



VICE-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO E CORPO DISCENTE

COORDENAÇÃO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

ZOOLOGIA DOS VERTEBRADOS

Rio de Janeiro / 2008

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS À

UNIVERSIDADE CASTELO BRANCO

UNIVERSIDADE CASTELO BRANCO

Todos os direitos reservados à Universidade Castelo Branco - UCB

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, armazenada ou transmitida de qualquer forma ou por quaisquer meios - eletrônico, mecânico, fotocópia ou gravação, sem autorização da Universidade Castelo Branco - UCB.

Un3z Universidade Castelo Branco

Zoologia dos Vertebrados / Universidade Castelo Branco. – Rio de Janeiro:
UCB, 2008. - 44 p.: il.

ISBN 978-85-86912-92-4

1. Ensino a Distância. 2. Título.

CDD – 371.39

Universidade Castelo Branco - UCB

Avenida Santa Cruz, 1.631

Rio de Janeiro - RJ

21710-250

Tel. (21) 3216-7700 Fax (21) 2401-9696

www.castelobranco.br

Responsáveis Pela Produção do Material Instrucional

Coordenadora de Educação a Distância

Prof.^a Ziléa Baptista Nespoli

Coordenador do Curso de Graduação

Maurício Magalhães - Ciências Biológicas

Conteudista

Marcelo Soares

Supervisor do Centro Editorial – CEDI

Joselmo Botelho

Apresentação

Prezado(a) Aluno(a):

É com grande satisfação que o(a) recebemos como integrante do corpo discente de nossos cursos de graduação, na certeza de estarmos contribuindo para sua formação acadêmica e, conseqüentemente, propiciando oportunidade para melhoria de seu desempenho profissional. Nossos funcionários e nosso corpo docente esperam retribuir a sua escolha, reafirmando o compromisso desta Instituição com a qualidade, por meio de uma estrutura aberta e criativa, centrada nos princípios de melhoria contínua.

Esperamos que este instrucional seja-lhe de grande ajuda e contribua para ampliar o horizonte do seu conhecimento teórico e para o aperfeiçoamento da sua prática pedagógica.

Seja bem-vindo(a)!
Paulo Alcantara Gomes
Reitor

Orientações para o Auto-Estudo

O presente instrucional está dividido em cinco unidades programáticas, cada uma com objetivos definidos e conteúdos selecionados criteriosamente pelos Professores Conteudistas para que os referidos objetivos sejam atingidos com êxito.

Os conteúdos programáticos das unidades são apresentados sob a forma de leituras, tarefas e atividades complementares.

As Unidades 1, 2 e 3 correspondem aos conteúdos que serão avaliados em A1.

Na A2 poderão ser objeto de avaliação os conteúdos das cinco unidades.

Havendo a necessidade de uma avaliação extra (A3 ou A4), esta obrigatoriamente será composta por todo o conteúdo de todas as Unidades Programáticas.

A carga horária do material instrucional para o auto-estudo que você está recebendo agora, juntamente com os horários destinados aos encontros com o Professor Orientador da disciplina, equivale a 60 horas-aula, que você administrará de acordo com a sua disponibilidade, respeitando-se, naturalmente, as datas dos encontros presenciais programados pelo Professor Orientador e as datas das avaliações do seu curso.

Bons Estudos!

Dicas para o Auto-Estudo

- 1 - Você terá total autonomia para escolher a melhor hora para estudar. Porém, seja disciplinado. Procure reservar sempre os mesmos horários para o estudo.
- 2 - Organize seu ambiente de estudo. Reserve todo o material necessário. Evite interrupções.
- 3 - Não deixe para estudar na última hora.
- 4 - Não acumule dúvidas. Anote-as e entre em contato com seu monitor.
- 5 - Não pule etapas.
- 6 - Faça todas as tarefas propostas.
- 7 - Não falte aos encontros presenciais. Eles são importantes para o melhor aproveitamento da disciplina.
- 8 - Não relegue a um segundo plano as atividades complementares e a auto-avaliação.
- 9 - Não hesite em começar de novo.

SUMÁRIO

Quadro-síntese do conteúdo programático	11
Contextualização da disciplina	13

UNIDADE I

A ORIGEM DOS TETRAPODA

1.1 - Relações entre os peixes e os Tetrapoda	15
-----------------------------------------------------	-----------

UNIDADE II

ESTUDO DOS ANFÍBIOS

2.1 - Introdução	17
2.2 - Salamandras, anuros e cecílias	18

UNIDADE III

ESTUDO DOS RÉPTEIS

3.1 - Principais adaptações dos répteis	22
3.2 - Evolução dos répteis	22

UNIDADE IV

ESTUDO DAS AVES

4.1 - Princípios do voo	28
4.2 - Regulação térmica	29
4.3 - Pena	30

UNIDADE V

ESTUDO DOS MAMÍFEROS

5.1 - Principais adaptações dos mamíferos	32
-------------------------------------------------	-----------

Glossário	38
-----------------	-----------

Gabarito	39
----------------	-----------

Referências bibliográficas	42
----------------------------------	-----------

Quadro-síntese do conteúdo programático

UNIDADES DO PROGRAMA	OBJETIVOS
I - A ORIGEM DOS TETRAPODA 1.1 - Relações entre os peixes e os Tetrapoda	• Apresentar os aspectos evolutivos e morfológicos dos primeiros Tetrápodes.
II - ESTUDO DOS ANFÍBIOS 2.1 - Introdução 2.2 - Salamandras, anuros e cecílias	• Caracterizar os anfíbios quanto aos seus aspectos evolutivos, morfológicos, fisiológicos e ecológicos.
III - ESTUDO DOS RÉPTEIS 3.1 - Principais adaptações dos répteis 3.2 - Evolução dos répteis	• Estudar a origem e evolução dos répteis, caracterizando os diversos grupos quanto aos seus aspectos morfológicos, fisiológicos e ecológicos.
IV - ESTUDO DAS AVES 4.1 - Princípios do voo 4.2 - Regulação térmica 4.3 - Pena	• Caracterizar as aves quanto aos seus aspectos morfológicos, fisiológicos, ecológicos e evolutivos.
V - ESTUDO DOS MAMÍFEROS 5.1 - Principais adaptações dos mamíferos	• Estudar a origem e a evolução dos mamíferos e caracterizá-los quanto aos seus aspectos morfológicos, fisiológicos e ecológicos.

Dando continuidade ao estudo dos Vertebrados, iniciado no módulo *Deuterostomados e Introdução aos Vertebrados*, estaremos não apenas enfocando seus aspectos evolutivos, mas também conheceremos sobre a sua morfologia, fisiologia e seu modo de vida.

Inicialmente estudaremos os Tetrápodes primitivos, os primeiros vertebrados a caminharem sobre a terra, e aprenderemos que os vertebrados modernos são os descendentes modificados dessas espécies ancestrais. Como resultado disso, a forma de uma determinada estrutura ou de um conjunto de estruturas dos vertebrados às vezes só pode ser entendida em termos de história evolutiva e boa parte da estrutura pode ser interpretada em termos de comportamento e adaptação ao meio externo. Em conseqüência, o entendimento da morfologia funcional dos vertebrados e algumas de suas estruturas e padrões de organização podem ser melhor absorvidos em termos de desenvolvimento e de mecanismos de desenvolvimento.

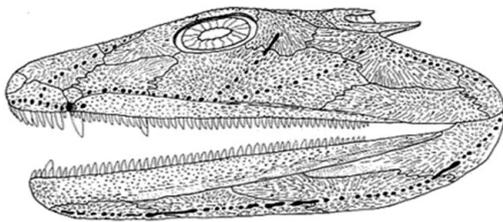
Outros aspectos da biologia dos vertebrados podem também contribuir para o entendimento da estrutura. Por exemplo, a forma pode depender do tamanho, idade ou sexo, e a variação individual pode ter origem ambiental (nutricional, patológica ou outras). Assim, a Zoologia dos Vertebrados está relacionada a muitas outras ciências. É conveniente que, para suplementar seu treinamento nos princípios da Biologia em todos os níveis e seu embasamento na estrutura dos vertebrados, o aluno familiarize-se com os conceitos e metodologias de uma, de preferência mais de uma, das disciplinas relacionadas, tais como a Biomecânica, a Fisiologia, a Ecologia e a Etologia.

Para aproveitar plenamente qualquer área de estudo, o aluno deve estar convicto de que o retorno irá justificar o esforço. Aqui estão algumas das vantagens que os estudantes podem ter a partir do estudo da morfologia dos vertebrados: 1. O conhecimento da estrutura animal tem contribuído sobremaneira nas áreas da saúde humana e da tecnologia. Alguns engenheiros estudam animais à procura de detalhes que melhorem o modelo das estruturas de navios e aeronaves. 2. O estudo da Morfologia aumenta o entendimento do biólogo a respeito do material que tem em mãos e dos princípios que governam sua forma. Por meio da interpretação da morfologia, ele se torna mais profissional, mais acadêmico, deixando de ser um mero colecionador de fatos para tornar-se um especialista. 3. A análise da estrutura dos vertebrados pode aumentar o interesse ou mesmo o fascínio do biólogo sobre a forma animal. Este aproveitamento sutil pode ser muito recompensador. 4. A morfologia dos vertebrados fornece evidências especialmente favoráveis sobre o processo e o resultado da evolução orgânica. A morfologia contribui para a solução de questões que há muito são importantes para as pessoas: que forças regem o curso da vida? Como obter uma visão sobre o curso da vida no tempo e no espaço?

Desta maneira, o estudo da zoologia dos vertebrados ampliará a competência e o prazer do biólogo em seu trabalho.

A ORIGEM DOS TETRAPODA

O conhecimento acerca da origem dos Tetrapoda está avançando rapidamente. Os primeiros tetrápodes conhecidos datam do final do Devoniano, há 360 milhões de anos. Até recentemente, o gênero *Ichthyostega* (encontrado no leste da Groelândia, em 1932) era o único representante conhecido dos primeiros tetrápodes. Todavia, nas últimas décadas, foram descobertos mais fósseis oriundos deste sítio, incluindo crânios e esqueletos de um gênero distinto, o *Acanthostega*, um animal mais semelhante aos peixes do que o *Ichthyostega* (POUGH *et al.*, 2003).



