estômagos, o alimento processado vai para o intestino delgado. Ali, o alimento é digerido. O intestino das aves varia muito de tamanho. Por exemplo, o de espécies que se alimentam de comida de fácil absorção é pequeno, como o das aves marinhas. O dos mergulhões é de apenas três vezes o tamanho de seu corpo, pois ele se alimenta de peixes. Por outro lado, o intestino de aves vegetarianas, como o da avestruz, chega a ser 20 vezes o tamanho do corpo do animal!

ADAPTAÇÕES AO VÔO

As aves herdaram diversos aspectos dos répteis que contribuíram para seu sucesso como voadoras, reduzindo seu peso. Por exemplo, nesses organismos os ovos se desenvolvem totalmente fora do corpo materno. Além disso, os produtos da excreção nitrogenada (ácido úrico) são excretados de forma semi-sólida constantemente. Isso porque não há bexiga urinária nas aves. Algumas mudanças na respiração também contribuíram para o sucesso, como o surgimento dos sacos aéreos internos. Esses sacos se abrem para o exterior através do trato respiratório, auxiliando na respiração, na passagem do ar e dissipando o calor gerado pelo elevado metabolismo necessário para manutenção do voo.

QUAIS SÃO AS VANTAGENS DO VÔO?

Algumas hipóteses tentam explicar vantagens que contribuíram para o desenvolvimento do voo. 1) Uma delas diz que o voo ajuda o organismo a escapar de seus predadores. 2) Outra hipótese já lida com a possibilidade de o voo ter auxiliado na captura de uma presa voadora (como insetos), ou de uma presa muito rápida. 3) Uma terceira hipótese diz que o voo permite a mudança de território. Por exemplo, em caso de falta de alimento ou abrigo no local isso pode ser bem útil. 4) Uma quarta hipótese diz que o voo permitiu aos animais alados a liberação das patas traseiras para capturar presas. Você já deve ter visto um gavião pegando um ratinho com as patas de trás, em programas de natureza, na televisão. 5) A última hipótese lida com a mudança para ocupar um novo (não ocupado) nicho. Por exemplo, alguns pássaros fazem ninhos em montanhas rochosas onde nenhum predador consegue chegar para levar sua cria.

O voo requer um corpo compacto, **AERODINÂMICO** e rígido, adquirido nas aves pela fusão, pela perda e pelo reforço de ossos. As pernas são localizadas logo abaixo do corpo. Elas o sustentam por meio de oscilações do fêmur para baixo e para trás e podem ser retraídas entre as penas do ventre em momentos de repouso. A habilidade das aves em correr sobre o solo foi fundamental para a realização do voo. Assim, o esqueleto desses organismos é adaptado ao voo e à locomoção bípede. Muitos ossos contêm cavidades aéreas para diminuir o peso; são os chamados ossos pneumáticos, que embora mais flexíveis e leves, quando comparados com a maioria dos mamíferos, não são menos resistentes. A asa é suportada principalmente pelos ossos largos do segundo dedo e por fortes músculos inseridos no esterno. Seu formato está diretamente relacionado com o tipo de voo, variando de planado, onde as asas permanecem paradas como em algumas aves marinhas, até um tipo de voo muito ativo, como o dos beija-flores, que realizam de 30 a 50 batimentos das asas por segundo.

Na maioria das aves, o voo é utilizado para escapar dos inimigos, para a procura de alimento e para possibilitar longas migrações. Porém, nem todas as aves voam. Realmente, em vários momentos da história evolutiva desse grupo, as aves perderam o poder de voo, desenvolvendo gradualmente os membros posteriores para correr rapidamente.

A visão das aves também sofreu adaptações para o voo, principalmente nas aves de rapina, que voam para capturar suas presas e necessitam uma acomodação visual rápida. Por outro lado, as aves também desenvolveram uma **VOCALIZAÇÃO** e uma audição bastante apuradas. Essas habilidades auxiliam os machos na localização das fêmeas e nos comportamentos migratórios do grupo.

AERODINÂMICO

Para minimizar a quantidade de energia necessária para atravessar o vento, o corpo das aves deve ser aerodinâmico.

Isso significa que ele desloca a menor quantidade de ar possível durante o voo.

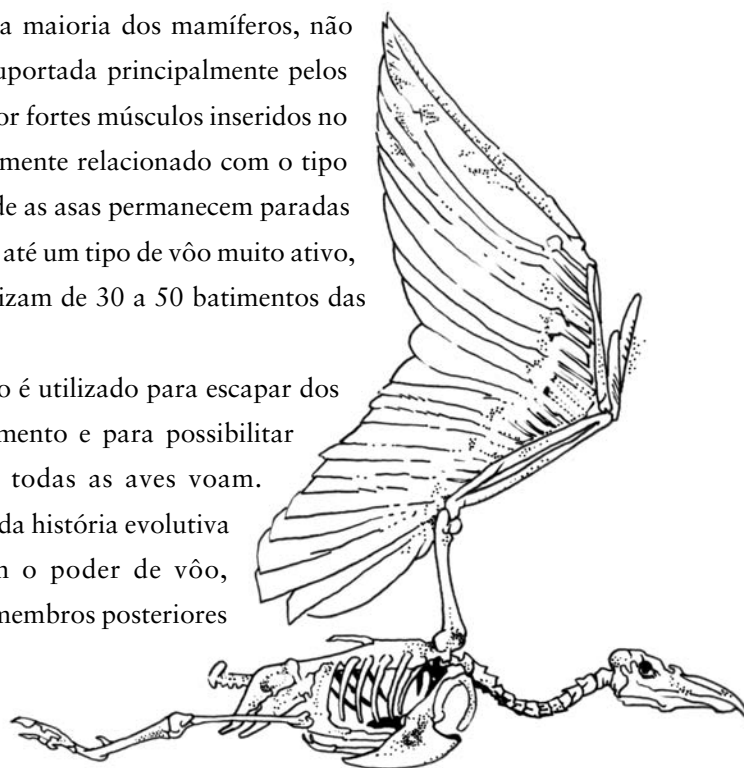


Figura 28.8:
Um organismo aerodinâmico.

VOCALIZAÇÃO

É a emissão de sons.

RESUMO

As aves antigas possuíam características que hoje encontramos em répteis, como dentes e uma longa cauda óssea, além de penas e asas. Essas e outras características indicam que as aves descenderam dos dinossauros. Ainda durante o Cretáceo, isto é, antes da grande extinção dos dinossauros, aves semelhantes às garças e aos biguás que existem hoje surgiram, mas apenas depois da extinção elas sofreram sua diversificação. Entre os tetrápodos, as aves se distinguem por terem o corpo coberto por penas (características exclusivas) que o revestem e o isolam, permitindo a regulação da temperatura, pois diminuem a perda de água e de calor através da superfície do corpo. Isso possibilita o voo, porquanto oferecem uma superfície plana ao deslocamento do ar. Os membros anteriores das aves estão modificados em asas e os membros posteriores, chamados pernas, são adaptados para empoleirar, andar ou nadar. O trato digestivo das aves apresenta algumas características diferentes das dos demais vertebrados. Com a ausência de dentes, impedindo o processamento dos alimentos na boca, o sistema digestivo passa a ter um papel extremamente importante na digestão, incluindo a moela, que funciona como um segundo estômago mecânico. Em relação ao voo, as aves herdaram diversos aspectos dos répteis que contribuíram para seu sucesso como voadoras reduzindo seu peso, como o desenvolvimento externo do ovo, ossos pneumáticos, eliminação de excretas sólidas constantemente, entre outras.

EXERCÍCIOS

1. Quando surgiram as primeiras aves?
2. Por que o *Archaeopteryx* é considerado um fóssil de transição ou intermediário?
3. Que tipo de vantagens existe na habilidade de voar dos organismos?
4. Que tipo de adaptação os pingüins desenvolveram com suas asas para auxiliar na busca do alimento?

Mamíferos I

AULA 29

objetivo

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Estudar a origem e a diversidade dos mamíferos.

Pré-requisitos

Aulas 3, 4, 14, 17, 18, 26, 27 e 29.

AMNIOTAS

Veja a Aula 26 para definição de amniotas.

Nós, mamíferos, temos uma biologia interessante. Todos os mamíferos são animais **AMNIOTAS** de estrutura óssea compactada e dentição complexa. Algumas características exclusivas dos mamíferos são as glândulas mamárias, a placenta, os pêlos, um sistema nervoso central sofisticado, entre várias outras. Essas características reúnem uma imensa e fascinante diversidade de formas: cangurus, tamanduás, capivaras, tigres, baleias, morcegos, girafas, elefantes, chimpanzés e nós mesmos, seres humanos, todos fazemos parte desse último grupo que iremos estudar nestas aulas do curso. Nesta, iremos nos aprofundar na diversidade de mamíferos.

Você pode estar pensando que desse grupo você (finalmente!) conhece todos os animais. Realmente, os mamíferos sempre nos chamam a nossa atenção pelo porte, pelo tamanho, pelos hábitos (em que muitas vezes reconhecemos nossos próprios...), e naturalmente pela sua beleza. Assim, você poderia pensar que conhece a diversidade de mamíferos. Entretanto, a fauna atual do grupo é fruto de mais de 300 milhões de anos de história evolutiva. A Classe Mammalia resultou de uma diversificação sem precedentes de modos de vida associados a profundas modificações no plano de organização estrutural desses animais. A Classe compreende mais de 60 entidades taxonômicas de *status* associado a categoria de ordem; entre essas aproximadamente 26 têm representantes na fauna atual.

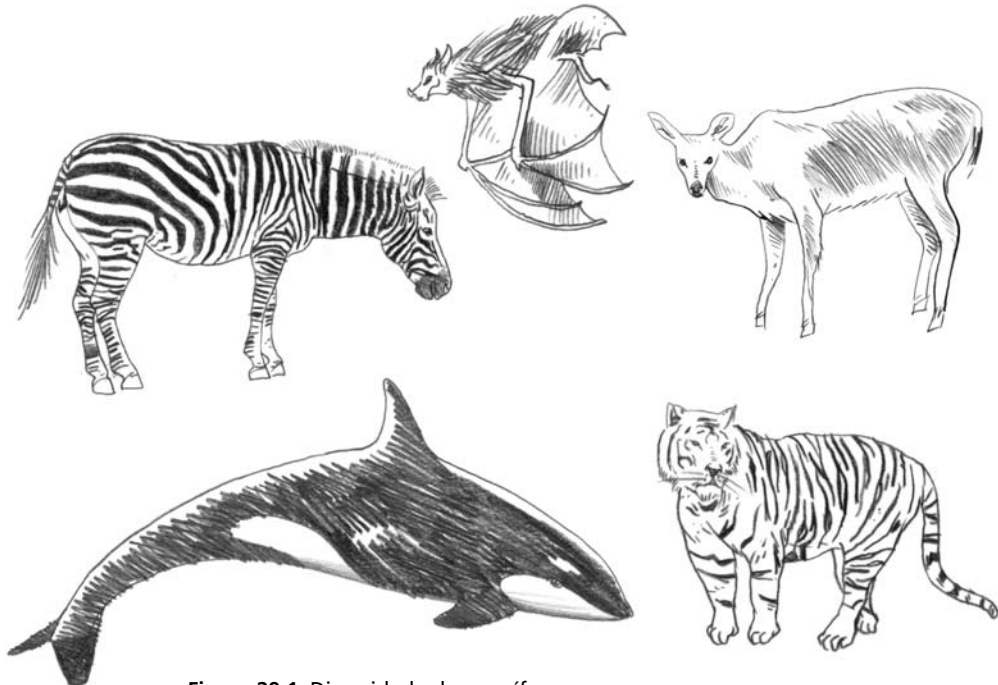


Figura 29.1: Diversidade de mamíferos.

Nosso planeta hoje deve, certamente, comportar mais de cinco mil espécies de mamíferos distribuídas por todos os continentes, abrangendo a ampla maioria de habitats terrestres e aquáticos. Uma apreciação dessa diversidade sob a perspectiva da variação de tamanho, permite a constatação, quase absurda, da existência de minúsculos insetívoros (musaranhos) com menos de 5 cm de comprimento e pesando apenas alguns poucos gramas e, no extremo oposto, elefantes africanos, que podem atingir até 7 toneladas (maior mamífero terrestre vivo), ou ainda as baleias-azul, que podem alcançar 31,5 m e 119 toneladas de peso (maior animal conhecido).

HIBERNAÇÃO

Alguns mamíferos, como os morcegos, as marmotas e os esquilos, entre vários outros, que habitam regiões de clima temperado com invernos rigorosos, apresentam a peculiar capacidade de “hibernação”. Normalmente, o coração bate inúmeras vezes por minuto nesses organismos. Entretanto, durante a hibernação, seu coração bate seis vezes por minuto. Além disso, o ritmo respiratório é muito lento. A temperatura do corpo diminui consideravelmente, ficando em torno de 5°C. Nesse período, o animal utiliza a gordura acumulada para obter energia para seu metabolismo. Ao contrário do que você pode estar pensando, os ursos não hibernam. Na verdade, eles ficam ativos, com o mesmo nível metabolismo, durante todo o inverno. No entanto, esses mamíferos levam o alimento para dentro do abrigo, onde eles dormem por praticamente todo o dia, acordando apenas para se alimentar. Esse tipo de rotina não caracteriza uma hibernação, pois a temperatura corpórea deles diminui muito pouco. Pois é, os ursos levam a vida que muitas vezes nós gostaríamos de ter que é poder dormir até mais tarde num dia frio de inverno, não é mesmo?

ORIGEM E TRANSFORMAÇÕES

Os mamíferos fazem parte de um grande grupo de Amniotas, conhecido como sinapsídeos. Você se lembra das aulas de répteis? Nela vimos que os répteis podem ser divididos de acordo com o número de fossas temporais em seu crânio. Os Synapsida são conhecidos popularmente como répteis mamaliformes, que se caracterizam pela presença de uma única fossa temporal.

A origem desses organismos ocorreu no final do Período Paleozóico (veja a aula sobre tempo geológico e fósseis).

Em primeiro lugar, observamos um aumento da compactação da osteologia craniana. Essa compactação permitiu maior firmeza e maior robustez do crânio desses animais. Predadores, que devem entrar em luta para conseguir seu alimento, e presas, que tentam escapar de predadores, necessitam de caixa craniana compacta para proteção. Mesmo o ser humano, quando bebê, tem um crânio pouco compacto. Por isso devemos ter tanto cuidado ao segurar os nenéns para evitar danos graves que podem acontecer durante a época em que nossos ossos ainda não estão compactados.