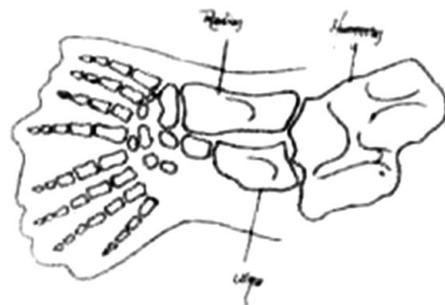
Foram encontrados materiais fósseis fragmentados de outros tetrápodes no final do Devoniano, na região de Latvia, na Escócia, na Austrália e na América do Norte. A análise destes novos espécimes enfatizou a seqüência na qual as características dos tetrápodes foram adquiridas. O intervalo entre os peixes e os tetrápodes foi diminuído, e parece que os primeiros tetrápodes eram muito mais parecidos com os peixes do que acreditávamos. Estas informações fornecem as bases para hipóteses sobre a ecologia dos animais na transição entre a vida aquática e a terrestre.

Posteriormente, os tetrápodes se diferenciaram em diferentes linhagens e tipos ecológicos distintos, durante o final da era Paleozóica e na era Mesozóica. No início do Carbonífero, se dividiram em duas linhagens distintas, em parte, pela forma na qual a calota cranial

na é posicionada para a porção caudal do crânio. Uma destas linhagens é a dos **batracomorfos**, o maior e mais duradouro grupo de tetrápodes anamniotas primitivos e extintos. Algumas destas linhagens chegaram até o Cretáceo e ao menos alguns dos anfíbios viventes podem ser derivados destes animais.

A segunda linhagem dos tetrápodes, os **reptilomorfos**, contém uma ampla gama de animais, tanto anamniotas quanto amniotas. Os ancestrais imediatos dos principais grupos de amniotas aparecem no final do Carbonífero. Eles eram animais pequenos e ágeis, apresentando modificações no esqueleto e nas mandíbulas, que sugerem que eles se alimentavam de invertebrados terrestres.

Segundo Pough (2003), a diversidade dos tetrápodes anamniotas diminuiu durante o final do Permiano e no Triássico. No início da era Cenozóica, os únicos anamniotas sobreviventes eram as linhagens de Amphibia que observamos atualmente: sapos, salamandras e cecílias. Os amniotas têm sido os tetrápodes dominantes desde o final da era Paleozóica. Eles radiaram em muitas zonas de vidas terrestres, desenvolvendo especializações de locomoção e de alimentação nunca vistas entre os Tetrapoda.



1.1 - Relações entre os Peixes e os Tetrapoda

Os Tetrapoda são claramente aparentados aos peixes sarcopterígeos. Há dois tipos principais de peixes sarcopterígeos viventes: os **Dipnoi** (seis espécies de peixes pulmonados) e os **Actinistia** (duas espécies de celacantos). A descoberta de peixes pulmonados parecia fornecer um modelo ideal para um proto-tetrápode. Entretanto, os peixes pulmonados são animais muito especializados, e os peixes pulmonados do Devoniano eram somente um pouco menos especializados do que as espécies viventes.

O celacanto não apresenta as especializações dos peixes pulmonados e, por algum tempo após sua descoberta, em 1938, foi considerado como o membro sobrevivente da linhagem que deu origem aos tetrápodes. Todavia, a maioria dos cientistas, atualmente, considera os peixes pulmonados mais próximos aos tetrápodes do que ao celacanto.

Tanto os Dipnoi quanto os Actinistia possuem um registro fóssil extensivo na era Paleozóica, e eram

considerados os ancestrais dos tetrápodes. Tradicionalmente, eles foram agrupados juntos com os **crossopterígeos** (= nadadeiras lobadas), e este grupo era considerado ancestral aos tetrápodes. Atualmente, consideramos inválido o termo crossopterígeos, pois

ele agrupa os celacantos e outros sarcopterígeos, sem as especializações dos peixes pulmonados, com base em traços primitivos. Entretanto, novos fósseis descobertos revelam outros grupos primitivos que são mais aparentados aos tetrápodes, como osteolepíformes.



Os **osteolepíformes** eram peixes cilíndricos, com cabeças grandes e com escamas espessas. Muitos osteolepíformes possuíam centros vertebrais pareados e com crescimento, similares às vértebras encontradas nos primeiros tetrápodes, e alguns possuíam dentes com labirintina no esmalte, o que também é observado nos primeiros tetrápodes.

Embora todos os osteolepíformes tenham sido predadores de nado-livre de águas rasas, alguns podem

ter se especializado à vida nos limites aquáticos. O mais provável grupo ancestral dos tetrápodes é uma linhagem, recentemente definida, de osteolepíformes no final do Devoniano, chamada de **Elpistostegidae** (POUGH *et al.*, 2003). Dos primitivos tetrápodes surgiram, então, os grupos vivos de anfíbios, que permanecem associados a ambientes aquáticos e que serão agora estudados.

Exercícios de Fixação

- 1 - Até recentemente, qual era o único representante conhecido dos primeiros tetrápodes?
- 2 - Como foram denominados os fósseis descobertos nas últimas décadas, incluindo crânios e esqueletos de um gênero distinto, os quais foram considerados mais semelhantes aos peixes?
- 3 - Cite e descreva as duas linhagens nas quais os tetrápodes se dividiram no início do Carbonífero.
- 4 - Os Tetrapoda são claramente aparentados aos peixes sarcopterígeos. Há dois tipos principais de peixes sarcopterígeos vivos. Cite-os.
- 5 - Novos fósseis descobertos atualmente revelam outros grupos primitivos que são mais aparentados aos tetrápodes, cite um exemplo.
- 6 - Qual é o mais provável grupo ancestral dos tetrápodes, segundo fósseis descobertos recentemente do final do Devoniano?

Leitura Complementar

Para você saber mais a respeito da origem e evolução dos Tetrapodes e diversas outras informações importantes, leia sobre o assunto no livro *A vida dos vertebrados* (POUGH, H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B., 2003).

ESTUDO DOS ANFÍBIOS

2.1 - Introdução

Atualmente, os anfíbios (salamandras, cecílias, sapos, rãs e pererecas) possuem formas corporais bastante distintas, mas são identificados como uma linhagem evolutiva única devido à presença de vários caracteres. Alguns desses caracteres, especialmente a pele lisa e úmida, conduziram estas linhagens na mesma direção evolutiva.

Os anfíbios anuros (sapos, rãs e pererecas) são os mais bem-sucedidos e a variedade de modos de locomoção proporcionou o seu sucesso. Os anuros podem facilmente saltar, caminhar, escalar e nadar. Diferentemente destes, os caudatas (salamandras e tritões) possuem ainda o padrão locomotor ancestral dos seus antepassados, os primeiros tetrápodes, ou seja, ondulações laterais combinadas com movimentos das patas.

Quanto à reprodução, a variedade de especializações reprodutivas dos anfíbios é quase tão grande quanto à dos peixes, sendo que o número de espécies de peixes excede em mais de cinco vezes o de anfíbios. O modo reprodutivo ancestral dos Amphibia provavelmente consistia na deposição de grande número de ovos que eclodiam em larvas aquáticas, sendo que muitos anfíbios ainda se reproduzem dessa maneira. Em uma espécie terrestre, a presença de uma fase larval aquática permite o acesso a recursos não disponíveis de outro modo. As modificações do modo reprodutivo ancestral incluem a supressão do estágio larval, a viviparidade e o cuidado parental com ovos e filhotes, incluindo fêmeas que alimentam seus girinos.

O tegumento permeável dos anfíbios é fundamental em muitos aspectos de suas vidas. O tegumento é o principal local de troca dos gases respiratórios e precisa ser mantido úmido. A evaporação da água do tegumento limita a atividade da maioria dos anfíbios a microambientes relativamente úmidos. O tegumento contém glândulas que produzem substâncias utilizadas na corte, bem como outras glândulas que produzem substâncias tóxicas para afastar os predadores. Muitos anfíbios anunciam sua toxicidade por meio de sinais de advertência em cores vivas e algumas espécies não-tóxicas enganam os predadores imitando esses sinais coloridos das espécies tóxicas.

Os Amphibia ainda existentes, ou Lissamphibia, incluem três linhagens distintas: Anura (sapos, rãs e pererecas), Urodela ou Caudata (salamandras) e

Gymnophiona (cecílias ou cobras-cegas). A maioria dos Amphibia tem quatro patas bem desenvolvidas, embora algumas salamandras e todas as cecílias sejam ápodas. Os anuros não possuem cauda (daí o nome *amura*, que significa “sem cauda”), enquanto a maioria das salamandras tem longas caudas. A cauda das cecílias é curta, assim como a de outros grupos de animais alongados que vivem em tocas.

Os anfíbios parecem ser tipos bem diferentes de animais: os Anura possuem membros pelvicos alongados e corpo curto e inflexível, que não se dobra quando caminham; os Caudata possuem membros peitorais e pelvicos de igual tamanho e movem-se por ondulações laterais; e os Gymnophiona são ápodas e empregam a locomoção serpentiforme. Entretanto, todas essas diferenças estão relacionadas a especializações com relação à locomoção e um estudo mais aprofundado mostra que os anfíbios têm muitas características em comum.

A mais importante característica dos anfíbios é o tegumento úmido e permeável. O nome dado à linhagem, Lissamphibia, refere-se à pele (do grego *liss* = liso). No passado, vários tetrápodes primitivos da era Paleozóica tinham uma couraça dérmica em forma de escamas ósseas sobre o tegumento, a pele lisa, úmida, permeável e sem adornos é uma característica que surgiu depois e está presente em todos os Lissamphibia.

Quase todos os anfíbios atuais são carnívoros e, dentro de cada grupo, relativamente poucas especializações morfológicas estão associadas a hábitos alimentares diferentes. Os anfíbios comem quase tudo o que são capazes de capturar e engolir. Nas formas aquáticas, a língua é larga, achatada e relativamente imóvel, às vezes bifurcada, e os anfíbios terrestres podem protraí-la para capturar a presa.

O tamanho da cabeça é importante na determinação do tamanho máximo da presa que pode ser capturada, e espécies simpátricas de salamandras frequentemente apresentam tamanhos de cabeça marcadamente diferentes, sugerindo que se trata de uma característica que reduz a competição.