Na linhagem dos mamíferos, também aconteceu um aumento da complexidade do aparelho mastigatório. Essa complexidade pode ser associada a uma diferenciação funcional da arquitetura dentária. Você já reparou que seus dentes possuem formatos muito diferentes? Isso não é comum, sabia? Realmente, os jacarés possuem dentes bem parecidos entre si. A diferenciação dentária aconteceu na linhagem dos mamíferos. Por exemplo, nossos dentes da frente são fininhos e são adaptados para cortar alimentos. Já os dentes caninos são pontudos e servem para rasgar, enquanto os molares possuem uma superfície larga e conseguem moer os alimentos duros que ingerimos. Portanto, esse tipo de diferenciação na dentição permite um aumento das opções de alimentação.

Uma outra característica importante que aconteceu foi o aumento da massa encefálica dos mamíferos. Iremos estudar isso mais adiante, quando falaremos sobre primatas e humanos. Entretanto, podemos dizer que, além de aumentar a inteligência desses organismos, o aumento do cérebro também apurou os sentidos de nossos antepassados; o olfato, a visão, e a audição foram todos melhorados por esse evento. Além disso, aconteceu uma transformação de pequenos ossos da mandíbula em ossos do ouvido, o que permitiu uma maior sofisticação do aparelho auditivo. Essa sofisticação promoveu uma melhoria ainda maior da sensibilidade do ouvido desses animais.

DIVERSIDADE

A história evolutiva dos mamíferos recentes divide as quatro mil espécies em três grupos principais. Esses grupos são os monotremados, os marsupiais e os placentários. Os monotremados são mamíferos que ainda retêm **CARACTERÍSTICAS** bastante **PRIMITIVAS** como por exemplo a ausência de mamilos. Você sabia que alguns mamíferos põem ovos? Pois é, os mamíferos monotremados põem. A reprodução envolve a deposição de ovo em meio externo através de suas cloacas e da ausência de mamilos. Os marsupiais, como o próprio nome induz a compreensão, apresentam marsúpios (bolsas), nos quais os embriões recém-nascidos se fixam a mamilos. Finalmente, os placentários são caracterizados pela presença de uma placenta que permite um desenvolvimento intra-uterino até estágios bem mais avançados do que os observados entre os marsupiais.



CARACTERÍSTICAS PRIMITIVAS (OU PLESIOMORFIAS)

São aquelas presentes nos ancestrais do grupo.

Veja a Aula 17 para maiores detalhes.

Figura 29.2: O ornitorrinco, um dos únicos representantes atuais de monotremados, que vive na Austrália.

Os mamíferos possuem hábitos alimentares relacionados com o seu modo de vida: herbívoros, carnívoros, insetívoros ou **ONÍVOROS**. Depois de mastigados e insalivados na boca, os alimentos são engolidos e levados até o estômago. Ao passarem por várias transformações, seguem do estômago para o intestino delgado, onde os nutrientes passam para o sangue, através das paredes desse órgão. Assim, as substâncias nutritivas podem ser distribuídas pelo corpo do animal, como combustível para seu metabolismo. Os resíduos dos alimentos seguem para o intestino grosso, que absorve a água e forma as fezes, que são enviadas para o exterior do corpo pelo ânus.

ONÍVOROS

Mamíferos que se nutrem de todos os tipos de alimentos.

RUMINANTES

São os anteriormente chamados artiodactílos, que hoje fazem parte do grupo Cetartiodactyla. Os camelos, gado, antílopes, ovelhas, girafas, cabras e veados fazem parte desse grupo.

Como já mencionamos nas aulas sobre as aves, alguns mamíferos chamados **RUMINANTES** (camelos, gado, antílopes, ovelhas, girafas, cabras e veados) ingerem o alimento sem mastigá-lo. Esse alimento é acumulado num estômago anterior complexo, o rúmen, permitindo que alguns microorganismos simbiotes transformem a celulose em nutrientes digeríveis. Esse alimento retorna à boca, é mastigado e volta ao estômago. O estômago é dividido em quatro câmaras. Esses animais engolem o alimento parcialmente mastigado, que se dirige para a primeira câmara, chamada de rúmen, onde esse alimento é umedecido, misturando-se com os microorganismos que aí vivem. Do rúmen, esse alimento passa pelas outras câmaras do estômago, antes de seguir adiante para ser eliminado nas fezes.

A respiração dos mamíferos é sempre exclusivamente pulmonar. Isso acontece mesmo nos aquáticos, como as baleias e golfinhos. O sistema respiratório é formado pelos pulmões e pelas vias respiratórias (fossas nasais, faringe, laringe, traquéia e brônquios). Os movimentos de entrada do ar (inspiração) e saída (expiração) são controlados pelo diafragma, que é um músculo que separa o tórax do abdômen. Existem adaptações de partes do sistema respiratório como, por exemplo, nos mamíferos marinhos, que desenvolveram válvulas para fechar as narinas externas quando vão mergulhar.

O sistema circulatório é formado por um coração com quatro câmaras (dois aurículos e dois ventrículos). Nesse coração existem septos que separam completamente o sangue venoso (pobre em oxigênio) do sangue arterial (rico em oxigênio). O sangue sai dos pulmões pelas veias pulmonares. Daí, ele entra no coração pelo átrio esquerdo e depois passa para o ventrículo também esquerdo. Algumas adaptações importantes do sistema circulatório são encontradas nos mamíferos marinhos, como vimos, na Aula 5, o exemplo das focas. Nesses casos, a capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue é aumentada, a frequência cardíaca é reduzida e grande parte do sangue é desviada da pele, da musculatura do corpo e da região da cauda para assegurar um rico suprimento para o encéfalo e para o coração.

O sistema urinário dos mamíferos é formado por dois rins e pelas vias urinárias. Os rins são órgãos que funcionam como filtros, com a função de retirar os resíduos do sangue. Esses resíduos são armazenados na bexiga como urina. Uma questão interessante é que muitos mamíferos marcam seu território com urina. Se você possui um cachorro macho, provavelmente já viu como ele urina de pouco em pouco.

Isso ele faz para marcar seu território. A identificação de um cachorro por outro se dá através do odor da urina, que pode servir de aviso para que outros indivíduos fiquem longe do território delimitado.

Nos mamíferos, os sexos são separados, isto é, não existem mamíferos hermafroditas, com exceção de indivíduos mutantes. O dimorfismo sexual é acentuado nesses organismos. Os machos possuem órgãos de cópula (pênis) e testículos. A fecundação é interna com desenvolvimento direto. Na maioria das espécies, o embrião se desenvolve dentro da fêmea, unido ao organismo materno através da placenta, por onde respira, por onde se nutre e por onde lança os produtos da excreção. O tempo de gestação dos mamíferos é bastante variado, desde os elefantes com 20 meses até os lagomorfos (coelhos) com apenas 30 dias para desenvolver o embrião. No caso dos marsupiais, as fêmeas possuem uma bolsa no ventre (marsupio), onde os filhotes, que nascem num estágio praticamente embriônico, permanecem protegidos até completarem o seu desenvolvimento.

MAMÍFEROS BOTANDO OVO?

Os monotremados são os únicos mamíferos ovíparos. Estes possuem os ovários bem desenvolvidos em relação aos demais mamíferos e a vagina é dupla. Os óvulos são fecundados antes de sua entrada no útero. Em seguida, são recobertos por uma casca coriácea e mineralizada. Duas espécies de monotremados são vivas, o ornitorrinco e a equidna. O ornitorrinco põe dois ovos, que são incubados num ninho. As equidnas põem apenas um, que é transportado numa bolsa como a dos marsupiais. As fêmeas desse grupo não possuem mamilos e os filhotes se alimentam do leite que escorre pelos pêlos da mãe.

O cérebro dos mamíferos é dividido em dois hemisférios ligados, responsáveis por todas as atividades que o corpo pode fazer, desde respirar até andar. Uma parte do cérebro dos mamíferos se chama cerebelo. Este é o mais desenvolvido entre todos os vertebrados, e é o centro de controle dos movimentos e do equilíbrio.

O sistema nervoso central dos mamíferos é o cérebro, mas a medula espinhal está recoberta por três camadas protetoras ou meninges: a *pia-mater* (a mais interna e em contato direto com sistema nervoso), a segunda meninge ou *aracnóide*, e a mais externa, a *dura-mater*.

A *aracnóide* está separada da *pia-mater* por um espaço cheio de um líquido denominado *cérebro-espinhal*. A *dura-mater* está separada da aracnóide pelo espaço *subdural*, contendo uma pequena quantidade de líquido. A meningite é uma doença perigosa porque constitui justamente a inflamação das meninges, que são camadas em contato direto com o sistema nervoso.

Todos os mamíferos são dotados de cinco sentidos (visão, audição, olfação, gustação e tato). Entretanto, nem todos eles são igualmente desenvolvidos pelas espécies. Por exemplo, os morcegos vampiros (*Desmodus rotundus*) apresentam ainda um sexto sentido, relacionado à percepção de calor, eficiente para localizar as veias sanguíneas de suas presas.

Além dessas adaptações, uma das mais importantes, que permite aos mamíferos sobreviverem a diferentes condições climáticas, é a pele, também chamada de tegumento; funciona como um casaco em condições de baixas temperaturas ou como proteção.

A pele mole e fina é constituída pela epiderme queratinizada, pela derme e hipoderme com tecido adiposo. A pele dos mamíferos é caracterizada pela presença de pêlos e de várias glândulas (mamárias, sudoríparas, sebáceas e, em algumas espécies, odoríferas). As glândulas mamárias fornecem leite para alimentação dos filhotes; as sebáceas secretam substâncias que lubrificam os pêlos; as sudoríparas e os pêlos auxiliam na termorregulação ou homeotermia.

Algumas espécies terrestres de locomoção rápida têm grossas almofadas córneas nos pés. O pêlo e várias estruturas córneas são produzidos pela pele. Outros grupos têm especializações conforme seu habitat. Por exemplo, baleias e focas apresentam uma grossa camada de gordura subcutânea que isola o corpo contra perda de calor na água. A presença de um revestimento externo de pêlos, associado a numerosas glândulas cutâneas, forneceu aos mamíferos distintas vantagens em relação aos répteis. O pêlo isola contra o calor e o frio, ajudando a manter uma temperatura interna constante, o que possibilitou que os mamíferos penetrassem em muitos habitats.



Figura 29.3: Alguns morcegos possuem um sexto sentido, com o qual eles conseguem perceber o calor emitido pelo sangue de outros animais homeotérmicos.

RESUMO

Características exclusivas dos mamíferos são glândulas mamárias, placenta, pêlos e um sistema nervoso central sofisticado. Existem hoje mais de cinco mil espécies de mamíferos, distribuídas por todos os continentes. Os mamíferos fazem parte dos sinapsídeos. Na evolução da linhagem dos mamíferos, observamos um aumento da compactação da osteologia craniana, o que permitiu uma maior firmeza do crânio desses animais, além de um aumento da complexidade do aparelho mastigatório associado a uma diferenciação funcional da arquitetura dentária. Uma outra característica importante que aconteceu nessa linhagem foi o aumento da massa encefálica desses animais. Além de aumentar a inteligência desses organismos, o aumento do cérebro também apurou os sentidos de nossos antepassados; o olfato, a visão, a audição foram todos melhorados por esse evento. A história evolutiva dos mamíferos recentes divide as quatro mil espécies em três grupos principais. Esses grupos são os monotremados, os marsupiais e os placentários. Os mamíferos possuem hábitos alimentares relacionados com o seu modo de vida: herbívoros, carnívoros, insetívoros ou onívoros. A respiração dos mamíferos é sempre pulmonar, mesmo nas baleias e golfinhos. O sistema urinário é formado por dois rins e pelas vias urinárias. O sistema circulatório é formado por um coração com quatro câmaras e com septos que separam completamente o sangue venoso do sangue arterial. Além dessas adaptações, uma das mais importantes que permitem aos mamíferos sobreviverem a diferentes condições climáticas é a pele. A pele, também chamada de tegumento, funciona como um casaco em condições de baixas temperaturas, ou como proteção.

EXERCÍCIOS

1. Quais são as principais características dos mamíferos?
2. Em que grupo de répteis estão os ancestrais dos mamíferos?
3. Que tipo de adaptações permitiram aos mamíferos habitar lugares inóspitos?
4. Como é o sistema respiratório das baleias?

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Refletir sobre os grandes primatas e a origem da linhagem humana.

Pré-requisitos

Aulas 3, 4, 14, 17, 18 e 29.

INTRODUÇÃO

Finalmente chegamos ao último assunto do nosso curso: a evolução da espécie humana. De onde viemos? Quando viemos? Naturalmente, não é nosso objetivo aqui abordar filosoficamente essas questões. Para esse tipo de abordagem sugerimos cursos de Filosofia. Entretanto, a história humana faz parte da história de todos os seres vivos. Assim, iremos refletir sobre história da linhagem humana, explicando a origem da nossa espécie.

Para explicar a origem dela, temos que saber, em primeiro lugar, o que nos diferencia das demais espécies do planeta. Tradicionalmente, os **ANTROPÓLOGOS** reconhecem alguns passos fundamentais na evolução dessa linhagem: 1) a terrestrialidade, mudança da vida nas árvores para vida no chão; 2) o bipedalismo, mudança do hábito quadrúpede para o bipedal; 3) a encefalização, aumento da inteligência; e 4) a cultura e a sociedade. Os três primeiros passos serão abordados nessas duas primeiras aulas, enquanto a última aula do nosso curso será dedicada às consequências da encefalização, ou seja, à cultura e à civilização.

Poderíamos pensar que como parte de nossa história foi registrada em livros, cadernos e outros materiais, esta parte da matéria seria mais facilmente recontada. Entretanto, vemos que não é bem assim por alguns motivos. Em primeiro lugar, a história registrada data de apenas seis mil anos, que é a idade dos mais antigos papiros com os primeiros sinais de linguagem escrita da humanidade. Nossa história, desde que a linhagem se separou da dos chimpanzés, data de seis milhões de anos, consignando que a maior parte de nossa história foi muito pouco registrada em relação a qualquer outro organismo na Terra.