A forma do corpo dos anfíbios anuros provavelmente evoluiu a partir de um tipo inicial mais semelhante ao das salamandras. Sugeriu-se que tanto o salto como a natação foram o modo de locomoção que tornou vantajosa essa

modificação. As salamandras e as cecílias nadam como os peixes – passando uma onda senoidal sob o corpo. Os anuros têm corpo inflexível e nadam por meio de golpes simultâneos dos membros pelvins. Alguns paleontólogos sugeriram que a forma do corpo dos anuros evoluiu devido às vantagens desse modo de natação. Uma hipótese alternativa sugere que a forma do corpo dos anuros remonta à vantagem obtida pelo animal que podia repousar próximo à margem de um fluxo d'água e escapar de predadores aquáticos ou terrestres com um salto rápido seguido de locomoção na terra ou na água.

Quanto aos registros fósseis, os mais antigos que talvez representem os Amphibia modernos consistem

em vértebras isoladas do período Permiano que parecem incluir tipos de salamandras e anuros. O Anura mais antigo, *Prosalirus*, é do Jurássico Inferior da América do Norte. As salamandras e cecílias também são conhecidas desde o Jurássico. As ordens modernas de anfíbios tiveram histórias evolutivas claramente separadas por um longo período. A persistência dessas características comuns, como o tegumento permeável, após pelo menos 250 milhões de anos de evolução independente, sugere que as características compartilhadas são críticas para a formação do sucesso evolutivo dos Amphibia modernos. Em outras características, como reprodução, locomoção e defesa, os Amphibia mostram uma enorme diversidade.

2.2 - Salamandras, Anuros e Cecílias

Os anfíbios são atualmente a classe menos numerosa dos vertebrados, agrupadas em três ordens: os **gimnofiona** (cecílias, 5 famílias), sem extremidades e com aspecto vermiforme; os **caudata** ou urodelos (salamandras e tritões, 9 famílias), com cauda e extremidades bem desenvolvidas, e os **anuros** (rãs e sapos, 20 famílias), sem cauda. Estão ausentes dos mares e das zonas polares, mas apresentam grande diversidade nas zonas mais quentes e úmidas.

Os anfíbios de hoje são bastante diferentes entre si e, por isso, é difícil encontrar características que sejam comuns a todos. É necessário assim recorrer ao passado, pois estão relacionados com os peixes crossopterígeos, que são peixes que vivem nas águas doces e têm nadadeiras lobadas, pulmões e coanas entre as fossas nasais e a cavidade bucal. Tais características são comuns com as dos primeiros anfíbios, que ainda conservavam características pisciformes, como os ossos operculares e as espinhas ósseas na nadadeira caudal. Independentemente do fato da pressão, sofrida durante a sua evolução, ter sido provocada pelas secas periódicas, pela concorrência ou predação a que estavam expostos com relação aos animais aquáticos ou tendo em vista a possibilidade de explorar os recursos dos já abundantes invertebrados terrestres, o certo é que os anfíbios foram os primeiros vertebrados a colonizar a terra.

Os anfíbios predominaram durante todo o Carbonífero e o Permiano, com uma grande variedade de formas aquáticas e terrestres, algumas chegando a ter quatro metros de comprimento. Mas, no final do Triássico, decaíram e o domínio dos répteis sobrepujou-os. A origem dos anfíbios modernos pode ser encontrada no Triássico (caudata e anuros) ou no Terciário (cecílias). Esses fósseis são bastante semelhantes às formas atuais.

Anuros

Rãs, sapos e pererecas da ordem Anura ou Salientia (do latim *saliens*, saltando) são os mais abundantes e diversos de todos os anfíbios existentes. Aproximadamente 2.500 espécies estão distribuídas através da maioria das regiões temperadas e tropicais do mundo, embora não existam nas ilhas oceânicas e na Nova Zelândia. O tamanho do adulto varia da minúscula espécie cubana, com apenas 1cm de comprimento, até a espécie do este da África, *Gigantorana goliath*, com mais de 30cm de comprimento. As rãs mais comuns da América do Norte, tais como a *Rana pipiens*, que é usada em muitas aulas de biologia, a rã verde, *Rana clamitans*, e a rã touro, *Rana catesbeiana*, vivem na água, nas margens das poças e córregos, parados úmidos e florestas. Aqui no Brasil a espécie de rã mais conhecida é o *Leptodactylus ocellatus*, muito comum em regiões alagadiças, brejos etc. Os sapos mais comumente encontrados pertencem ao gênero *Bufo* e as pererecas mais conhecidas são as *Hylas*.

A pele delas é fina e úmida e as poderosas patas posteriores com membranas interdigitais são tão eficientes na natação quanto no salto.

Embora retornem à água para reproduzir-se, os sapos adultos vivem mais em ambientes terrestres do que as rãs e perereca. Os sapos são encontrados frequentemente em florestas, campos e jardins. Uma membrana pode estar presente na pata posterior, mas quase sempre é pequena.

As garras das patas posteriores de muitas espécies auxiliam a cavar buracos no solo, onde abrigam-se durante as horas mais quentes e mais secas do dia. Os sapos são mais ativos no início da manhã e à tarde. Sua pele é mais seca que a das rãs e pererecas, mas os sapos também perdem grande quantidade de água

através da pele. Existe menos trocas gasosas nos sapos do que nas rãs e a área da superfície interna dos pulmões é ligeiramente maior. As protuberâncias no dorso dos sapos são agregações de glândulas de veneno na pele. As secreções da maioria das espécies são apenas moderadamente irritantes, mas uma cobra experiente, um guaxinim ou outros predadores evitam comer sapos.

O tamanho e o peso do corpo na maioria das espécies de pererecas são reduzidos. Isto facilita subir em ramos pequenos e folhas com as lamelas adesivas da extremidade dos dedos. As propriedades adesivas dessas lamelas ou almofadas não se devem à secreção de substâncias pegajosas, mas sim à presença de dobras e cristas diminutas e numerosas que aderem às irregularidades do substrato.

Algumas rãs são inteiramente aquáticas e raras vezes abandonam a água. Entre elas está a rã africana *Xenopus laevis*, que apresenta garras e desenvolve-se com facilidade em laboratório. *Xenopus* adaptou-se à vida aquática, tornando-se neotênica e retendo muitas características das larvas, entre as quais a presença do sistema sensorial de linha lateral e a ausência de muitas características dos adultos, tais como a língua muscular, pálpebras e membrana timpânica. Outras espécies também conhecidas pelos seus hábitos aquáticos e que ocorrem aqui no Brasil pertencem ao gênero *Pipa*.

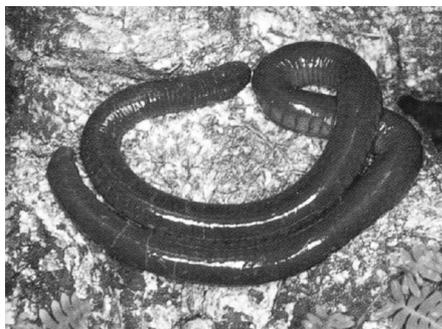
As especializações para o salto nas rãs e nos sapos são particularmente evidentes no esqueleto. A coluna vertebral é pequena e relativamente rija. As costelas embrionárias curtas fusionam-se com os processos transversais das vértebras. As patas posteriores são longas e fortes. O alongamento dos dois ossos tarsais aumenta o comprimento do pé e forma, na realidade, um outro segmento dobrado para saltar. A fusão da tíbia e da fíbula torna a perna mais resistente.

Cecílias

As cecílias, que pertencem à ordem **Gymnophiona** (do grego *gyrnnos*, nu + *ophioneos*, em forma de cobra), constituem o menor grupo conhecido de anfíbios existentes, isso porque vivem apenas nos trópicos e levam uma vida subterrânea, cavando buracos em solos úmidos à procura de pequenos invertebrados, dos quais se alimentam. Cerca de 200 espécies são conhecidas. Todas têm um corpo alongado, sem patas ou membros.

Olhando rapidamente, uma cecília pode ser confundida com uma minhoca. Elas são aproximadamente do mesmo tamanho e as dobras anulares da

pele dão uma aparência segmentar. No entanto, a cabeça das cecílias tem pequenas mandíbulas, narinas e um par de olhos vestigiais, parcialmente escondidos sob a pele.



O principal órgão sensitivo é um par de tentáculos protráteis que se situa em uma concavidade entre cada narina e olho. A abertura cloacal não é exatamente na extremidade do corpo, de forma que existe uma cauda curta. Pequenas escamas dérmicas estão encaixadas na pele.

A fecundação é interna, o que não é comum entre os anfíbios. A cloaca do macho é eversível e pode formar um órgão semelhante a um pênis. A maioria das espécies é ovípara e os ovos são depositados em solo úmido. Em algumas espécies, os ovos desenvolvem-se diretamente em miniaturas de adultos; em outras, ocorre a eclosão de larvas que se desenvolvem próximo à água. Poucas espécies são vivíparas, mas não têm placenta.

Salamandras

Em muitos aspectos, as salamandras estão mais próximas dos anfíbios ancestrais do que as rãs e as cecílias. Embora muito menores que os labirintodontes, elas mantêm a forma primitiva do corpo. As salamandras verdadeiras da ordem Caudata (do latim *cauda*, cauda) são encontradas embaixo de pedras e tronco em florestas úmidas e algumas são aquáticas. As salamandras ocorrem, principalmente, em regiões temperadas do mundo e a maioria das espécies é encontrada na América do Norte. Aproximadamente 400 espécies foram descritas até o presente.

Anatomicamente e fisiologicamente, as salamandras assemelham-se aos outros anfíbios, mas algumas espécies apresentam características de desenvolvimento e ciclos biológicos incomuns. As salamandras reproduzem-se na água e as suas larvas são aquáticas. Elas diferem das larvas das rãs e dos sapos porque mantêm as brânquias externas e dentes e outras estruturas bucais adaptadas para uma dieta mais carnívora do que herbívora.

A maioria dos adultos é terrestre, mas a espécie de salamandras do leste dos Estados Unidos retoma à água depois de passar por um estágio juvenil terres-

tre, conhecido como tritão vermelho, que apresenta uma notável coloração vermelho-alaranjada. Este é um exemplo de **cor apossemática** ou de advertência porque está relacionada a secreções nocivas da pele. Os pássaros predadores aprendem logo a reconhecer esta cor e evitam comer o tritão vermelho.

Embora a maioria das salamandras completa sua metamorfose como adultos terrestres, muitos grupos tomaram-se **pedomórficos** e retêm muitas características das larvas durante a vida adulta. A pedomorfose, entre as salamandras, desenvolveu a **neotenia**, isto é, o desenvolvimento somático tornou-se mais lento em

relação à maturação sexual, de forma que os animais tornam-se sexualmente maduros antes de completarem a metamorfose. A salamandra tigre, *Ambystoma tigrinum*, do platô mexicano, vive em poças frias das montanhas, mantém as brânquias externas e muitas outras características das larvas, reproduz-se como larva e nunca completa sua metamorfose. Em elevações baixas nos Estados Unidos, a salamandra tigre normalmente sofre metamorfose. O hormônio tireoxina, secretado pela glândula tireóide, é necessário para a metamorfose dos anfíbios. Sua secreção aparece para ser inibida nas baixas temperaturas do platô mexicano, mas não em menores elevações.



Salamandra tigre

A salamandra tigre é um exemplo de espécies que realizam neotenia facultativa. Uma espécie de salamandra aquática, do gênero *Necturus*, apresenta neotenia obrigatória e não sofre metamorfose sob quaisquer circunstâncias.

Reprodução

A maioria das salamandras usa a fecundação, mas em alguns poucos grupos mantêm a fecundação externa. Nas salamandras, a fecundação interna é realizada não por um órgão copulador, entretanto, algumas realizam a reprodução pela transferência de um

pacote de espermatozoides (o espermatóforo) do macho para a fêmea.

Corte

Os padrões de corte são importantes para o reconhecimento das espécies e mostram grande variação interespecífica. Os machos de algumas espécies têm elaborados caracteres sexuais secundários que são usados durante a corte. Feromônios são liberados primariamente pelos machos e desempenham importante papel na corte das salamandras.

Exercícios de Fixação

1 - Atualmente os anfíbios possuem formas corporais bastante distintas, mas são identificados como uma linhagem evolutiva única devido à presença de vários caracteres. Quais desses caracteres conduziram estas linhagens na mesma direção evolutiva?

2 - Os Amphibia ainda existentes, ou Lissamphibia, incluem três linhagens distintas. Cite-as e descreva-as.

3 - Os anfíbios predominaram durante todo o Carbonífero e o Permiano, com uma grande variedade de formas aquáticas e terrestres, algumas chegando a ter quatro metros de comprimento. Mas, no final do Triásico, decaíram e o domínio dos répteis sobrepujou-os. Comente sobre a evolução dos anfíbios.

4 - Rãs, sapos e pererecas da ordem Anura ou Salientia (do latim *saliens*, saltando) são os mais abundantes e diversos de todos os anfíbios existentes, descreva-os.

5 - As cecílias constituem o menor grupo conhecido de anfíbios existentes, isso porque vivem apenas nos trópicos e levam uma vida subterrânea, cavando buracos em solos úmidos à procura de pequenos invertebrados, dos quais se alimentam. À qual ordem de Amphibia pertencem as cecílias?

6 - Em muitos aspectos, as salamandras estão mais próximas dos anfíbios ancestrais do que as rãs e as cecílias. Embora muito menores que os labirintodontes, elas mantêm a forma primitiva do corpo. Comente sobre sua morfologia e seu modo de vida.

Leitura Complementar

Para você saber mais a respeito da origem, evolução e biologia dos anfíbios, leia sobre o assunto no livro *A vida dos vertebrados* (POUGH, H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B., 2003).

ESTUDO DOS RÉPTEIS

As tartarugas, jacarés, tuataras, anfisbenídeos, lagartos e serpentes, todos bem conhecidos, juntamente com os dinossauros e outras espécies extintas, são répteis (do latim *repto*, rastejar) e pertencem atualmente à Classe Reptilia. Foram descritas cerca de 6.000 espécies atuais. Como um grupo, eles continuaram a migração para a terra iniciada pelos peixes crossopterígeos e pelos anfíbios, e em geral adaptaram-se bem à vida terrestre. São capazes de viver em ambientes mais secos que os anfíbios e muitos podem ser encontrados em desertos.

Alguns readaptaram-se à vida aquática, mas todos têm que depositar seus ovos na terra, a menos que sejam vivíparos, como as serpentes marinhas. Até as tartarugas marinhas deixam a água para depositar seus ovos nas praias. A distribuição dos répteis é limitada, principalmente, pela sua incapacidade de manter a temperatura corporal mais elevada do que a do ambiente. Eles não são ativos no tempo frio e não são encontrados em regiões subárticas.

3.1 - Principais Adaptações dos Répteis

Os répteis são vertebrados muito ativos e ágeis, com adaptações que permitem uma exploração mais completa da terra. As glândulas mucosas não estão presentes na pele e a epiderme é seca e cornificada. Uma quantidade considerável de queratina, uma proteína insolúvel na água, é depositada nas células da epiderme, formando escamas córneas ou placas na superfície.

Ao contrário da opinião popular, as cobras não são nem um pouco viscosas. As únicas glândulas tegumentares dos répteis são poucas glândulas odoríferas, cujas secreções são utilizadas para atrair um eventual parceiro sexual. Em algumas lagartixas e crocodilos, placas ósseas pequenas desenvolvem-se na derme, abaixo das escamas dérmicas.

Embora os répteis sejam ectotérmicos, pois não conseguem manter a temperatura corporal acima da ambiental, pequenos répteis mantêm uma temperatura

constante alta em um ambiente quente e ensolarado, principalmente através de mudanças no seu comportamento. Os lagartos espinhosos dos desertos mantêm sua temperatura corporal em aproximadamente 34°C durante a maior parte do dia. Se a temperatura corporal cai abaixo de limiar da atividade normal, o lagarto fica em ângulo reto com os raios solares, expondo assim a maior parte da superfície do corpo ao sol. Se a temperatura do corpo aumenta muito, o lagarto procura um abrigo ou fica paralelo aos raios solares. É claro que os répteis maiores não podem sempre encontrar sombra necessária, mas o seu grande tamanho corporal provê alguma estabilidade térmica porque um tempo considerável é necessário para aquecer ou resfriar sua grande massa corporal. Este pode ter sido o principal mecanismo de regulação térmica dos dinossauros. Além da regulação comportamental, os répteis também podem dissipar ou reduzir a perda de calor corporal necessária através do controle da quantidade de sangue que flui através da pele.

3.2 - Evolução dos Répteis

Tendo “resolvido” os problemas essenciais da vida terrestre, numa época em que havia poucos competidores sobre a terra, os répteis multiplicaram-se rapidamente, espalharam-se por todos os habitats disponíveis para eles e especializaram-se. A maior parte da sua diversidade adaptativa envolveu diferentes métodos de locomoção e alimentação. Diferentes padrões alimentares impuseram, entre outras coisas, uma modificação nos músculos da mandíbula, e isto, por sua vez, afetou a estrutura da região temporal do crânio. A morfologia do crânio, portanto, é uma forma conveniente de selecionar as diversas linhagens evolutivas dos répteis.

Apenas uma pequena parte do crânio dos quadrúpedes primitivos realmente envolve o cérebro. Um grande espaço lateral à caixa do cérebro e posterior aos olhos é amplamente preenchido por músculos mandibulares, que se estendem até a mandíbula inferior. Nos répteis ancestrais um assoalho sólido do osso dérmico (crânio anapsídeo) cobre estes músculos dorsal e lateralmente. Como consequência de um certo aumento do cérebro e dos músculos mandibulares, vários tipos de aberturas desenvolveram-se no assoalho da têmpora na maioria dos grupos mais recentes de répteis. Os músculos da mandíbula partem da caixa craniana e da periferia da janela temporal, podendo passar através das aberturas quando contraem-se.

Tartarugas

Acredita-se que as tartarugas (ordem Testudines, do latim *testudo*, tartaruga) sejam descendentes diretos dos cotilossauros. A maioria reteve o crânio anapsídeo, mas adquiriu muitas características especializadas. Os dentes foram perdidos e as mandíbulas são cobertas por placas córneas e aguçadas. Seu corpo está incluído em uma concha protetora composta por placas ósseas que se depositam sobre as escamas córneas. As placas ósseas ossificaram-se na derme da pele, mas fusionaram-se com as costelas e algumas partes mais internas do esqueleto. A porção da placa que cobre o dorso é conhecida como carapaça e a porção vertebral, como plastrão.

As tartarugas ancestrais eram seres com pescoço rijo, incapazes de retrair a cabeça, mas as espécies atuais conseguem recolher a cabeça para dentro da carapaça. Isto é acompanhado, na maioria das espécies, por um curvamento do pescoço numa dobra em forma de “S” no plano vertical, mas um grupo de espécies da América do Sul, África e Austrália desenvolveu um método diferente. Elas retraem o pescoço em um plano horizontal e, por isso, são conhecidas como tartarugas com pescoço lateral.

Apesar de a aparência desajeitada, as tartarugas são um grupo ancestral muito bem-sucedido, cuja ancestralidade pode ser traçada do período Triássico. Elas passaram por uma extensa diversidade adaptativa e são representadas atualmente por 230 espécies.

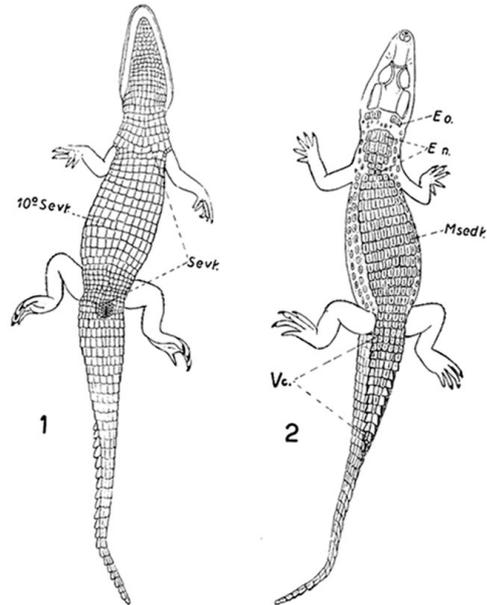
Crocodilianos

Durante a era Mesozóica, a Terra era dominada pelos **arcossauros** – répteis que tinham características tais como um crânio diapsídeo e uma tendência a desenvolver postura bípede. Os apêndices peitorais reduzidos, apêndices pélvicos aumentados e uma cauda forte que podia auxiliar a equilibrar o tronco estavam relacionados a este método de locomoção.