Em segundo lugar, o número de evidências é pequeno. Alguns pesquisadores se lamentam, dizendo que os antropólogos que estudam os fósseis da linhagem humana são mais numerosos do que os fósseis que eles estudam! Realmente, os humanos não fossilizam bem, mas o principal problema é que os primatas que deram origem aos humanos viviam em florestas. Como vimos na aula 17, a fossilização nesses locais é muito rara. Entretanto, como passamos muito tempo estudando nossos ancestrais, sabemos bastante coisa sobre eles. Cerca de 12 espécies de ancestrais humanos já foram descritas. Essa lista, entretanto, é controversa porque diferentes pesquisadores reconhecem diferentes espécies como unidades evolutivas distintas. Iremos estudar nessas três aulas do curso apenas as principais delas.

ANTROPÓLOGOS

São os cientistas que estudam os humanos – nossos hábitos, nossa anatomia etc.

O "SER HUMANO"

Já vimos que, para tecer relações filogenéticas entre grupos de espécies ou entre espécies, devemos distinguir o que separa uma espécie da outra. No caso de humanos, sabemos que nossos parentes mais próximos são os chimpanzés. Na realidade, compartilhamos mais de 99% do nosso material genético com eles! Ou seja, tudo que nós temos de diferente desses organismos cabe em menos de 1% do nosso DNA. A essas características chamamos de auto-apomorfias dos humanos. Você lembra da sinapormofia da Aula 17, onde uma característica define um grupo de espécies? Pois é, uma auto-apomorfia é o que diferencia uma espécie de todas as outras. Pense um pouco sobre as diferenças que temos com os outros grandes primatas. A característica mais conspícua é a ausência de pêlos em nossa espécie. Nossos antepassados mais recentes, como o chimpanzé e o gorila, possuem pêlos cobrindo todo seu corpo. Assim, a ausência de pêlos é uma das características que nos define como seres humanos. Outras características dos humanos são o suor e a gordura localizada sob a pele. Essa gordura é chamada subcutânea e é a causa da maior parte das dietas que fazemos para emagrecer! Além dessas, o hábito bípedal e a habilidade de falar de maneira complexa também são características dos humanos.

GRANDES PRIMATAS FÓSSEIS

Os primatas se dividem em dois grandes grupos. O primeiro é chamado de primatas do Novo Mundo, que formam a Infraordem Platyrrhini. Todos os macacos que habitam as Américas estão incluídos nesse grupo. Por exemplo, micos, macaco-prego, bugio, macaco-aranha etc. O segundo grupo são os chamados primatas do Velho Mundo. Esses animais formam a Infraordem Catarrhini, que agrupa todos os macacos habitantes da África e da Ásia.

Dentro desse segundo grupo estão incluídos os hominóides, ou macacos sem rabo, que constituem as nossas melhores chaves para a compreensão da evolução humana. As espécies desse grupo vivas hoje em dia são: o chimpanzé, o bonobo, o orangotango, o gorila, o gibão e o ser humano.

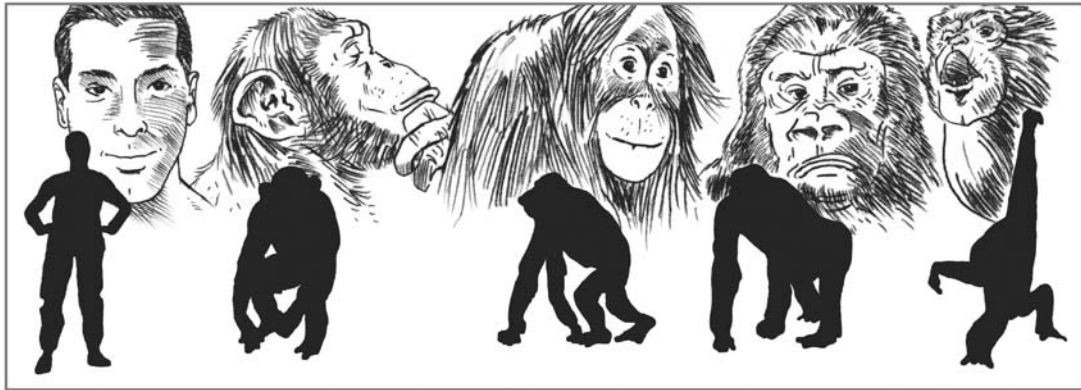


Figura 30.1: Diversidade dos hominídeos: um humano, um chimpanzé, um orangotango, um gorila e o gibão.

PROCONSUL AFRICANUS

Lembre-se de que o nome da espécie pode indicar a sua origem.

A maior parte dos registros de ancestrais primatas de humanos é encontrada na África. Um dos primeiros registros fósseis não foge a essa regra. É o macaco **PROCONSUL AFRICANUS** que viveu há cerca de 26 milhões de anos. Mais recentemente, um outro macaco *Aegyptopithecus* foi encontrado e teria vivido ainda há mais tempo, cerca de 30 milhões de anos. Entretanto, infelizmente, sabemos muito pouco sobre esse animal, pois apenas alguns fragmentos dele são conhecidos. Assim, iremos enfocar o que sabemos do *Proconsul*.

Em termos anatômicos, o *Proconsul* apresenta características particulares. Ombros, cotovelos e pés se assemelham àqueles de hominídeos modernos, bem como o fato de não possuir cauda. Por outro lado, a cintura e o tórax se assemelham às características de macacos com rabo. Essas características mescladas, provavelmente, refletem o jeito de viver do *Proconsul* – uma combinação de corrida em quatro patas e subida em galhos de árvores. Porém, ele não apresentava nenhuma evidência no andar em duas patas, ou seja, que tinha hábito quadrúpede e arbóreo.

Na realidade, o registro fóssil pode nos mostrar não apenas hábitos de vida do organismo, mas também hábitos alimentares. Nesse caso, os dentes são as peças mais importantes para compreensão da alimentação das espécies. Além disso, essas estruturas são as que melhor são preservadas no registro fóssil. O procedimento é comparar padrões de dentição entre o fóssil de que não conhecemos o hábito alimentar com outros padrões de organismos que conhecemos, como os primatas vivos.

Assim, notamos que o *Proconsul* apresenta dentes molares com superfície aumentada e alargamento dos incisivos. Essas características são hoje encontradas em primatas que se alimentam de frutas, indicando que o *Proconsul* era frugívoro.

Mas há 18 milhões de anos o continente africano **colidiu** com a Europa, e a partir desse momento podemos encontrar fósseis de grandes macacos na Eurásia. Depois disso, o registro fóssil é extremamente parco na documentação da evolução dos grandes macacos. A linhagem asiática é conhecida no registro fóssil apenas pelo *Sivapithecus*, o mais antigo primata hominóide encontrado fora da África. Os espécimens de *Sivapithecus* encontrados viveram entre 13 e 8 milhões de anos atrás, no Paquistão, na Índia, no Nepal e, possivelmente, na Turquia. Esse gênero apresenta características semelhantes às do orangotango, que habita florestas asiáticas hoje em dia.

A tectônica de placas estuda a movimentação das placas continentais. Ver mais sobre tectônica de placas na apostila da disciplina Dinâmica da Terra.

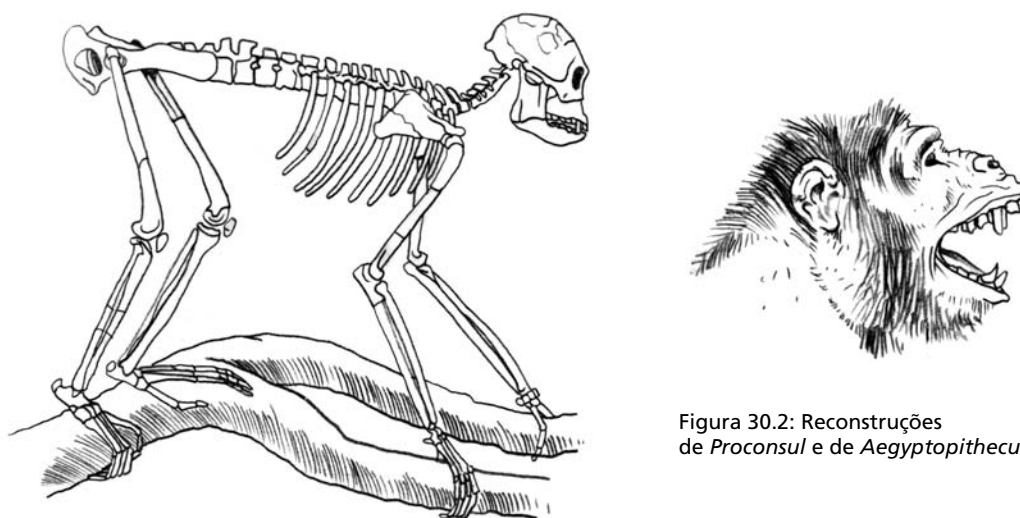
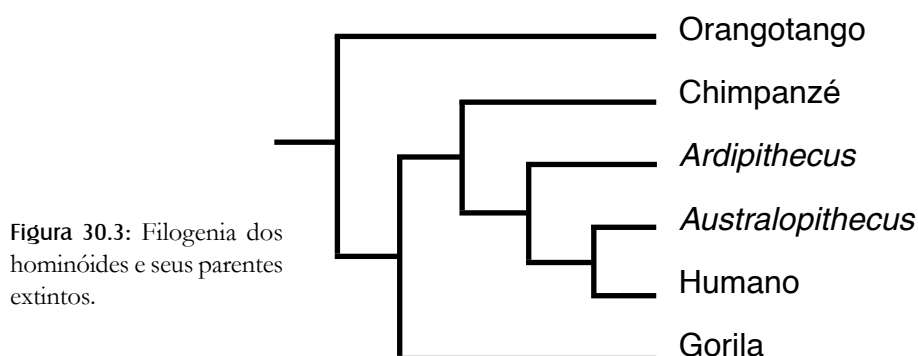


Figura 30.2: Reconstruções de *Proconsul* e de *Aegyptopithecus*.

Dados moleculares e morfológicos indicam que os primeiros hominóides a divergirem foram os gibões e os orangotangos que hoje habitam a Ásia. Com base em dados moleculares, também podemos concluir que humanos e chimpanzés são mais próximos filogeneticamente do que qualquer um deles em relação ao gorila.

Portanto, para melhor entendermos o que aconteceu na linhagem humana, devemos relacionar humanos e chimpanzés, numa análise comparada como a que viemos fazendo durante todo o curso.



Os chimpanzés vivem em árvores. Naturalmente, como em qualquer evento de especiação, assim que nossa linhagem humana se separou da dos chimpanzés, ela passou a evoluir independentemente. Na realidade, desde a origem da vida, há cerca de seis milhões de anos, pela primeira vez nossa espécie passou a viver isoladamente de todas as outras espécies vivas atuais. Você se lembra das bactérias que habitam nosso planeta desde 3,6 bilhões de anos? Pois é, repare como a nossa linhagem é uma “criança” perto da linhagem das bactérias. Entretanto, durante esse pequeno período de seis milhões de anos de evolução independente, adquirimos algumas adaptações que nos aproximam um dos outros e que nos tornam humanos.

TERRESTRIALIDADE

O primeiro grande passo que transformou a vida de nossos ancestrais foi a descida das árvores. O hábito terrestre surgiu na nossa linhagem em contraponto ao hábito arbóreo de nossos antepassados. Vocês podem imaginar que a vida nas copas das árvores era um pouco restritiva. Podemos para isso fazer uma analogia com nossas cidades. Imaginem que todo movimento dentro de uma cidade só possa ser feito passando de um prédio para o outro pelo seu último andar. Nesse caso, por exemplo, não poderíamos ir a São Paulo ou mesmo do Rio a Niterói. Isso limitaria bastante nossas possibilidades do cotidiano, já que nos tornaria dependentes de nossa própria cidade para tudo.

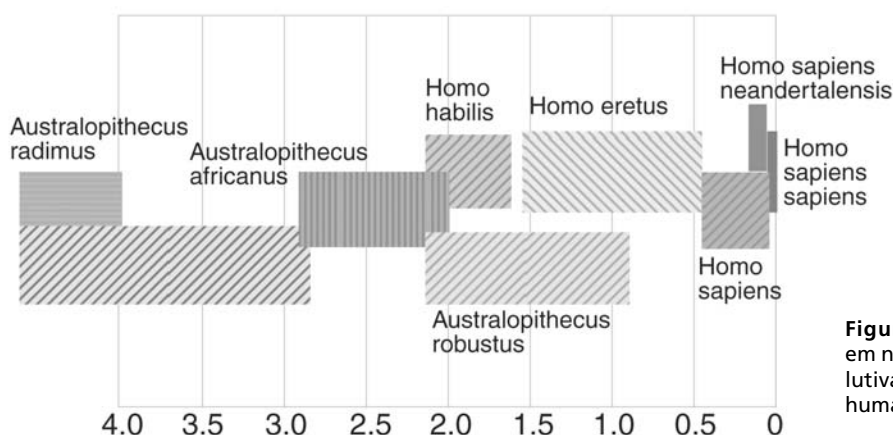


Figura 30.4: Marcos em nossa história evolutiva exclusivamente humana.

A situação se agrava nos primórdios da humanidade, porque naquela época as florestas eram muito mais restritivas do que as cidades hoje em dia, pois suas bordas eram delimitadas pelo clima da época e não pela expansão natural que encontramos nas cidades modernas. Além disso, se as florestas ocupadas pelos nossos ancestrais passassem por períodos de seca e de retração da área, e caso essas retrações acontecessem de maneira constante, a situação se tornaria crítica.

Então imagine você vivendo em florestas que funcionavam como ilhas cercadas por planícies sem qualquer árvore. Quando, em períodos de chuva, a floresta se expandia, a população poderia também se expandir, pois aumentava a disponibilidade de abrigo e de alimento. Entretanto, quando havia seca, a floresta se retraía e a população não tinha mais onde se esconder ou de que se alimentar. Portanto, durante esses períodos de retração das florestas africanas, nossos ancestrais provavelmente passaram por maus bocados, devido à escassez de comida e de habitat. Além disso, quando, eventualmente, tentavam cruzar essas planícies para atingir outras “ilhas de florestas” com comida, esse cruzamento não poderia ser feito obviamente pelas copas das árvores, mas teria que ser feito pelo chão em quatro patas. Você já tentou engatinhar durante algum tempo? Note que esse tipo de andar cansa muito mais, o que também limitava nossos antepassados em relação à distância que eles poderiam percorrer. Um outro problema é que a travessia os tornava muito vulneráveis aos “caçadores da época”. Realmente, nessa época éramos a iguaria predileta dos grandes felinos. Não é raro encontrarmos fósseis de ancestrais humanos com marcas de dentes ou unhas em seus ossos, indicando claramente que a morte ocorreu devido ao ataque de felinos. Portanto, você deve estar começando a entender a vantagem de andar no chão e de ser bípedal.