A maioria dos arcossauros foi extinta por volta do final do Mesozóico, mas a razão para isto ainda não está totalmente esclarecida. No final do período Cretáceo, as temperaturas ambientais tornaram-se um pouco mais frias e desapareceram os grandes mares do interior que devem ter estabilizado as flutuações de temperatura.

As mudanças de temperatura sazonais e diárias eram, provavelmente, mais pronunciadas do que no início da Era Mesozóica. A incapacidade dos grandes dinossauros de esconder-se em abrigos ou de hibernarem pode tê-los tornado vulneráveis, especialmente se sua capacidade de conservar o calor corporal era rudimentar. As mudanças na vegetação que acompa-

nharam as alterações climáticas também podem ter sido um fator. A incapacidade dos herbívoros especializados de adaptar-se às mudanças na vegetação pode tê-los levado à morte. Seu desaparecimento, por sua vez, deve ter privado os grandes carnívoros da maior parte da sua alimentação.



Apenas um grupo de arcossauros sobreviveu a esta extinção total – os crocodilos e jacarés (ordem **Crocodylia**, do latim *crocodilus*, crocodilo). Os crocodilos readquiriram uma postura quadrúpede (embora suas patas posteriores sejam muito mais longas que as anteriores) e um modo de vida semelhante ao dos anfíbios. Vinte e três espécies são conhecidas, mas apenas seis ocorrem no Brasil. O jacaré de papo amarelo (*Caiman latirostris*), distinguido por seu focinho arredondado, é a espécie atualmente mais estudada. As espécies conhecidas como crocodilos apresentam um focinho muito mais pontudo. A cauda deles é achatada lateralmente, de forma que é um órgão natatório muito eficiente. Os olhos, ouvidos e aberturas nasais situam-se em elevações no topo da cabeça, de forma a manter-se acima da água quando o animal está submerso.

Rincocéfalos

Os répteis conhecidos como tuataras pertencem ao gênero *Sphenodon* da Nova Zelândia. A tuatara é o membro mais primitivo do grupo dos Squamatas (do latim *squamatus*, escamoso, escamados) e a única espécie sobrevivente da ordem Rhynchocephalia (do grego *rhynchos*, bico, nariz + *cephale*, cabeça).

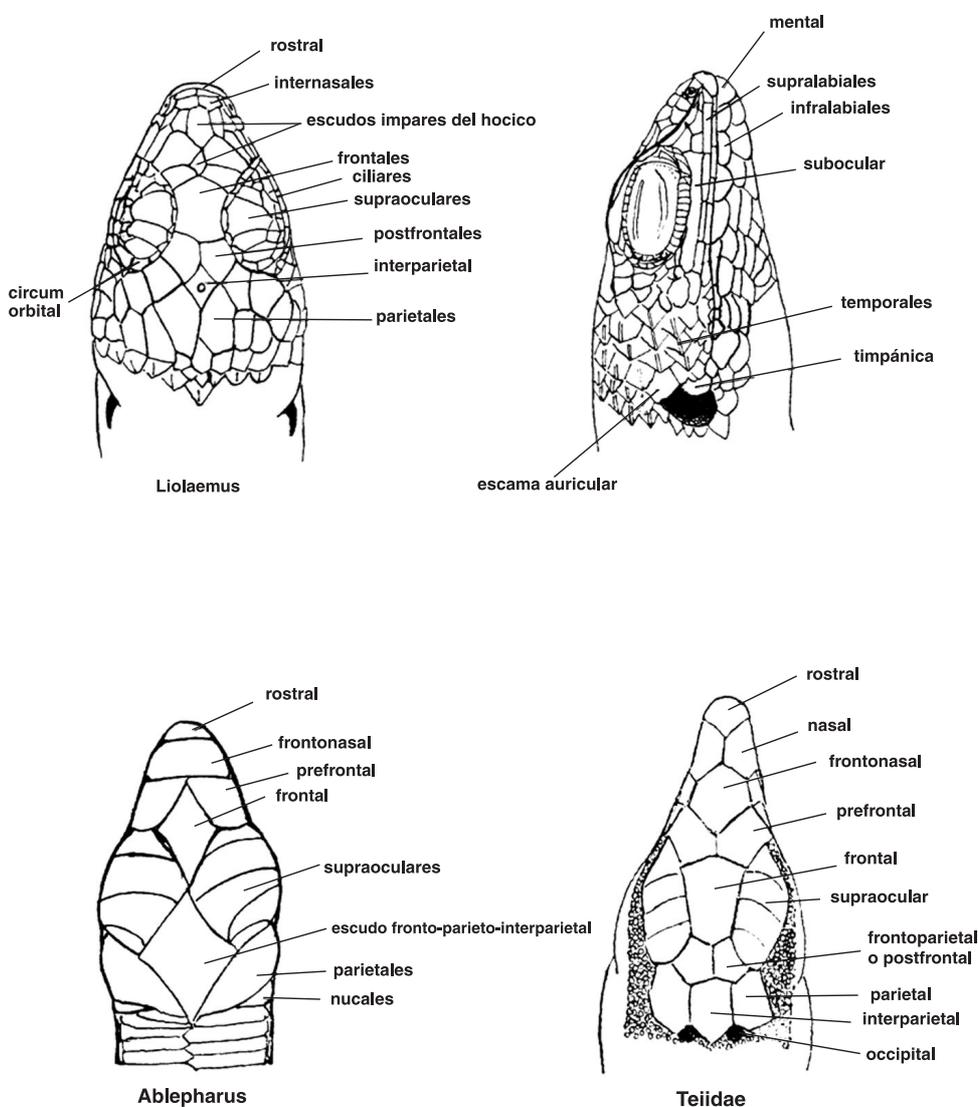
Os rincocéfalianos são semelhantes aos camaleões na aparência geral, mas têm um nariz semelhante a um bico e um crânio diapsídeo com duas aberturas temporais. Durante uma época, o grupo expandiu-se,

mas atualmente está limitado a poucas ilhas das costas da Nova Zelândia. *Sphenodon* é um sobrevivente “fóssil”, pois não sofreu muitas modificações desde a espécie em que viveu, 150 milhões de anos atrás.

Lagartos

Os conhecidos lagartos, as cobras e os anfisbenídeos, embora superficialmente diferentes, têm uma estrutura básica semelhante o suficiente para serem colocados na mesma ordem Squamata. Os lagartos são os membros mais antigos e primitivos da ordem e, provavelmente, evoluíram a partir de alguns ancestrais semelhantes aos rincocéfalos do início da era Mesozóica, sendo classificados nas subordens Sauria ou Lacertilia (do grego *sauros*, lagarto).

Uma característica distinta dos lagartos é a redução da região temporal do assoalho do crânio. Perderam a parte inferior do osso que se estendia, no crânio diapásideo, a partir da região inferior do olho até o osso quadrado. Como resultado disso, o osso quadrado, no qual a mandíbula inferior encaixa-se, não é tão firmemente preso no lugar, podendo mover-se em alguma extensão. O aparelho mandibular é mais flexível, a boca pode abrir-se mais, possibilitando a captura e deglutição de presas maiores. Em outros aspectos, os lagartos mantêm muitas características primitivas. A maioria das espécies apresenta patas, pálpebras móveis e uma membrana timpânica situada na base do canal do ouvido externo.



Os lagartos têm sido muito bem-sucedidos e passaram por uma enorme diversidade adaptativa. Aproximadamente 3.000 espécies ocorrem na região tropical e na maior parte das regiões temperadas do mundo. A maioria dos lagartos é quadrúpede terrestre e alimenta-se de insetos e de outros animais pequenos durante as horas do dia, mas as lagartixas tropicais caçam à noite.

Cobras

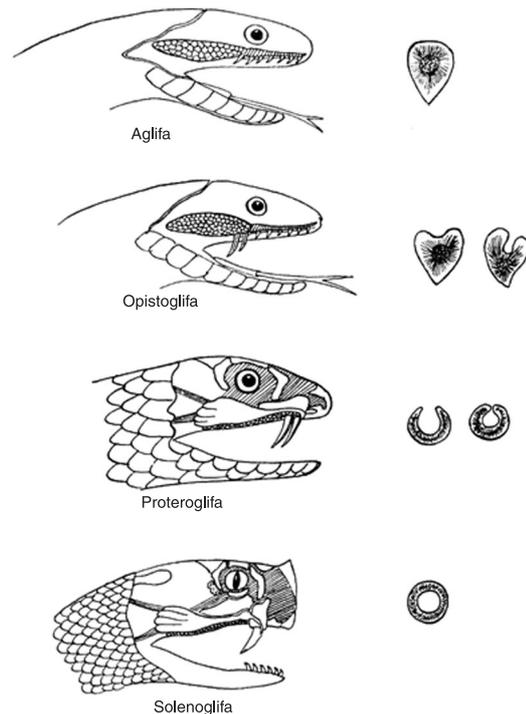
As cobras são colocadas na subordem Serpentes ou Ophidia (do latim *serpenti*, serpente). A perda adicional do osso pós-orbital no assoalho dérmico do crânio deixa o osso escamoso livre. O mecanismo mandibular é excepcionalmente flexível e as cobras podem engolir presas muitas vezes maiores do que seu próprio diâmetro. Num aspecto, as cobras têm cinco articulações mandibulares: (1) a normal entre a mandíbula quadrada e a inferior, (2) uma entre o quadrado e o escamoso, (3) uma entre o escamoso e a caixa craniana, (4) uma mais ou menos na metade do comprimento da mandíbula inferior, e (5) uma no queixo, pois as duas mandíbulas inferiores não são tinidas neste ponto. Cada lado da mandíbula inferior pode ser movido independentemente quando a presa entra na boca.

Outra característica típica das cobras é a ausência das pálpebras móveis, da membrana timpânica e da cavidade do ouvido médio e das patas e cinturas. A ausência da cintura peitoral está necessariamente relacionada à deglutição de animais maiores do que o diâmetro do corpo. Existem exceções a estas generalizações; as lagartixas não apresentam pálpebras móveis, “cobras”-de-vidro (um lagarto) não apresentam patas e algumas das cobras mais primitivas, tais como os pitonídeos, têm patas vestigiais.