VISÃO ESTEREOSCÓPICA

Os humanos compartilham com outros primatas a habilidade de ver em três dimensões. Esse tipo de percepção de profundidade só é possível pelo posicionamento dos nossos olhos na frente da cabeça. Nosso cérebro é capaz de processar as diferenças sutis entre o que o olho direito e o olho esquerdo vêem, e percebemos essas diferenças como profundidade espacial. Por exemplo, se você tampar um de seus olhos por um tempo, você terá dificuldades em perceber o que está na frente e o que está atrás. Essa habilidade seria necessária para os animais que vivem em árvores. Animais herbívoros, como o cavalo, possuem olhos do lado de suas cabeças. Esses animais são adaptados não para visão estereoscópica, mas para conseguir ver o predador se aproximando por trás.

BIPEDALISMO

Se você já foi a um circo e viu um chimpanzé andando com as duas patas de trás, você deve ter se perguntado: como o bipedalismo surgiu na linhagem humana se os chimpanzés também andam com duas patas? Realmente, os chimpanzés são capazes de andar com duas patas hoje em dia. No entanto, como vamos ver agora, o bipedalismo dos chimpanzés é bem diferente do humano. Para começar, o chimpanzé não é bipedal, ele simplesmente **pode** andar com duas patas. Entretanto, esse modo de andar custa a eles uma enorme quantidade de energia, muito maior do que a que gastamos para andar exatamente a mesma distância.

Mas como surgiu o bipedalismo que o torna diferente daquele praticado por chimpanzés modernos? Por exemplo, se colocarmos o fêmur de um chimpanzé de pé numa mesa, podemos notar que ele forma um ângulo de 90° com a mesa. Porém, se colocarmos o fêmur humano nessa mesma mesa vamos notar uma inclinação. O que isso significa? Lembre-se de que o fêmur é o osso que conecta o quadril ao joelho. Essa angulação do nosso fêmur irá acarretar o fato de que nossos joelhos estão muito mais próximos entre si do que as extremidades do nosso quadril. Ou seja, a distância do fêmur em cima é muito maior do que a da sua base.

Se você ainda não reparou, alugue o filme *Planeta dos Macacos* e observe como os chimpanzés do filme andam. A cada passo eles deslocam o centro de gravidade para cima do pé que se encontra no chão; como os dois pés estão separados longitudinalmente, eles se movem rebolando muito.

Ou seja, se eles não deslocarem o centro de gravidade para cima do pé, eles caem. Por termos a angulação do fêmur quando andamos, o centro de gravidade está sempre no mesmo local, portanto, não há necessidade de deslocá-lo a cada passo. Mas quando ocorreu essa mudança?

LUCY

Em 1974, um grupo de arqueólogos descobriu um esqueleto de um homínídeo chamado de *Australopithecus afarensis*, com 3,2 milhões de anos, em Hadar, num local que hoje conhecemos como Etiópia. Apesar de sua importância, Lucy não era bonita para nossos padrões de beleza. Era uma mulher baixinha, de apenas 1,05 metro, atarracada e com **abdômen grande**. O nome Lucy veio em homenagem àquela linda música do grupo de rock dos anos 60, os Beatles, *Lucy in the Sky with Diamonds*. No dia em que acharam esse fóssil, muito importante pelo fato de ele ser o mais completo fóssil de homínídeo daquela época, eles estavam comemorando à noite no acampamento quando tocou a música. Então, os pesquisadores resolveram denominar esse fóssil de Lucy. Entre os especialistas, Lucy é mais conhecida como *Australopithecus afarensis*.

Lembre-se da Aula 28, na qual vimos que o intestino da vegetariana avestruz é 20 vezes o tamanho de seu corpo em comprimento.

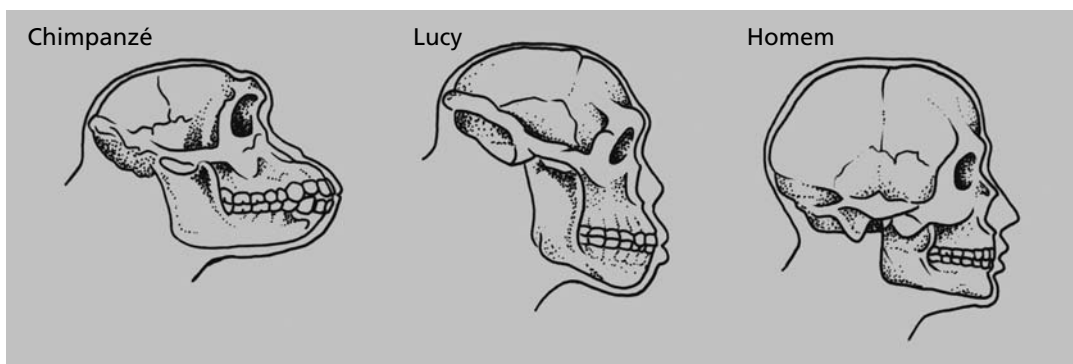


Figura 30.5: Comparação de crânio da Lucy e do ser humano. Repare como nos chimpanzés a mandíbula é estendida, seus dentes caninos são desenvolvidos e não possuem queixo. A Lucy apresenta características intermediárias entre o chimpanzé e o humano.



Figura 30.6: O que realmente conhecemos da Lucy são esses fragmentos de seu esqueleto.

Na verdade, o que conhecemos de Lucy é o que está demonstrado na **Figura 30.6**, que é aproximadamente 40% de seu esqueleto. Recentemente, alguns autores sugeriram que o abdômen de Lucy é muito pequeno para conseguir carregar um bebê e que, portanto, Lucy seria um homem. Entretanto, essa teoria ainda não possui outras evidências que a suportem e a maior parte dos pesquisadores continua achando que Lucy é uma representante de nossos ancestrais.

Por exemplo, podemos saber que Lucy era vegetariana como nossos ancestrais pelos padrões de desgaste de seus dentes. Como já vimos com aves, fazemos uma análise com técnicas avançadas de microscopia de dentes de animais que comem frutas, raízes, carne, folhas e comparamos esses padrões com os da Lucy, que indicaram que o *Australopithecus afarensis* era vegetariano. Logo em seguida à descoberta de Lucy, outros esqueletos parecidos foram encontrados e alocados dentro dessa mesma espécie. Mais importante do que isso, com esses novos esqueletos foram encontradas também pegadas que indicavam cabalmente que essa espécie tinha um hábito, pelo menos ocasional, de andar sobre duas pernas. Entretanto, que tipo de andar era o dela, mais parecido com o do chimpanzé ou mais parecido com o nosso? Veja na figura o ângulo do fêmur da Lucy, o do chimpanzé e o da Lucy no centro. Repare como a angulação da Lucy é parecida com a nossa, já indicando alguma adaptação ao hábito bipedal.

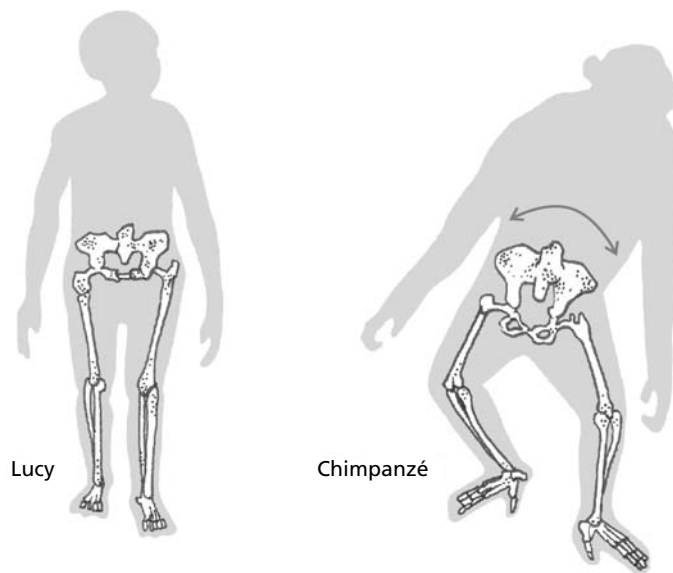


Figura 30.7: O andar bipedal da Lucy e do chimpanzé.

No entanto, assim como o chimpanzé, Lucy não conseguia travar o joelho como a gente faz. Tente andar com os joelhos flexionados, e imaginem termos que andar sempre assim. Note que o esforço é infinitamente maior do que se andarmos normalmente. Essa ambigüidade na sua anatomia indica que a Lucy possuía características intermediárias entre o hábito de vida arbóreo e o bipedal. Realmente, se comparamos a anatomia dessas três espécies vemos que Lucy apresenta ainda muita mobilidade no pulso e no calcanhar, pés curvos e braços longos típicos de hábito arbóreo. Mas o que levou Lucy a andar em dois pés? Algumas vantagens já foram mencionadas, como mobilidade que permitia a ela andar maiores distâncias com maior velocidade e menor dispêndio de energia. Uma outra grande vantagem era livrar as mãos para carregar comida, para estocá-la ou para alimentar filhotes; outra vantagem ainda era conseguir evitar predadores enxergando-os mais longe por estar mais alto.



Figura 30.8: Comparação do fêmur do chimpanzé, da Lucy e do humano. Note a angulação mencionada no texto do local de encaixe do fêmur no quadril nos hominídeos.

RESUMO

Para explicar a origem da espécie humana, temos que saber o que nos diferencia das demais espécies do planeta. Tradicionalmente, os antropólogos reconhecem alguns passos fundamentais na evolução dessa linhagem: 1) a terrestrialidade, a mudança de vida nas árvores para vida no chão; 2) o bipedalismo, a mudança do hábito quadrúpede para o bipedal; 3) a encefalização, o aumento da inteligência; e 4) a cultura e a sociedade. O primeiro grande passo que transformou a vida de nossos ancestrais foi a descida das árvores. Quando, em períodos de chuva, a floresta se expandia, a população poderia também se expandir, pois aumentava a disponibilidade de abrigo e de alimento. Entretanto, quando havia seca, a floresta se retraía e a população não tinha mais onde se esconder ou de que se alimentar. O chimpanzé não é um organismo bipedal, ele simplesmente pode andar com duas patas. Entretanto, esse modo de andar custa a ele uma enorme quantidade de energia. Um grupo de arqueólogos descobriu um esqueleto de hominídeo chamado *Australopithecus afarensis* com 3,2 milhões de anos. Era de uma mulher baixinha de apenas 1,05 metro, atarracada e com abdômen grande. No chimpanzé, a mandíbula é estendida, seus dentes caninos são desenvolvidos e não possuem queixo. A Lucy apresenta características intermediárias entre o chimpanzé e o humano. Por exemplo, assim como os chimpanzés, Lucy era vegetariana. Além disso, ela não conseguia travar o joelho, aumentando a energia gasta no andar. Essa ambigüidade na sua anatomia indica que a Lucy possuía características intermediárias entre o hábito de vida arbóreo e o bipedal. Lucy apresenta ainda muita mobilidade no pulso e no calcanhar, pés curvos e braços longos, típicos de hábito arbóreo. Algumas vantagens do hábito bipedal são 1) andar maiores distâncias com maior velocidade; 2) menor dispêndio de energia ao andar; 3) livrar as mãos para carregar comida, visando a estocá-la ou para alimentar filhotes e 4) conseguir evitar predadores enxergando-os mais longe por estar mais alto.

EXERCÍCIOS

1. Por que para estudar os humanos precisamos compará-los com os chimpanzés?
2. Que tipo de diferenças você pode perceber na comparação de um chimpanzé e um humano?
3. Que evidências você pode ressaltar para justificar o fato de que Lucy já tinha uma tendência ao hábito bipedal?
4. Que tipo de pressões ambientais podem ter influenciado a evolução do hábito bipedal?

Evolução humana I

AULA 31

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Apresentar a importância da encefalização para evolução da espécie humana.

Pré-requisitos

Aulas 3, 4, 14, 17, 18, 29 e 30.

ENCEFALIZAÇÃO

Na última aula, vimos que o bipedalismo estava se tornando um hábito para nossos antepassados. Naquela época, uma outra transformação estava acontecendo na linhagem humana que iria mudar para sempre o destino dessa espécie: o homem estava ficando mais inteligente. A medida de inteligência é inferida por duas linhas de evidências na evolução da espécie humana: a primeira é a capacidade craniana e a segunda, que abordaremos mais adiante, é o estudo de nossas realizações que são consequência do uso de um cérebro mais desenvolvido. Esta aula tentará explicar um pouco da evolução da inteligência.

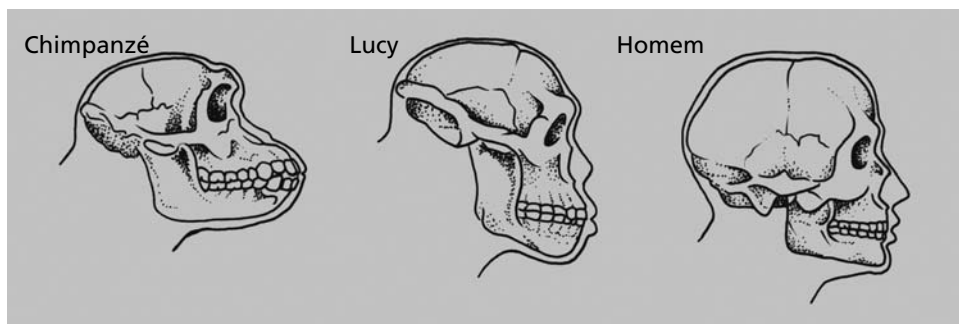


Figura 31.1: Comparação da capacidade craniana do chimpanzé, da Lucy e do ser humano. A Lucy apresenta capacidade craniana intermediária entre o chimpanzé e o humano.

A capacidade craniana da Lucy, comparada ao tamanho do corpo (taxa de encefalização), é ligeiramente maior do que a dos chimpanzés e dos gorilas. Lucy, que viveu há apenas três milhões de anos, tinha em torno de 400 cm^3 de capacidade, enquanto no ser humano a média é de 1350 cm^3 . Esse aumento tão rápido da capacidade craniana sugere uma forte pressão daquele mecanismo de seleção natural que mencionamos no início do curso. O aumento da inteligência tem como importante consequência o aumento das possibilidades. Animais mais inteligentes podem fazer mais com menos condições, aumentando as possibilidades de sobrevivência mesmo em condições adversas.

QUANTO ÚNICOS NÓS SOMOS?

Quando contemplamos as habilidades e os feitos extraordinários dos humanos, ficamos geralmente muito impressionados com nossa inteligência. Refletimos sobre o quanto especiais somos devido a essa habilidade intelectual diferenciada. Será que realmente somos únicos nesse sentido? Realmente, muitas hipóteses foram propostas para explicar o que nos faz únicos na natureza. Nossa inteligência nos torna responsáveis por sonhos lindos, como uma sinfonia, e por pesadelos tristes, como uma guerra. Entretanto, a maior parte das explicações da origem de nosso caráter especial foi descartada depois que algo similar foi encontrado em outros animais. Por exemplo, uso e manipulação de ferramentas, inovação, jogos, comércio, moral, tradição, entre outros já foram descritos em outras espécies. Você já pensou que se esse curso tivesse sido escrito por um dinossauro, ele também teria terminado de escrever as aulas com um capítulo sobre sua espécie, enfatizando as características que os tornam tão especiais?

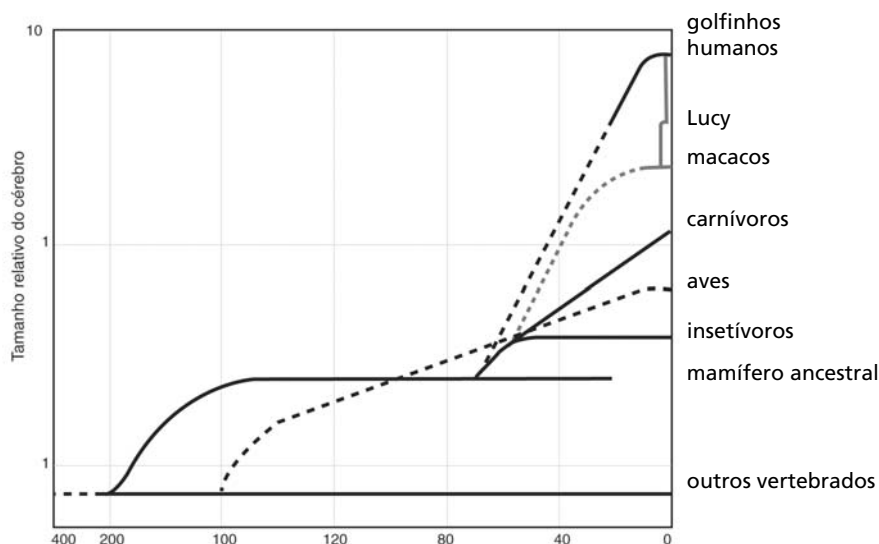


Figura 31.2: Aumento da capacidade craniana relativa em várias espécies de mamíferos ao longo do tempo. Repare como o da linhagem humana teve um aumento considerável em pouco tempo.

O mais impressionante é que não temos evidências de que esse aumento surgiu em nenhum outro mamífero durante esse período. Os mamíferos já possuem uma capacidade craniana cerca de 10 vezes maior que a dos répteis e dos anfíbios, enquanto os primatas e cetáceos possuem as maiores capacidades entre os mamíferos. Mais ainda: a capacidade craniana da espécie humana e de seus ancestrais, depois da separação da linhagem do chimpanzé, é a única a sair da linha geral dos grandes primatas.

Como isso aconteceu? O cérebro é um órgão muito caro de se manter. Cada unidade de tecido do cérebro requer 22 vezes mais energia para se manter funcionando do que uma unidade equivalente de tecido muscular. Apesar de a massa craniana representar apenas 2% da massa total de nosso corpo, o cérebro despende 18% da energia que produzimos. Como é que essa energia foi alocada para o nosso cérebro ao longo da nossa evolução? Algumas hipóteses foram lançadas para explicar como isso aconteceu. Um delas indica que o aumento da massa encefálica foi balanceado por uma diminuição de outra massa cara energeticamente, o aparelho digestivo, como mostra a **Figura 31.3**. O aumento da inteligência, aliado à descida nas árvores (terrestrialidade), foi tornando o ser humano mais carnívoro e capaz de caçar. Esses fatos introduziram uma quantidade de energia muito maior do que aquela conseguida com dietas vegetarianas e, assim, permitiram a redução do tamanho do aparelho digestivo.

A FRENOLOGIA

Por volta de 1700, alguns cientistas afirmavam que o estudo do cérebro levava a informações sobre o caráter e a condição psicológica das pessoas. Esses cientistas eram os frenologistas, e a frenologia era a ciência que estudava o cérebro. Suas idéias estavam baseadas em alguns pressupostos: 1) o cérebro é o órgão da mente; 2) a mente é composta de faculdades inatas diferentes; 3) por serem diferentes, essas faculdades devem ser geradas por setores também diferentes do cérebro; 4) o tamanho de um órgão é uma medida de seu poder; 5) a forma do órgão é determinada pelo desenvolvimento de vários órgãos; 6) como o crânio tem sua forma ditada pelo formato do cérebro, a superfície do crânio pode ser interpretada como um índice das tendências e aptidões psicológicas das pessoas. Assim, os frenologistas acreditavam que, pelo exame do crânio, eles poderiam identificar os criminosos, os benevolentes, os inteligentes etc. Entretanto, como muitas ciências populares, os frenologistas buscavam não entender os processos, mas sim confirmar suas hipóteses, ignorando evidências contrárias a elas. Por exemplo, para os frenologistas os homens são mais inteligentes do que as mulheres. Então, eles começaram a medir crânios dos dois sexos por partes. Uma primeira hipótese dizia que a região frontal do cérebro era a região da inteligência, ou seja, uma pessoa que tivesse essa região maior era mais inteligente do que uma com essa região menor. Quando o primeiro resultado mostrou que os homens tinham essa região maior, os frenologistas, contentes, se puseram a justificar o porquê da opressão às mulheres.

Então, eles começaram a medir crânios dos dois sexos por partes. Uma primeira hipótese dizia que a região frontal do cérebro era a região da inteligência, ou seja, uma pessoa que tivesse essa região maior era mais inteligente do que uma com essa região menor. Quando o primeiro resultado mostrou que os homens tinham essa região maior, os frenologistas, contentes, se

puseram a justificar o porquê da opressão às mulheres. Entretanto, e quando isso acontecia porque o cérebro das mulheres era maior? Então, eles se puseram a medir de novo, corrigindo o tamanho do cérebro. Nesse caso, o que importava era a razão entre o tamanho da frente do cérebro sobre o tamanho do cérebro. Quando, dessa vez, viram que o das mulheres era maior, eles concluíram que a região lateral do cérebro é que acarretava a inteligência, pois a dos homens era maior!

O aumento de nosso cérebro distorceu algumas regras básicas dos primatas. Por exemplo, apesar das semelhanças no tempo de gestação e no tamanho de corpo entre humanos e grandes macacos, o tamanho do cérebro em humanos recém-nascidos é o dobro dos chimpanzés recém-nascidos. Isso significa que mesmo antes do nascimento, o crescimento exponencial ainda é maior nos humanos, como mostra o gráfico, ou seja, as mães humanas devotam mais energia para o cérebro de seus bebês durante a gestação do que os grandes macacos.

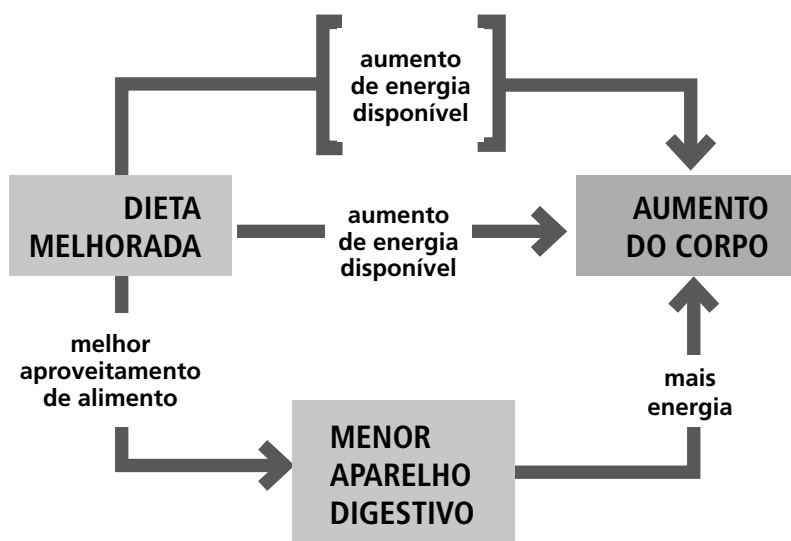


Figura 31.3: A importância da encefalização.

Num outro exemplo, o cérebro dos chimpanzés adultos é 2,3 vezes maior do que o dos recém-nascidos, enquanto na espécie humana essa proporção é de 3,5 vezes. Nos grandes macacos, o cérebro aumenta exponencialmente de tamanho até o nascimento e depois sofre uma desaceleração. No entanto, essa primeira fase de crescimento exponencial em humanos é estendida até o primeiro ano de vida, o equivalente a um período de gestação de 21 meses, sendo nove no útero e 12 fora dele, diminuindo o problema de dar à luz uma criança com uma cabeça muito grande.

Esse período de gestação “fora” do útero acarreta uma maior vulnerabilidade dos recém-nascidos humanos quando comparados aos macaquinhos. Com o cérebro gastando tanta energia, os pais tiveram que se desdobrar para conseguir comida enquanto os filhotes não podiam fazer nada a não ser ingerir comida para alimentar a expansão cerebral. Ou seja, quase toda a energia consumida pelos recém-nascidos é destinada ao aumento do cérebro.

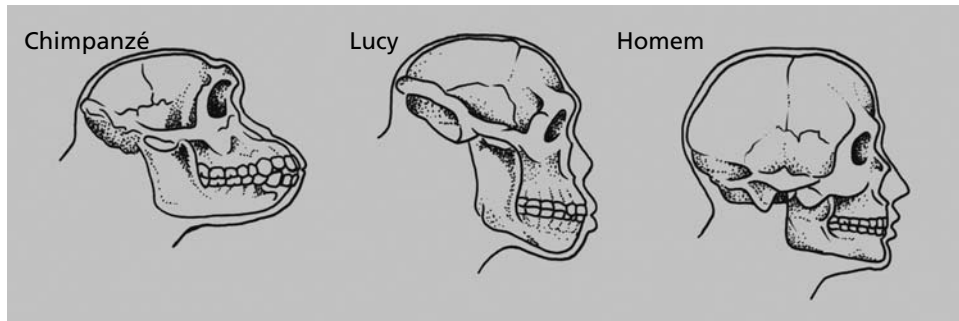


Figura 31.4: Aumento do volume craniano dos chimpanzés e dos humanos desde a fecundação.

NEOTENIA

É a retenção das características infantis no indivíduo adulto.

Alguns autores acreditam que a espécie humana é caracterizada por uma **NEOTENIA**. Realmente nossas feições não se modificam muito ao longo de nossa vida. Pelo menos, não como a dos outros primatas. Nosso padrão de desenvolvimento retardado é relacionado a essa retenção de características juvenis na fase adulta. Por exemplo, os chimpanzés se tornam maturos sexualmente com cinco anos, enquanto os humanos amadurecem com 12 a 14 anos. Esse desenvolvimento retardado poderia ser relacionado ao aumento do cérebro de nossos antepassados. Mas em que esse aumento resultou?

O MACACO AQUÁTICO

Vimos na última aula que a teoria mais aceita sobre a origem da linhagem humana é a chamada Hipótese da Savana. Segundo ela, os humanos desenvolveram características únicas nas savanas africanas, como já colocamos nesta aula. Por exemplo, a perda de pêlos no corpo, a aquisição de uma camada de gordura subcutânea e o suor são explicáveis como métodos de termorregulação. Como vimos, a termorregulação é a capacidade do corpo dos mamíferos e das aves de manter sua temperatura constante. Com a liberação dos braços, o uso de ferramentas se tornou possível. Além disso, essa teoria da savana explicita que o bipedalismo surgiu da necessidade de se mover mais rapidamente e de olhar para mais longe. Finalmente, a habilidade de falar pode ter surgido a partir de modificações anatômicas associadas ao hábito bipedal. Na década de 60, uma nova teoria surgiu para explicar nossa origem. Essa nova teoria dizia que as auto-apomorfias dos humanos eram conseqüências de um hábito aquático que nossos antepassados tinham. Naquela época, essa teoria foi ridicularizada pelos antropólogos. Entretanto, hoje ela encontrou mais adeptos e novas teorias aquáticas foram lançadas. Seus principais pontos são: 1) vários mamíferos possuem hábito aquático ou semi-aquático: baleias, golfinhos, elefantes marinhos, ariranhas etc.; 2) boa parte dos fósseis antigos de homínídeos foram encontrados em ambientes aquáticos; a própria Lucy foi encontrada junto com fósseis de peixes; 3) um ambiente aquático favoreceria o hábito bipedal; 4) o uso de ferramentas poderia ter se desenvolvido para abrir não apenas nozes, mas também moluscos; 5) a ausência de pêlos é mais facilmente explicada quando o organismo está exposto a um ambiente aquático; 6) o acúmulo de gordura dos recém-nascidos humanos permite uma maior flutuabilidade e um isolamento com o ambiente. Essa camada de gordura compensaria a ausência de pêlos, deixando os humanos isolados das flutuações de temperatura do ambiente. Na realidade, a análise comparada nos mostra que nenhum organismo de hábito aquático apresenta pêlos, enquanto os habitantes de savana geralmente possuem. Além disso, os defensores dessa teoria dizem que os bebês humanos são muito desenvoltos na água. Você já reparou? Realmente, inclusive algumas mães decidem dar à luz seus filhos na água! Entretanto, apesar de interessante, para a maior parte dos antropólogos ainda precisa de mais evidências antes de dar suporte a essa hipótese.