O corpo vermiforme das cobras, a ausência da membrana timpânica e certas alterações degenerativas nos olhos levam a crer que as cobras evoluíram a partir de um grupo primitivo de lagartos cavadores de buracos. A língua bifurcada, que é freqüentemente projetada para fora da boca, é um órgão relacionado ao tato e ao odor. As partículas aderem a ela, a língua retrai-se para dentro da boca e a extremidade é projetada para uma parte especializada da cavidade nasal (órgão de Jacobson), onde o odor da partícula pode ser detectado. Embora este órgão esteja presente em muitas ordens de vertebrados terrestres, ele é particularmente bem desenvolvido nas cobras, sendo utilizado por elas para seguir trilhas de presas e para reconhecimento sexual.

Poucas cobras primitivas ainda cavam buracos, mas durante sua evolução subsequente, a maioria das cobras adaptou-se a vida epígnea e sofreu uma grande diversidade adaptativa. Aproximadamente 2.700 es-

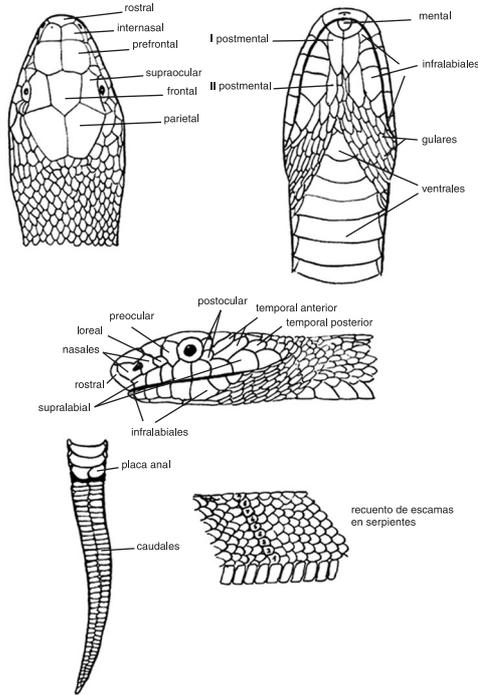
pécies ocorrem nas regiões temperadas e tropicais do mundo. Desenvolveu-se um padrão de locomoção que depende principalmente dos movimentos ondulatórios do tronco longo. Quando uma cobra move-se na grama, por exemplo, lança o tronco para trás da cabeça e movimenta-se em sentido posterior. Quando estes movimentos encontram protuberâncias no solo, lançam-se contra eles e as resultantes destas forças impulsionam a cobra para a frente. Cobras que sobem em árvores ou arrastam-se através de solos irregulares desenvolveram outros padrões de locomoção.



As cobras são predadoras de peixes, rãs, lagartos, aves e pequenos mamíferos. Aquelas cujas presas são animais muito ativos, tais como aves e mamíferos capazes de ferir seriamente as cobras com seus bicos ou dentes, desenvolveram métodos de imobilização das presas. A jibóia, e muitas cobras inofensivas que se alimentam de roedores, entrelaçam suas presas rapidamente com laçadas do tronco e sufocam a presa, impedindo seu movimento respiratório.

Outros grupos desenvolveram glândulas de veneno associadas a dentes com sulcos ou cavidades. As víboras do Velho Mundo e as do Novo Mundo (cascavel, jararaca) têm um par de presas longas na frente da boca que são articuladas aos ossos da mandíbula superior e ao palato, de tal forma que eles ficam dobrados contra o assoalho da boca quando ela se fecha e saem automaticamente quando ela se abre. Depois de injetarem seu veneno, que causa a destruição das células sanguíneas vermelhas, elas afastam-se e aguardam a presa ficar

calma antes de iniciar a deglutição. As cobras corais e as najas têm presas imóveis na frente da mandíbula superior, com as quais injetam o veneno neurotóxico.



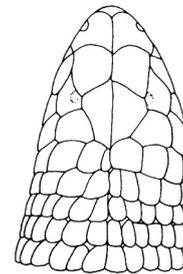
Os viperídeos têm uma fosseta sensorial proeminente de cada lado da cabeça, entre a narina e o olho. Estes órgãos permitem que as cobras encontrem e lancem-se certeira-mente sobre objetos vivos que estão ao redor e auxiliam-nas a se alimentarem de pequenos mamíferos noturnos.

Muitas cobras vibram suas caudas quando estão em pe-rigo. As cascavéis aumentaram sua eficiência neste há-

bito pelo desenvolvimento de chocalhos na extremidade da cauda. Os chocalhos são remanescentes de pele seca e córnea, que não se dividem completamente através do alongamento da extremidade da cauda, quando o animal sofre a muda. Os chocalhos podem ter se desenvolvido como um mecanismo de advertência que impediu que as cobras fossem pisoteadas por outros animais.

Anfisbenídeos

As cobras-de-duas-cabeças fazem parte atualmente da subordem Amphisbaenia, não estando mais inclu-ídas na ordem dos lagartos, pois parecem descender de escamados muito primitivos. O nome deste grupo (do grego *amphi*, ambos + *baino*, ir) refere-se à sua capacidade de mover-se facilmente tanto para a frente quanto para trás, dentro dos seus buracos.



Seu corpo é vermiforme e cavam buracos altamente especializados, nos trópicos e subtropicais. Aproximadamente 140 espécies são conhecidas. Não existe abertura do ouvido externo, mas elas podem detectar vibrações do solo por meio de uma expansão do es-tribo na mandíbula inferior. Seus olhos rudimentares são escondidos abaixo da pele, mas o rastro das pre-sas é seguido principalmente pela audição.

Exercícios de Fixação

1 - Os répteis continuaram a migração para a terra iniciada pelos peixes crossopterígeos e pelos anfíbios, e em geral adaptaram-se bem à vida terrestre. São capazes de viver em ambientes mais secos que os anfíbios e muitos podem ser encontrados em desertos. Cite algumas das principais adaptações dos répteis.

2 - Embora os répteis sejam ectotérmicos, pois não conseguem manter a temperatura corporal acima da ambiental, pequenos répteis mantêm uma temperatura constante alta e regular em um ambiente quente e ensolarado, principalmente através de mudanças no seu comportamento. Exemplifique.

3 - Acredita-se que as tartarugas sejam descendentes diretos dos cotilossauros. A maioria reteve o crânio anap-sídeo, mas adquiriu muitas características especializadas. Cite algumas das suas características.

4 - Os lagartos têm sido muito bem-sucedidos e passaram por uma enorme diversidade adaptativa. Quais são as características principais que estão ligadas ao seu sucesso?

5 - As cobras são colocadas na subordem Serpentes ou Ophidia. A perda adicional do osso pós-orbital no assoalho dérmico do crânio deixa o osso escamoso livre. Quais foram as conseqüências dessas mudanças morfológicas no crânio das serpentes?

6 - Quais são as características que levam a crer que as cobras evoluíram a partir de um grupo primitivo de lagartos cavadores de buracos?

7 - As cobras-de-duas-cabeças fazem parte atualmente da subordem Amphisbaenia, não estando mais incluídas na ordem dos lagartos, pois parecem descender de escamados muito primitivos. Descreva as suas principais características.

Leitura Complementar

Para você saber mais a respeito da origem e evolução dos répteis e diversas outras informações complementares e importantes, leia sobre o assunto no livro *A vida dos vertebrados* (POUGH, H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B., 2003).

ESTUDO DAS AVES

A classe Aves (do latim *avis*, ave) é o maior grupo de vertebrados terrestres, compreendendo cerca de 8.700 espécies. Elas adaptaram-se ao voo logo no início de sua evolução e, em sua maioria, são excelentes voadoras. Até mesmo as poucas espécies que retornaram completamente à vida terrestre mostram características anatômicas e fisiológicas que indicam sua evolução a partir de ancestrais voadores.

A adaptação ao voo impôs uma certa uniformidade na estrutura básica e na fisiologia de todas as aves. Além das penas e asas, ou vestígios de asas em certas espécies terrestres, o voo requer um alto dispêndio de

energia. Todas as aves são endotérmicas, tendo desenvolvido meios para conseguirem isto num corpo de pouco peso. Quando não estão no ar, as aves vivem sobre o solo ou na água, ou em ambos, estando bem adaptadas a estes habitats.

A endotermia e o poder de voo das aves possibilita-lhes penetrar e adaptar-se a uma variedade maior de locais do que qualquer grupo de vertebrados. Elas são encontradas desde as regiões polares até o equador e vivem nas montanhas, desertos, florestas e matas. Algumas vivem a maior parte de sua vida nos oceanos e só retomam à terra para reproduzir-se e construir seus ninhos.

4.1 - Princípios do Voo

É importante compreender os mecanismos e princípio do voo, visto ser o principal aspecto da evolução das aves. As asas são apêndices peitorais modificados e as superfícies de voo são compostas por penas.

A asa tem um formato de aerofólio, espessa na frente e afilada para trás e, em geral, é arqueada, o que faz com que sua superfície inferior seja levemente côncava e a superior, convexa. Uma corrente de ar passando pela asa move-se mais rapidamente pela sua superfície superior, maior, do que pela superfície inferior, menor. Segundo a lei de Bernoulli, numa corrente de um gás, a pressão é menor quando a velocidade é maior. A diferença de velocidade do ar diminui a pressão sobre a asa em relação à face inferior. Isso produz uma força de elevação, que atua perpendicularmente ao plano de movimento da asa, e uma força de atrito, paralela a este plano. Para a ave voar, a força de elevação tem de ser igual à força de gravidade na ave e a força propulsora deve superar a força de atrito. A forma da asa permite um voo plano no ar e minimiza a turbulência. Algumas correntes de ar, entretanto, fazem voltas, redemoinhos, que se espalham pelo ápice e margem posterior das asas, como um par de redemoinhos alinhados. Isto pode ser visto frequentemente num avião de voo alto, como dois rastos de vapor, devido à rápida rotação do ar e, conseqüentemente, baixa de pressão no núcleo do alinhamento de redemoinho, causando condensação.

Muitos fatores afetam a elevação. Ela aumenta em proporção direta com a superfície da asa. A área das asas difere entre as diversas espécies de aves e pode variar num só indivíduo pelo seu grau de desdobramento.

A elevação também aumenta muito com o aumento de velocidade da corrente de ar através da asa, pois a elevação é proporcional ao quadrado da velocidade.

As aves de voo rápido, tais como a andorinha, têm asas relativamente menores do que as de voo lento. Quando a ave está voando a baixa velocidade, ou durante a decolagem ou aterrissagem, a asa, na sua margem anterior, pode ser inclinada consideravelmente para o alto, procedimento este conhecido como aumento do ângulo de ataque. Isto aumenta a elevação, mas também tende a criar uma turbulência redutora da elevação acima da asa. Separando certas penas a fim de produzir fendas, pelas quais o ar move-se muito rapidamente, pode-se reduzir a turbulência e possibilitar à asa criar uma elevação muito alta.

Um pequeno grupo de penas sustentadas pelo primeiro dedo, a **álula** (do latim, diminutivo de ala, asa), é capaz de produzir uma fenda na frente da asa. Outras fendas geralmente formam-se ao longo da margem posterior e do ápice da asa. As fendas neste último reduzem a turbulência conhecida como redemoinho do ápice. Algumas aves conseguem obter elevação adicional durante a aterrissagem abanando as penas da cauda e dobrando-as para baixo. A cauda, então, atua tanto como freio quanto como aerofólio de baixa velocidade e de alta elevação.

O tipo mais simples de voo é o planador, durante o qual as asas fazem a elevação e o movimento para diante vem com a queda no ar. A altitude é perdida num deslize como este, mas ela pode ser mantida e, até mesmo, aumentada, se a ave elevar-se.

Aves terrestres, como o peru, o abutre ou a águia pescadora, rodam e caem numa corrente ascendente de ar quente, ou acima de uma escarpa, onde o ar é desviado para cima. As aves que fazem um vôo alto estático deste tipo têm asas largas e relativamente pequenas, o que as torna capazes de manobrar facilmente as correntes de ar. Tais asas têm baixa proporção entre suas dimensões (comprimento da asa, largura da asa). O vôo é lento e, por isso mesmo, as asas necessitam ter uma ampla área superficial para fornecer uma elevação adequada, sustentando a ave. A isto denomina-se baixa proporção de peso da asa (peso da ave, superfície da asa). A elevação adicional é gerada por fendas da asa, principalmente perto do ápice.

As aves oceânicas fazem um vôo alto e dinâmico utilizando o aumento da velocidade do ar com o aumento da elevação, acima da superfície do mar. O atrito com o oceano faz com que a velocidade seja mais lenta próximo à superfície do mar. Começando com uma alta elevação, estas aves planam rapidamente para baixo com o vento.

Logo acima do oceano, elas dão voltas com o vento e utilizam a tendência de prosseguir no vôo obtida pela planação para, então, começar a ganhar altitude. À medida que ganham altitude, adquirem velocidades cada vez mais rápidas, que geram elevação adicional. Neste momento, as aves retornam à sua altitude original.

As aves com vôo dinâmico, por utilizarem a velocidade do ar para a maior parte de suas elevações, têm asas com maiores proporções de peso, que as

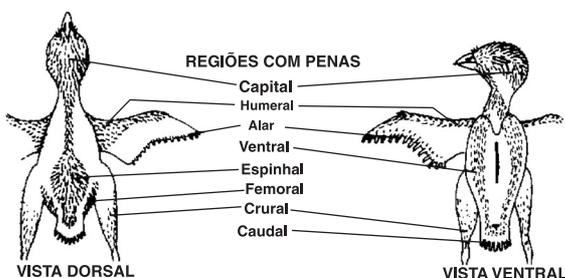
aves de vôo alto estático. Elas também têm asas estreitas e longas (alta proporção entre as dimensões) com pequenas fendas. Isto reduz os redemoinhos do ápice, afastando-os.

O vôo com batimento de asas é mais complexo do que a planação ou vôo alto porque as asas não estão paradas. Um outro tipo de vôo é o com batimento de asas. As asas são distendidas e batem para cima e para baixo durante uma série de movimentos para baixo. Elas também ficam inclinadas em relação ao plano horizontal, com sua margem anterior mais baixa que a posterior. Isto muda a direção da elevação local e as forças de arrasto agem em cada parte da asa, fornecendo um componente propulsor à força de elevação, além de reduzir o componente retardado da força de atrito. Deste modo, a asa, ou pelo menos a parte distal do punho, que se inclina da posição horizontal para uma extensão maior que o resto da asa, tem um efeito propulsor.

Muitas das penas individuais de vôo na parte distal da asa também separam-se, bem como, de certo modo, atuam como propulsores individuais. Nos movimentos para cima, a asa é flexionada e bate para cima e para baixo, através de um simples movimento de recuperação, e não gera forças aerodinâmicas utilizáveis. Outras forças de propulsão e de elevação parecem ser geradas por movimentos do ar provocados pelas asas. Em todos os tipos de vôo, a cauda ajuda a sustentar e equilibrar o corpo e é usada como leme.

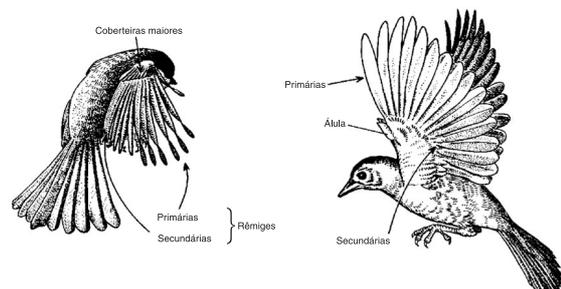
4.2 - Regulação Térmica

As aves permaneceram com as escamas córneas dos répteis em algumas áreas de suas pernas, nos seus pés e, de maneira modificada, como uma cobertura de seus bicos. No entanto, as escamas que cobrem o resto do corpo do réptil transformaram-se em penas. As penas são um componente importante do sistema termorregulador, que mantém o equilíbrio entre a produção de calor, por processos metabólicos, e a sua perda.



As penas envolvem e retêm ar entre elas, o que reduz a perda de calor corpóreo, porque impede a passagem das correntes de convecção de ar através da

superfície corporal, que poderiam retirar o calor. O ar retido é um mau condutor de calor.



A água, um excelente condutor de calor, não consegue penetrar por entre as penas devido à existência de uma secreção oleosa produzida pela **glândula uropígea** (do grego *oura*, cauda + *puge*, anca), localizada na região posterior do corpo da ave, perto da base da cauda. Quando a ave limpa e arruma suas penas, ela espalha esta secreção sobre as mesmas. A glândula uropígea das aves aquáticas é bastante desenvolvida.

Quando a temperatura cai, as penas ficam estofadas, o que aumenta a espessura da camada de ar sob as mesmas. Se a temperatura cair bem devagar, a ave tem que produzir mais calor intensificando seu metabolismo, como fazem os mamíferos.

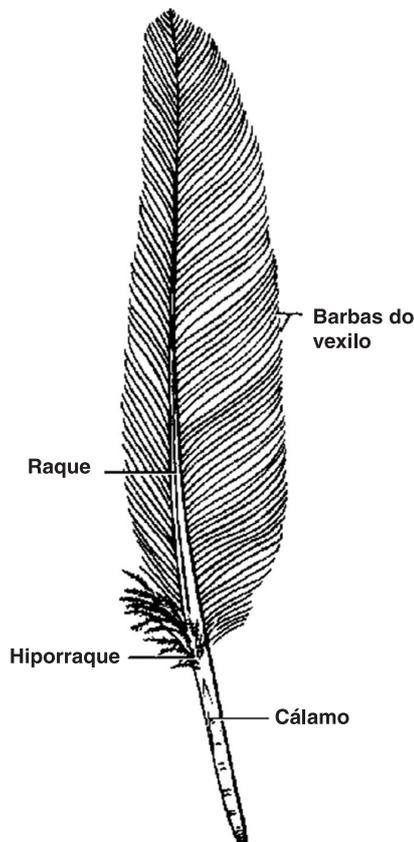
Quando a ave tem que perder calor, as penas aproximam-se bastante da superfície do corpo e

maior quantidade de sangue flui através da pele (especialmente em áreas sem penas, tais como as pernas) e iniciam-se palpitações. As aves não têm glândulas sudoríparas. A interação entre estes mecanismo permite que elas mantenham constante a temperatura corporal em níveis relativamente elevados, entre 40^o e 43^oC.

4.3 - Penas

As penas, assim como as escamas córneas, são multiplicações epidérmicas cujas células acumularam grandes quantidades de queratina e não vivem mais. Pigmentos depositados nestas células durante o desenvolvimento da pena, bem como as modificações da superfície que refletem certos raios luminosos, são responsáveis pelas cores brilhantes das aves.

Embora as penas cubram a ave, elas estão restritas, na maioria das espécies, a determinadas áreas de penas, ao invés de crescerem uniformemente em toda superfície do corpo. Mais do que qualquer outra característica, as penas distinguem as aves dos outros grupos de animais.



As penas de contorno, que cobrem o corpo e estabelecem a superfície de vôo, consistem em uma haste central rígida, cuja base, o cálamo (do grego *kalamos*, tubo), está presa a um foliculo na pele. A parte distal

da haste, a raque (do grego *rhakis*, espinho), sustenta um eixo composto por numerosas ramificações, as barbas (do latim *barba*, barba).

Cada barba contém pequenas ramificações com ganchos, as bárbulas, que se entrelaçam às outras bárbulas de barbas adjacentes, unindo-as. Quando as barbas separam-se, a ave consegue limpar e recompor a pena com seu bico até uni-las de novo; portanto, o eixo é uma superfície forte, brilhante e capaz de fácil reparação, ideal para insuflar-se e planar.

Uma pequena hiporraque surge na extremidade distal do cálamo nas penas de aves primitivas, mas está reduzida a um tufo de barbas nas espécies mais especializadas. Quando presentes, elas fornecem um estofamento extra.

As penas de contorno na margem posterior do braço, mão e cauda formam superfícies de vôo, denominando-se penas de vôo. Nas aves velozes, a raque de uma pena da asa está próxima à margem de condução. Esta área, então, fica mais espessa e dá à pena uma propriedade de aerofólio.

Outros tipos principais de penas são as plumas, filoplumas e cerdas. As plumas cobrem aves jovens, sendo encontradas abaixo das penas de contorno nos adultos de certas espécies, particularmente nas aquáticas. Elas proporcionam um tipo de isolamento eficaz e incomum, pois têm um eixo reduzido e longas barbas cobertas de penugem saindo diretamente da extremidade distal do cálamo. Uma filopluma consiste em uma raque filiforme delicada, com poucas barbas no ápice. Seus foliculos são ricamente supridos por terminações nervosas, o que indica que elas atuam como órgãos dos sentidos, ajudando a controlar os movimentos de outras penas. As cerdas são penas firmes, sem vexilo, geralmente encontradas ao redor dos olhos e nariz, onde ajudam a manter afastada desses órgãos a sujeira. Algumas aves insetívoras, tais como o gavião noturno, têm longas cerdas ao redor da boca, que atuam como redes para capturar os insetos.