RESUMO

Na mesma época em que nossa linhagem estava se tornando bípedal, uma outra transformação estava acontecendo: nossa espécie estava ficando mais inteligente. A capacidade craniana da Lucy é maior do que a dos chimpanzés e dos gorilas, com 400 cm³ de capacidade, enquanto no ser humano a média é de 1350 cm³. Esse aumento tão rápido da capacidade craniana sugere uma pressão forte do mecanismo de seleção natural. Animais mais inteligentes podem fazer mais com menos condições, aumentando as possibilidades de sobrevivência mesmo em condições adversas. Apesar de a massa craniana representar apenas 2% da massa total de nosso corpo, o cérebro despende 18% da energia que produzimos. O aumento da massa encefálica foi balanceado pela diminuição do aparelho digestivo. Tornando-se mais inteligente, o ser humano se tornou capaz de ter uma dieta mais rica energeticamente. Para termos uma idéia sobre tamanhos, o cérebro dos chimpanzés adultos é 2,3 vezes maior do que o dos recém-nascidos, enquanto na espécie humana essa proporção é de 3,5 vezes. Nos grandes macacos, o cérebro aumenta exponencialmente de tamanho até o nascimento e depois disso sofre uma desaceleração. No entanto, essa primeira fase de crescimento exponencial em humanos é estendida até o primeiro ano de vida e depois sofre desaceleração, o equivalente a um período de gestação de 21 meses, nove no útero e 12 fora dele, diminuindo o problema de dar à luz uma criança com uma cabeça muito grande. Esse período de gestação “fora” do útero acarreta uma maior vulnerabilidade dos recém-nascidos humanos quando comparados aos macaquinhos.

EXERCÍCIOS

1. Que tipo de vantagens um cérebro grande permite?
2. Quando pára de crescer exponencialmente o cérebro dos humanos?
3. Que tipo de limite tem o crescimento exponencial do cérebro ainda no útero?
4. Que tipo de desvantagens tem o crescimento exponencial fora do útero?

Evolução humana II

AULA 32

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer a utilização de ferramentas e o aumento da inteligência na linhagem humana.
- Compreender a cultura e a civilização humana.

Pré-requisitos

Aulas 3, 4, 5, 14, 17, 18, 29, 30 e 31.

USO DE FERRAMENTAS

Vimos, na última aula, que o cérebro começou a se expandir na linhagem humana. A história de como isso aconteceu é uma das mais fascinantes, pois entender como a inteligência surgiu na linhagem humana leva à compreensão de como surgimos. Nesta aula veremos com mais detalhes esse assunto e algumas consequências importantes dessa ocorrência.

Assistindo na televisão a um programa sobre macacos em seu habitat natural, você já pensou o que seria de nós se tivéssemos continuado com o cotidiano desses animais? Certamente, não estaríamos preocupados em entender nossa própria evolução. Nós, professores, não estaríamos escrevendo essas aulas e você, aluno, não estaria agora se preocupando com isso. Estaríamos todos, talvez, em cima de uma árvore observando um monte de formigas e pensando: – Oba! Nosso almoço. Você agora pode estar pensando: – Puxa vida, por que ficamos inteligentes? Como nossos ancestrais tinham uma boa vida, sem preocupações com dinheiro, com datas, com provas ou qualquer outra responsabilidade além da própria sobrevivência e a de seus filhos.

Antes, porém, de comprar uma passagem de avião para a África, a fim de lagartear ao sol, vamos pensar um pouco mais sobre esse assunto. Começemos pela definição de inteligência. Apesar de ser uma palavra muito usada no cotidiano, inteligência não é exatamente uma coisa fácil de se definir com maior precisão. Não é difícil saber por quê. O que você entende por inteligência? Os dicionários definem inteligência como a habilidade de aprender, de entender e de lidar com situações novas ou testes. Agora, vamos pensar sobre o que consideramos uma atividade ligada à inteligência? Por exemplo, jogar xadrez.

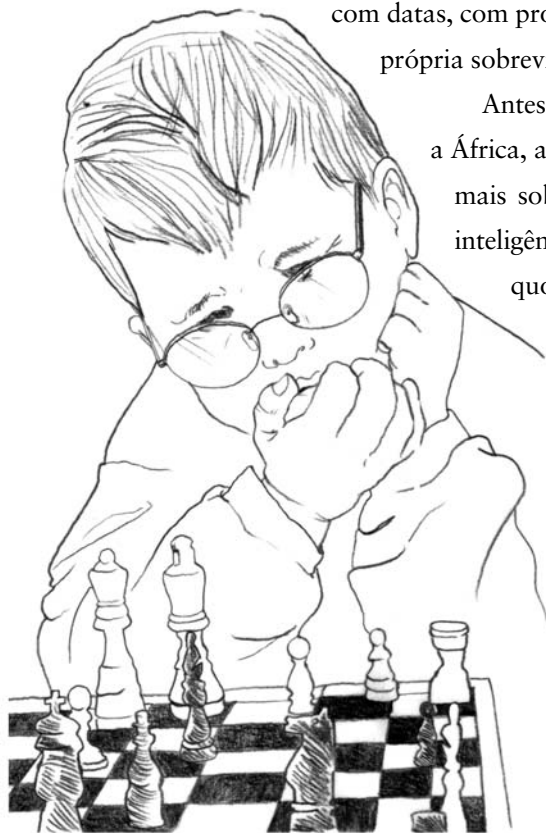


Figura 32.1: Jogo de xadrez requer inteligência para conseguir escolher a melhor entre todas as opções de movimento de todas as peças do tabuleiro.

Como vimos anteriormente, na última aula, a inteligência não é uma auto-apomorfia humana. Isto é, outros organismos também possuem essa habilidade em maior ou menor grau. Claro que, mesmo observando atentamente, não veremos um golfinho jogando xadrez. Isso, porém, não significa em absoluto que ele é menos inteligente do que nós. Pense um pouco no dia-a-dia do golfinho e você verá que jogar xadrez não é algo compatível com esse cotidiano. Da mesma forma, será que conseguiríamos sobreviver aos perigos a que os golfinhos se submetem com tanta graça e beleza? É claro que não.

Portanto, julgar a inteligência de todos os animais com base nas habilidades humanas que eles conseguem ou não fazer é injusto. Aliás, não precisamos chegar tão longe assim. Mesmo comparando as diferentes culturas humanas estamos lidando com realidades tão distintas como aquelas de um homem solteiro, de 46 anos de idade, residente em São Paulo e de uma velhinha de 97 anos, que mora com seus 16 filhos e 43 netos em uma vila do interior de Mato Grosso. Assim, como fazer para julgar a inteligência?

Você já deve estar percebendo que isso realmente é uma tarefa complexa. Não podemos julgar com base em um único critério de uma única cultura, pois seríamos injustos com todas as outras. Um homem da cidade sabe como atravessar uma rua sem ser atropelado. Por outro lado, numa selva, provavelmente ele morreria ou picado por uma cobra, ou de fome, ou sede rapidamente. Um índio, por sua vez, talvez demonstrasse capacidades contrárias, ou seja, ele sobreviveria facilmente na selva, mas seria atropelado em seu primeiro dia de cidade.



Figura 32.2: A cidade e a floresta, dois ambientes que requerem "diferentes tipos de inteligências".

Entretanto, existem algumas coisas que são básicas para constataremos a evolução da inteligência. Por exemplo, a melhoria de vida do ser humano, a expansão da população e a sobrevivência nos mais inóspitos habitats.

Em nossos ancestrais, o primeiro indício claro de uso de inteligência foi a utilização de ferramentas. Elas aumentaram a capacidade de sobrevivência desses indivíduos, pois, com elas, eles conseguiam alimento mais facilmente. Por exemplo, o uso de lanças permitiu-lhes a caça de organismos bem maiores que eles. Por exemplo, usavam lanças para caçar elefantes, felinos e outros animais de grande porte, aos quais eles não teriam acesso de outra forma.

As primeiras ferramentas que encontramos no registro fóssil são bem posteriores aos tempos da Lucy. Na verdade elas são mais de 1,5 milhão de anos posteriores ao período em que a Lucy viveu. O primeiro homínídeo a usar ferramentas regularmente foi o *Homo habilis*, e chegamos finalmente ao nosso gênero há aproximadamente 1,7 milhão de anos. Muitas formas de ferramentas podem ser feitas com pedra, madeira, caules, raízes, ossos, chifres e folhas; no entanto, apenas as de pedra são prováveis de permanecer no registro fóssil.

A espécie humana, porém, não é a única que se vale de ferramentas, porquanto pássaros, castores, chimpanzés freqüentemente as usam. O que nos torna exclusivos é, na realidade, o fato de sermos a única espécie que é dependente delas, e isso inclui nossos mais primitivos ancestrais homínídeos. Existe um programa bastante curioso em algumas universidades africanas, no qual alguns alunos são testados a sobreviver em locais semelhantes àqueles de nossos ancestrais, sem o uso de qualquer ferramenta moderna. É um tipo de programa como aquele da Rede Globo – *No limite* – que passou um tempo atrás, embora o da África tenha fins científicos. Será que você sobreviveria a um período num ambiente hostil?

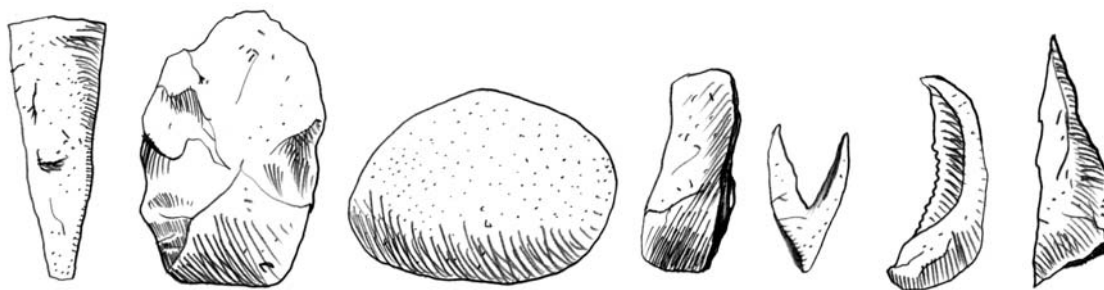
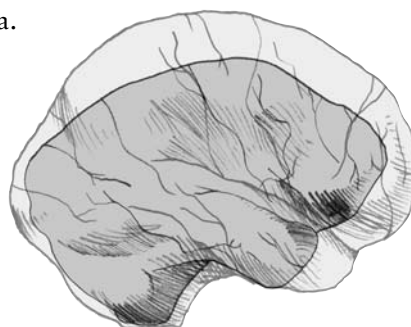


Figura 32.3: Algumas ferramentas que auxiliaram nossos ancestrais a sobreviver.

Nesse caso, temos duas terminologias básicas indicando o uso de ferramentas, aqui demonstrado desde 2,5 milhões de anos atrás, no início da Idade da Pedra, até há 10 mil anos, que marca o início da história escrita. As primeiras ferramentas datam dessa idade e foram encontradas na Etiópia e no Quênia. Os artefatos do início da Idade da Pedra são rochas que não sofreram modificações, ou as sofreram muito pouco. Mais do que isso, rochas modificadas até há 1,5 milhão de anos não são perceptíveis como ferramentas para nós.

As próximas ferramentas são mais parecidas com o que conhecemos, tais como pedaços de pedra afiados de um lado para corte e para trabalho com carnes e peles de animais. O ser humano dessa época, que chamamos de *Homo erectus*, já era bem diferente da baixinha Lucy: era alto, forte e magro, e excelente corredor. A dieta nessa época já era quase que exclusivamente carnívora, o que possibilitava o gasto de energia necessária para esse padrão de vida.

Figura 32.4: Comparação entre o cérebro do *Homo sapiens* e do *Homo erectus*.



HOMO ERECTUS

O *Homo erectus* é provavelmente o mais famoso de todos os ancestrais da linhagem humana. Ele já foi denominado *Pithecantropus erectus*. Tinha esse nome, porque quando foi descoberto o primeiro fóssil dessa espécie, em 1891, ele era considerado o elo perdido entre os macacos (=pithe) e os humanos (=antro). Entretanto, trabalhos recentes colocaram essa espécie como parte do gênero *Homo*, cujo fóssil mais importante e completo é um jovem chamado *Turkana boy*. Alguns autores chamam os *Homo erectus* antigos de *Homo ergaster*, mas apenas alguns paleontólogos reconhecem esse nome como o de uma espécie válida.

Ao contrário da baixinha Lucy, *Homo erectus* era alto, esguio e carnívoro. Eles já praticavam a caça sistemática e, assim, realizavam corrida todo dia. Aliás, os indivíduos dessa espécie eram excelentes corredores. Alguns pesquisadores dizem que qualquer um deles bateria todos os recordes mundiais de corrida, conseguidos pelos *Homo sapiens* em olimpíadas e campeonatos mundiais.

Essa espécie habitou o continente africano entre dois milhões até 300 mil anos atrás. A espécie *Homo erectus* é o primeiro hominídeo a fazer pela primeira vez várias coisas importantes em nossa vida. Por exemplo, ele é o primeiro ancestral humano a ser encontrado fora da África, como foi constatado na China, em Java e na Europa.

Todos os ancestrais mais antigos do ser humano eram habitantes do continente africano. Assim, o *Homo erectus* foi o primeiro que se aventurou para fora desse continente. Claro, pois como explicar que encontremos fósseis dessa espécie pelo mundo todo, e fósseis do *Proconsul*, do *Australopithecus afarensis* (p.e., Lucy) apenas na África? Fica evidente que o *Homo erectus* gostava de viajar. Ah! Você pode estar pensando – e daí, eu também gosto. Mas a questão mais interessante é que o *Homo erectus* percorria longas distâncias andando.

Naturalmente, ninguém acredita que um único indivíduo tenha ido tão longe como onde encontramos seus fósseis, mesmo porque os indícios são de vários deles espalhados ao redor do mundo. Entretanto, o conjunto de evidências indica que as gerações de *Homo erectus* se dedicaram a se espalhar pelos continentes, o que os torna diferentes de todos os outros antropóides. A razão para essa dedicação não nos é clara ainda. Quem sabe, a África estava passando por um clima desfavorável na época e por isso eles resolveram sair de lá. Por outro lado, pode ser que o chamado "espírito aventureiro" dos *Homo erectus* fosse mais forte do que o de seus ancestrais e assim resolveram ir embora de qualquer forma.

Outras evidências importantes que essa espécie nos fornece são o uso do fogo e de veículo de transporte sobre a água pela primeira vez. O uso do fogo é uma questão extremamente importante, pois imagine nossa vida sem ele. Naturalmente, fósforos e isqueiros são ferramentas comuns. Mas o fogo que nos aquece em dias de inverno, ou que nos fornece alimentos cozidos, ou que ilumina os locais sem eletricidade, é fundamental. Sabemos do domínio do fogo através de fogueiras fósseis que encontramos em locais habitados pelo *Homo erectus*.



Figura 32.5: O uso do fogo no cotidiano.

HOMO SAPIENS

E, enfim, chegamos a nossa própria espécie. Como vimos antes, encontramos fósseis de *Homo erectus* em todo o mundo. Essa é a primeira evidência de migração de nossos ancestrais para fora da África. Naturalmente, também encontramos fósseis de *Homo sapiens* em todo o mundo. Assim, temos três hipóteses alternativas que explicam tais evidências.

A primeira é a do candelabro. Segundo essa hipótese, o *Homo erectus* se dispersou ao longo do mundo e cada linhagem foi evoluindo e se transformou em *Homo sapiens*. Você vê algum problema nessa hipótese? Vamos lá, pense um pouquinho. Como uma espécie se transforma em outra? Através de mutações vantajosas ou neutras que aparecem em cada população e que se fixam pela seleção natural ou pela deriva gênica. Entretanto, vimos nas primeiras aulas do curso que essas mutações são frutos de erros da enzima que promove a duplicação do DNA. Assim, se são fruto de erros e acontecem ao acaso, como poderíamos pensar que essas três linhagens teriam dado origem independentemente à mesma espécie? Isto é, como explicar que as mesmas mutações apareceram ao acaso nas três linhagens diferentes? Virtualmente impossível.

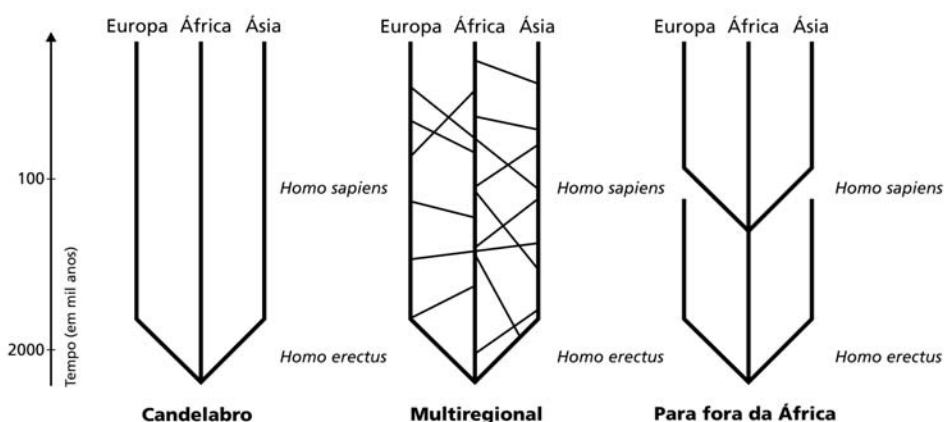


Figura 32.6: Hipóteses alternativas para explicar *Homo sapiens* e *Homo erectus* ao redor do mundo.

Ora, essa hipótese previa que a separação entre as linhagens africana e asiática aconteceu bem próximo à separação entre humanos e chimpanzés. Isso significaria dizer que somos quase tão próximos dos asiáticos quanto dos chimpanzés, o que constitui hoje um absurdo. As linhagens humanas são extremamente parecidas em termos genéticos. Nosso DNA é 99,99% idêntico ao de todo ser humano. Já imaginou?

Duas hipóteses alternativas à teoria do candelabro surgiram. A primeira diz que o que aconteceu foi que os *Homo erectus* gostavam tanto de viajar, que continuaram viajando. Nessas viagens, iam migrando para outros locais, misturando-se (reproduzindo) e, assim, promoviam a troca de seus genes. Finalmente, depois de um tempo, uma nova espécie de homínídeo surgia ao redor do mundo: *Homo sapiens*. Essa segunda hipótese é conhecida como teoria multirregional.

Figura 32.7: Diversidade humana.



A terceira e última hipótese, chamada para fora da África, diz que aconteceu uma segunda migração para fora desse continente, que foi a migração do *Homo sapiens*. Essa hipótese prevê uma primeira saída para fora da África do *Homo erectus* que colonizou o mundo (aliás, as três teorias prevêem essa primeira saída para fora da África). Em seguida, já no continente africano, o *Homo sapiens* surgiu e embarcou num segundo evento de migração para fora da África (daí o nome) e também colonizou o mundo, suplantando o *Homo erectus*.

A distinção entre essas duas últimas hipóteses não é fácil, pois quanto mais semelhantes são as populações humanas, hoje em dia, mais migração é colocada no modelo multirregional. Por outro lado, se estudarmos um outro aspecto e percebermos que na realidade essas populações são diferentes, por exemplo, em termos de morfologia externa, menos migração é colocada no modelo.

Geneticamente, todos os seres humanos são praticamente idênticos, ou seja, nosso DNA, mesmo comparando populações muito distantes geograficamente, ele é sobremaneira muito similar. Assim, para a teoria multirregional estar correta, necessitaria de uma grande quantidade de migração para explicar essa homogeneidade genética entre todos os humanos.

Por outro lado, morfologicamente, as populações humanas são bastante distintas. Por exemplo, as feições de um africano são diferentes das de um aborígene australiano e das de um dinamarquês. Essa evidência mostra uma certa separação (mesmo que recente) das três linhagens, sem grandes eventos de migração. Assim, a tendência atual é a tendência da maior parte dos pesquisadores em aceitar a teoria para fora da África como a da origem do *Homo sapiens*.

LINGUAGEM

Voltando às ferramentas, um dado importante é que, observando sua configuração, a maior parte delas evidenciam que foram fabricadas por **PESSOAS DESTRAS**. Sabe-se, atualmente, que cerca de 90% da população mundial é destra. Outras espécies de animais também possuem preferências, em relação ao lado esquerdo ou direito, mas nenhuma apresenta tão enorme desvio em direção a um dos lados, como a população humana. No homem, essa preferência está associada à laterização do cérebro. Curiosamente, o lado do cérebro que determina atividades nos membros do lado direito é o esquerdo, não o direito, como poderíamos esperar.

Então, vamos pensar em termos de evolução. Como o lado esquerdo é o responsável pelo lado direito dos humanos, um maior desenvolvimento dessa região do cérebro implicaria num aumento de todas as atividades reguladas nessa região, como, por exemplo, a linguagem falada. Sabemos dessa regionalização, estudando, principalmente, pessoas que perderam ou danificaram parte de seu cérebro, vítimas de doenças ou de acidentes e observando o tipo de deficiências que elas apresentaram após o dano. Assim, foi constatado que a maior parte das que perderam a capacidade da fala tiveram problemas do lado esquerdo do cérebro.

Portanto, voltando ao nosso passado, a laterização do cérebro humano pode realmente ter contribuído para aumentar o potencial de fala de nossos ancestrais. Isso é muito interessante, já que a linguagem oral não produz evidências no registro fóssil e a origem dessa característica é difícil de ser estudada de outra forma.

PESSOAS DESTRAS

São aquelas que se valem dos membros direitos para a maior parte de suas ações. Por exemplo, com que mão você escreve?

Então a laterização pode ter possibilitado a linguagem falada. Mas quando isso ocorreu? Como foi essa evolução? Outros animais também emitem sons. Por exemplo, os psitacídeos possuem uma capacidade enorme de emitirem sons, entretanto, eles se comunicam usando apenas sons básicos. Eles certamente não entendem o que eles próprios repetem.

Para sabermos o que aconteceu, vamos ver o que há registrado. Em termos de linguagem gráfica, as primeiras evidências são escritas em argila de 6.000 anos atrás. Entretanto, sabe-se que a linguagem falada surgiu bem antes disso. Algumas indicações podem ser encontradas nas características da superfície do cérebro, outras naqueles órgãos e estruturas associadas à produção da voz, como a laringe e a faringe. Em relação às funções da linguagem, a maior parte da maquinaria neural está localizada no hemisfério esquerdo, mesmo em pessoas canhotas.

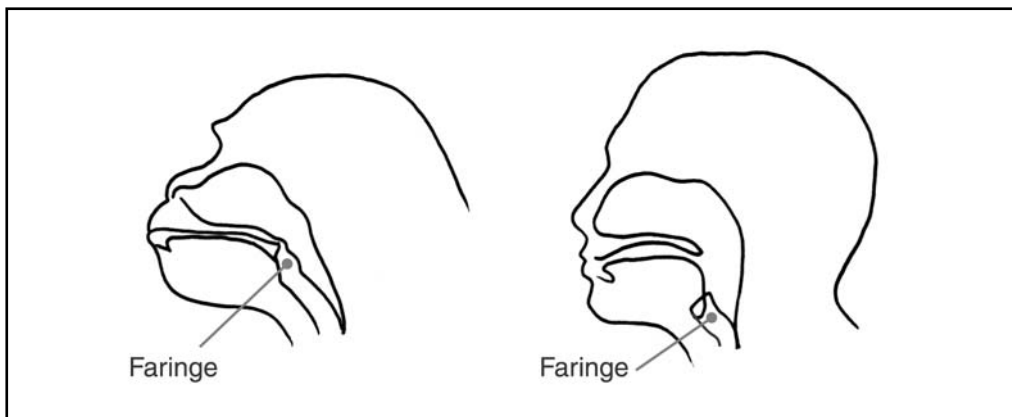


Figura 32.8: Posicionamento da faringe no gorila e no ser humano.

Algumas partes desse hemisfério são mais críticas e alguns paleoneurologistas encontraram evidências de que elas já estavam desenvolvidas há pelo menos 1,5 milhão de anos. No entanto, e em relação aos tratos vocais, o que eles podem nos dizer? Os humanos possuem tratos vocais únicos no mundo animal. Que tipo de diferenças podemos observar entre os homens e outros animais?

Nos mamíferos, existem dois padrões: um que é comum a todos, inclusive aos humanos jovens, tem a laringe posicionada acima, o que permite ao organismo comer, beber e respirar ao mesmo tempo. Por outro lado, no segundo tipo, que está presente apenas nos humanos adultos, a laringe fica mais abaixo e a passagem de ar tem que estar temporariamente fechada quando comemos ou bebemos. Se você reparar bem, um bebezinho consegue mamar durante muito tempo sem parar, não é mesmo? Já o adulto não conseguiria fazer isto, pois teria que fazer uma pausa para respirar de vez em quando. É que se a passagem não estiver fechada quando engolimos ou bebemos, engasgamos. A tosse proveniente é a tentativa de retirar esse material de nossas vias aéreas.

Mas por que apenas nós, adultos humanos, temos esse ponto vulnerável? É um ponto vulnerável sim. Você sabia que só na Inglaterra mais de 200 pessoas morrem a cada ano em consequência de engasgo com comida? Qual é a vantagem de termos a laringe mais abaixo, diferente de todos os mamíferos e mesmo das crianças? Você pode reparar que a vocalização de crianças é menos clara do que a de adultos. Isso porque a posição da laringe mais acima permite pouca saída de ar pela boca e a maior parte do ar sai pelo nariz, como em todos os outros mamíferos. A descida da laringe em humanos se inicia aos 2 anos de idade e finaliza aos 14 anos. Com isso, a amplitude de sons que crianças e os outros mamíferos são capazes de produzir é menor do que em adultos humanos.

Com base nessas observações, podemos examinar o esqueleto e procurar associação entre ele e a posição da laringe e extrapolar para o que conhecemos dos hominídeos. Por exemplo, a base do crânio em crianças e nos outros mamíferos é achatada, diferente dos humanos adultos, em que é mais arredondada. Assim, como a base do crânio é facilmente fossilizada, podemos usá-la para inferir a capacidade de fala de nossos ancestrais e sabermos quando aconteceram as grandes mudanças.

Na Lucy, essa base do crânio era equivalente à de um chimpanzé, tornando impossível a vocalização de sons universais, como as vogais de nosso alfabeto. Apenas mais tarde, no *Homo erectus*, há 1,5 milhão de anos, a laringe se encontra numa posição equivalente à de uma criança de 8 anos de idade, indicando uma capacidade razoavelmente boa de vocalização. Somente com a origem da nossa espécie, o *Homo sapiens*, há 300.000 anos, é que a laringe atingiu a posição atual. Mas qual a relação dessa linguagem com a sociedade?

Os neandertais são humanos que viveram na Europa e possuíam um cérebro ligeiramente maior do que o nosso, mas cujo padrão de linguagem era muito menos desenvolvido, pelo padrão de sua caixa craniana. Eles são hoje conhecidos pelo nome de *Homo neanderthalensis*. Estudos moleculares recentes indicam que eles saíram da África há 800.000 anos, chegaram à Europa há pelo menos 300.000 anos, e pereceram quando a recém espécie de *Homo sapiens* emigrou da África há 200.000 anos e colonizou o mundo. Será que o motivo pelo qual eles não agüentaram a competição com nossa espécie foi o

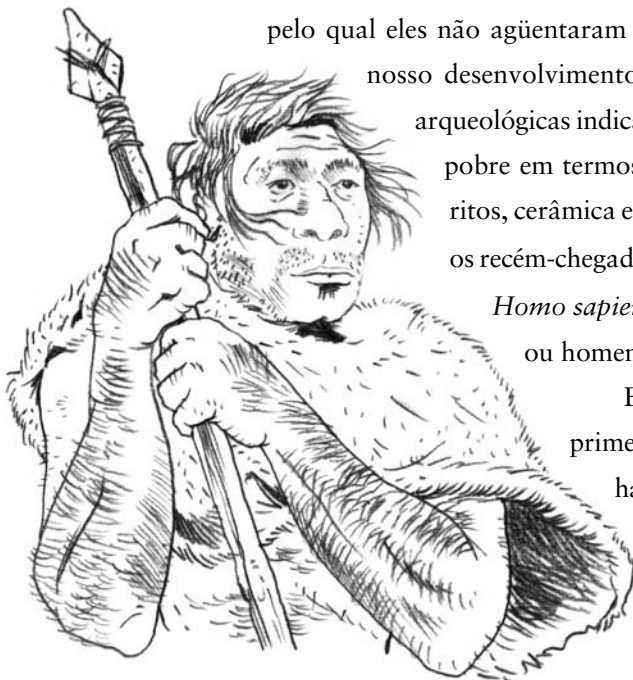


Figura 32.9: *Homo neanderthalensis*.

nosso desenvolvimento da linguagem? Pode ser. Escavações arqueológicas indicam que os neandertais eram uma espécie pobre em termos de cultura, que não conheciam artes, ritos, cerâmica e desconheciam a organização social que os recém-chegados *Homo sapiens* possuíam. Esses novos *Homo sapiens* são também chamados de modernos ou homens de Cro-magnon.

Em termos de linguagem escrita, as primeiras evidências datam do antigo Egito, há cerca de 4.000 a.C. Os egípcios usavam hieróglifos para se comunicar. No entanto, a linguagem escrita era muito diferente da que usamos hoje, porque eles não tinham um alfabeto.

Cada hieróglifo representava uma idéia.

Assim, cada idéia que eles queriam armazenar equivaleria a um hieróglifo diferente. Nosso alfabeto, por outro lado, é uma associação letra-som. Essa simples associação permite a diminuição do uso de caracteres, tornando a aprendizagem escrita mais simples. No antigo Egito, não existia a associação letra-som e, portanto, cada caractere significava um objeto ou uma ação.

A linguagem escrita do antigo Egito, por exemplo, tinha cerca de 500 caracteres; depois de algum tempo passou a ter apenas 300. Isso significa que os escribas tinham somente 300 idéias para passar para as gerações futuras. Mesmo assim, esses 300 caracteres eram muito numerosos para que a população em geral conseguisse memorizá-los.

Conseqüentemente, a linguagem escrita do Antigo Egito era feita por alguns poucos e seletos escribas. O alfabeto que usamos hoje foi inventado por Cádmo, cerca de 900 anos antes de Cristo. Esse alfabeto causou uma grande revolução com a primeira associação letra-som que conhecemos na história. Assim, com apenas 23 caracteres (letras) é produzida uma infinidade de sons e seus significados.

CIVILIZAÇÃO E SOCIEDADE

Essas três grandes transformações biológicas que discutimos: -o bipedalismo, o desenvolvimento do cérebro e o da linguagem -tornaram possíveis as transformações culturais que iremos mencionar agora, e que mudaram a cara de nossos ancestrais. Mas será que tais transformações melhoraram de fato a nossa vida? Ou, ao contrário tornaram-na pior? Será que a nossa inteligência estabilizou-se, ou ainda está em fase de desenvolvimento? Na verdade, muitas evidências indicam que sim. Por exemplo, na Holanda, a habilidade de resolver problemas ligados ao raciocínio é testada nos jovens que entram no exército todos os anos e a média dos resultados tem aumentado 7 pontos a cada década.

Obviamente, o teste de QI nunca foi uma boa forma de medir inteligência, já que ele é baseado naquilo que algumas pessoas (as que bolaram o teste) acham que é inteligência, coisa que varia enormemente entre culturas. Por outro lado, nossas escolas tendem a nos ensinar o que esse tipo de teste requer. Realmente, o aumento do cérebro na linhagem humana se deu em alguns milhões de anos, já que o da Lucy tinha um tamanho parecido com o do chimpanzé. As diferenças que encontramos hoje em dia na população humana são sutis. Portanto, não podemos dizer que pessoas com cabeça grande são inteligentes e com pequena são burras.

Desse modo, o fato de o teste de QI estar aumentando de nota na verdade não significa que o mesmo acontece com a inteligência humana. Mas quais seriam as regras básicas para verificarmos a influência desse aumento da capacidade cognitiva em nossa espécie? O que poderíamos usar para testar essa inteligência?

O ponto básico é a expansão da população mundial, com o rompimento de barreiras geográficas, que permitiram atravessar canais e montanhas climáticas; colonizando o ártico e os desertos, apesar mesmo de falta de recursos. A população humana sofreu três eventos que tiveram como consequência grandes explosões demográficas.

A primeira foi o uso de ferramentas, que possibilitou o aumento da população humana de 50.000 (há 1.000.000 de anos) para 1.000.000 (há 10.000 anos). O uso de ferramentas, como vimos, permitiu essa primeira expansão, quando ocorreu, inclusive, a manipulação do fogo, que foi importante principalmente para a colonização de ambientes frios. A primeira evidência da utilização do fogo foi há 500.000 anos.

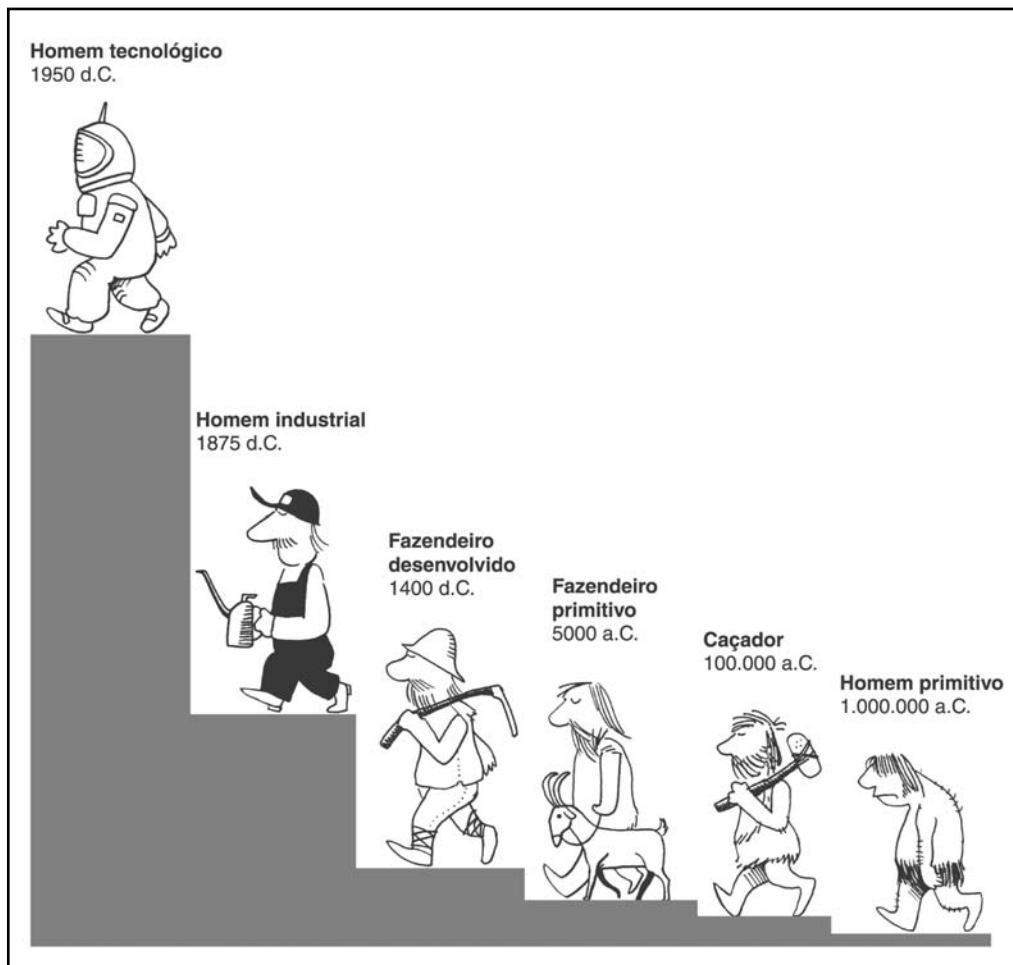


Figura 32.10: As expansões da população humana.

A segunda expansão foi decorrente da uso da agricultura, com a qual nossos ancestrais seriam capazes de armazenar e gerar comida, não tendo de, freqüentemente, correr ao campo para caçar e coletar plantas. O uso da agricultura certamente impulsionou também a formação de vilas e cidades, já que com pastos e hortas as pessoas foram obrigadas a se tornar cada vez mais sedentárias.

A terceira expansão, que prossegue ainda hoje, porquanto a população mundial ainda está expandindo, ocorreu há pouco mais de 100 anos, na época da Revolução Industrial, com o advento de drogas e mecanismos. Com isso veio a cirurgia moderna, e o Dr. Lister, médico que inventou uma solução para esterilizar equipamentos cirúrgicos. Os demais médicos da época foram obrigados a lavar as mãos antes das operações. Com esse simples procedimento, a mortalidade diminuiu 90% no pós-operatório. Assim, a expectativa de vida aumentou e, com isso, obviamente a população mundial. Para você ter uma idéia, no final do século XIX, em 1896, a expectativa de vida ficava abaixo dos 40 anos. Cem anos depois, em 1996, a expectativa média do brasileiro é de 69 anos de idade.

NOSSO FUTURO

Mas quem sabe o que vai acontecer daqui a cem anos? Uma coisa é certa. Com o aumento da expectativa de vida dos indivíduos, estamos começando a descobrir doenças novas que afetam a terceira idade. Entre elas estão o câncer, o mal de Parkinson, o mal de Alzheimer etc. Isso acontece porque as pessoas estão vivendo mais tempo e, assim, elas têm mais chances de apresentar essas doenças de progressão lenta. A expectativa de vida tende a aumentar com o tempo. As pessoas tenderão a ter menos filhos do que antes, e inclusive poderão tê-los numa idade mais avançada.

A medicina avançou muito em alguns campos, como na terapia genética que consiste no uso de genes na cura de doenças genéticas ou não, tratando as doenças provendo genes necessários para o funcionamento regular do organismo através do uso de agentes virais. Os agentes virais normalmente despejam material genético próprio dentro da célula e usam a maquinaria celular para sua própria reprodução. Bom, a terapia genética se aproveita dessa característica viral e insere no material genético do vírus o gene necessário para o funcionamento normal da célula.

MAL DE PARKINSON E A TERAPIA GENÉTICA

Por exemplo, o mal de Parkinson é uma doença na qual uma parte do cérebro, a substância nigra, começa a se degenerar. O ator Michael J. Fox e o ex-lutador de boxe Mohamed Ali sofrem dessa doença degenerativa. A substância nigra é responsável pela regulação do controle motor, e sua destruição dificulta os movimentos e provoca o que chamamos de tremor de Parkinson. Os neurônios da substância nigra secretam o neurotransmissor dopamina, e a ausência dessa substância provoca uma grande parte dos sintomas dessa doença. Portanto, uma terapia genética em potencial para os doentes seria incluir no material genético de vírus genes que produzem a dopamina para aumentar a quantidade dessa substância. Um dos principais problemas da terapia genética é o de aumentar a quantidade de dopamina apenas na substância nigra, o que não é muito.

Obviamente o material genético desses agentes virais usados na terapia genética é tratado previamente, ou seja, os agentes virais são enfraquecidos antes da infecção. No entanto, esses agentes podem readquirir sua capacidade patogênica dentro da célula, ou a inserção de fragmentos no material genético humano pode causar danos ao material genético da célula e hoje em dia novas terapias estão sendo desenvolvidas para tentar contornar o problema de usar agentes virais. Uma outra técnica que pode ter repercussões fundamentais nas nossas vidas é a clonagem. A clonagem é baseada na transferência de núcleos que envolve dois tipos de células, a célula receptora é normalmente um óvulo não fertilizado.

RESUMO

Em nossos ancestrais, o primeiro indício de inteligência foi a utilização de ferramentas. As primeiras ferramentas que encontramos no registro fóssil são bem posteriores aos tempos da Lucy. Uma característica interessante das ferramentas feitas por nossos ancestrais é que elas mostram que a maior parte delas foi fabricada por pessoas destros, notadas pelo padrão de formação das ferramentas. Em humanos essa preferência é associada à laterização do cérebro. Pode ser que a laterização cerebral tenha já se desenvolvido nos primeiros humanos a trabalharem com ferramentas, com implicações potenciais para a origem da linguagem falada, já que ela está localizada principalmente no hemisfério cerebral esquerdo. As duas principais hipóteses que explicam as evidências fósseis de *Homo erectus* e *Homo sapiens* ao redor do mundo são a multirregional e a de fora da África. A primeira diz que ocorreu uma única migração de *Homo erectus* para fora da África, essas linhagens continuaram migrando ao redor do mundo, e foram pouco a pouco se diferenciando em *Homo sapiens*. Por outro lado, a segunda teoria diz que o *Homo sapiens* surgiu no continente africano a partir de *Homo erectus* e embarcou num segundo evento de migração para fora da África e colonizou o mundo, suplantando o *Homo erectus*. Na Lucy, a base do crânio, que é uma medida indireta da capacidade de fala, era equivalente a de um chimpanzé, tornando impossível a vocalização de sons universais, como as vogais de nosso alfabeto. Apenas mais tarde, no *Homo erectus*, há 1,5 milhão de anos, a laringe está numa posição equivalente à de uma criança de 8 anos de idade, indicando uma capacidade razoavelmente boa de vocalização. Em termos de linguagem escrita, o alfabeto que associa letra ao som, como o nosso, promove uma maior agilidade no aprendizado da leitura do que aquele que associa letra à idéia. A população humana sofreu três eventos de expansões intimamente relacionados com os seguintes fatores: o uso de ferramentas, o uso de agricultura e pecuária, e o advento de drogas medicinais que combateram doenças. Assim, a expectativa de vida vem aumentando e com isso obviamente a população mundial.

EXERCÍCIOS

1. Por que não podemos considerar que a população humana está ficando mais inteligente ao longo dos anos neste momento de nossa história?
2. Qual a importância da linguagem falada para você? E da escrita?
3. Como conseguimos inferir a capacidade de fala da Lucy, se a linguagem falada não deixa registro fóssil?
4. Por que estamos descobrindo novas doenças cada vez que aumentamos nossa expectativa de vida?

ISBN 85-89200-14-0



9 788589 200141



UENF
Universidade Estadual
do Norte Fluminense



Universidade Federal Fluminense



Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro



**GOVERNO DO
Rio de Janeiro**

SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA



Ministério
da Educação