A maioria das aves realiza a muda uma vez ao ano, em geral após a época da reprodução. Naquelas que apresen-

tam plumagens especiais de reprodução, a muda ocorre antes da época da reprodução. As penas são perdidas e substituídas numa seqüência característica para cada espécie. O processo é gradual na maioria das espécies e as

aves podem movimentar-se livremente durante a muda. Certos patos do sexo masculino, entretanto, mudam as largas penas de vôo das suas asas tão rapidamente que se tornam incapazes de voar por algum tempo.

Exercícios de Fixação

1 - A classe Aves é o maior grupo de vertebrados terrestres, compreendendo cerca de 8.700 espécies. Elas adaptaram-se ao vôo logo no início de sua evolução e, em sua maioria, são excelentes voadoras. A adaptação ao vôo impôs uma certa uniformidade na estrutura básica e na fisiologia de todas as aves. Comente.

2 - As aves são encontradas desde as regiões polares até o equador e vivem nas montanhas, desertos, florestas e matas. Quais são as características que possibilita-lhes penetrar e adaptar-se a uma variedade maior de locais do que qualquer grupo de vertebrados?

3 - As aves permaneceram com as escamas córneas dos répteis em algumas áreas de suas pernas, nos seus pés e, de maneira modificada, como uma cobertura de seus bicos. No entanto, as escamas que cobrem o resto do corpo do réptil transformaram-se em penas. As penas são um componente importante do sistema termorregulador. Descreva os mecanismos de regulação térmica nas aves.

4 - As penas, assim como as escamas córneas, são multiplicações epidérmicas cujas células acumularam grandes quantidades de queratina e não vivem mais. Descreva as estruturas básicas de uma pena.

5 - É importante compreender os mecanismos e princípio do vôo, visto ser o principal aspecto da evolução das aves. As asas são apêndices peitorais modificados e as superfícies de vôo são compostas por penas. Descreva os mecanismos de vôo das aves.

6 - A forma da asa permite um vôo plano no ar e minimiza a turbulência. Algumas correntes de ar, entretanto, fazem voltas, redemoinhos, que se espalham pelo ápice e margem posterior das asas, como um par de redemoinhos alinhados. Descreva os diversos tipos de vôos das aves.

Leitura Complementar

Para você saber mais a respeito da origem, evolução e biologia das aves e diversas outras informações importantes, leia sobre o assunto no livro *A vida dos vertebrados* (POUGH, H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B., 2003).

ESTUDO DOS MAMÍFEROS

Entre todos os grupos de vertebrados, os mamíferos (classe Mammalia, do latim *mamma*, mama) são de particular interesse para nós, pois somos mamíferos, assim como nossos animais domésticos que nos auxiliam em nossos trabalhos e nos fornecem lã, couro e grande parte da nossa alimentação.

Embora os mamíferos não sejam uma classe grande – existem apenas cerca de 4.100 espécies – constituem um grupo muito diversificado. Esta classe inclui o ornitorrinco, animal que coloca ovos e tem o bico semelhante ao do pato, e os monotremados, animais espinhosos da região australiana que se alimentam de formigas; o gambá, o canguru e outros marsupiais

providos de bolsa, além da grande variedade de mamíferos placentários verdadeiros, que variam de tamanho, desde o pequeno musarinho que pesa poucas gramas até as baleias gigantes, cujo peso ultrapassa 100 toneladas.

Os mamíferos são vertebrados muito ativos e ágeis, com alto nível metabólico. Eles têm poucos filhos, mas investem tempo e energia consideráveis na proteção dos mesmos. Um aumento de atividade e um maior cuidado com os jovens representam aspectos fundamentais na evolução dos mamíferos, aspectos aos quais a maior parte das outras características está relacionada.

5.1 - Principais Adaptações dos Mamíferos

Regulação da Temperatura

Embora os répteis possam manter a temperatura corporal alta e constante em ambientes quentes e ensolarados, a maioria deles não tem condições de manter a temperatura do corpo quando o sol se põe.

Os répteis têm que ser criaturas diurnas, com maior atividade durante o dia. Os mamíferos podem produzir calor internamente, controlando sua perda e ganho, mantendo uma temperatura corporal relativamente alta e constante, tanto durante o dia quanto durante a noite. Eles são endotérmicos. Muitas espécies de mamíferos são noturnas; muitas vivem em regiões frias do mundo, onde nenhum réptil conseguiria sobreviver.

Evolução da Endotermia

Parece que os mamíferos endotérmicos evoluíram em duas etapas. Primeiro, os mamíferos tornaram-se termoreguladores noturnos e, depois, termoreguladores diurnos.

Os mamíferos mais primitivos dos períodos Triássico superior e Jurássico inferior eram criaturas pequenas, com tamanho semelhante ao de um rato. Muitos pesquisadores acreditam que se alimentavam de insetos noturnos. Eles apresentavam uma denticção adaptada para alimentar-se de insetos e a estrutura do crânio indica que a região coclear do ouvido e dos órgãos olfatórios era muito elaborada. Estes sentidos apresentam importância particular para as criaturas noturnas.

Para serem ativos à noite, em temperaturas ambientais de 25° a 30°C, os mamíferos primitivos devem ter sido capazes de produzir calor interno e de evitar a sua perda através da presença de camadas isolantes de gordura subcutânea e pele. Provavelmente, eles não mantêm a temperatura do corpo muito mais alta do que a dos seus ambientes.

O porco-espinho europeu é insetívoro noturno contemporâneo deste tipo e, provavelmente, ocupa este nicho através da sua história evolucionária. Ele mantém a temperatura corporal apenas poucos graus abaixo da temperatura ambiental noturna e consegue fazer isso com um consumo de oxigênio que não chega a ser maior do que o de um réptil de tamanho semelhante, com atividade à mesma temperatura.

Quando alguns mamíferos primitivos tornaram-se diurnos, eles tiveram que adaptar suas atividades a temperaturas diurnas altas. Para manter a temperatura corporal tão baixa quanto a dos seus ancestrais noturnos, i.e., 25° a 30°C, eles necessitariam de um resfriamento considerável por evaporação e perda de água.

Eles “optaram” por uma temperatura corporal mais alta, de aproximadamente 35° a 40°C. Mas a manutenção de uma temperatura durante os períodos mais frios do dia requer maior gasto de energia do que um réptil. Sua energética transformou-se e seu metabolismo é três a quatro vezes mais intenso do que o dos répteis de tamanho similar, sob condições semelhantes.

Mecanismos de Regulação

Os mecanismos de regulação de temperatura nos mamíferos contemporâneos são bem conhecidos. O calor é produzido internamente, através do alto nível metabólico. A sua perda é reduzida, devido a uma camada subcutânea de gordura e a pêlos que fornecem uma camada de isolamento de ar próximo à pele.

O calor pode ser perdido por um aumento na quantidade de sangue que flui através da pele e por um resfriamento devido à evaporação do suor produzido pelas glândulas sudoríparas ou pela respiração ofegante.

A respiração ofegante, que é a evaporação da água através das vias respiratórias, é um importante mecanismo de resfriamento em mamíferos com pele espessa, que apresentam poucas glândulas sudoríparas, e em alguns roedores, que não as têm. Através destes mecanismos, os mamíferos podem manter a temperatura corporal mais alta do que a temperatura ambiental em aproximadamente 10°C, sem qualquer consumo adicional de oxigênio. Isto é conhecido como zona térmica neutra, que é limitada pelas temperaturas críticas inferior e superior. Além da temperatura crítica, a temperatura corporal pode, no entanto, ser mantida apenas através de um gasto metabólico significativamente maior.

O aumento do consumo de oxigênio abaixo da temperatura crítica inferior reflete-se numa produção de calor além da necessária para a manutenção da temperatura corporal. O calafrio, uma atividade involuntária dos músculos superficiais, é um mecanismo de aumento de produção de calor, mas também ocorre um aumento geral na atividade metabólica em muitas partes do corpo.

O aumento do consumo de oxigênio acima da temperatura crítica superior reflete-se num trabalho metabólico adicional, necessário para dissipar o calor. As frequências cardíaca e circulatória através da pele são aumentadas. Sudação abundante ocorre em alguns mamíferos e a respiração ofegante, em outros.

Receptores térmicos existentes na pele indicam modificações da temperatura ambiental, às quais os mamíferos ajustam-se parcialmente, por mudanças no comportamento. O principal centro de controle no hipotálamo responde a pequenas mudanças na temperatura do sangue e inicia as trocas necessárias ao ajuste da perda de calor e à produção para o contexto ambiental.

Adaptações para Resistência ao Frio

Mamíferos que vivem em áreas onde as condições ambientais são rigorosas desenvolveram adaptações que complementam a regulação térmica. No início do outono, ocorrem muitas mudas.

Eles perdem os pêlos gradualmente, uma vez que um revestimento muito mais denso desenvolve-se para o inverno. Uma segunda muda ocorre na primavera. Além deste revestimento, a pelagem de muitos mamíferos inclui pêlos de proteção mais longos e grossos.

Um revestimento mais espesso para o inverno tanto reduz os efeitos da baixa temperatura crítica, quanto provoca um declive na curva de consumo temperatura-oxigênio do meio ambiente. Os membros não podem ser isolados, assim como o resto do corpo, e sua temperatura pode ficar abaixo da temperatura interna do corpo.

As artérias que carregam o sangue para os membros estão, às vezes, entrelaçadas com as veias que trazem o sangue de volta, estabelecendo um mecanismo de troca de contracorrente, por meio do qual o calor do corpo passa das artérias para as veias sem ser perdido. No entanto, deve haver uma entrada suficiente de calor nos membros, para evitar o congelamento. Nervos e outros órgãos presentes na parte distal dos membros são adaptados para funcionar em temperaturas mais baixas.

Alguns mamíferos de regiões árticas e temperadas, notavelmente muitos insetívoros, morcegos e roedores, adaptam-se ao inverno, entrando num período de letargia conhecido como hibernação.

Durante este período, eles perdem o controle considerável sobre os mecanismos termorreguladores corporais (o termostato no hipotálamo reduz sua atividade para conservar energia) e a temperatura do corpo aproxima-se da ambiental. Durante a hibernação, o metabolismo é muito baixo, apenas o suficiente para manter a vida e evitar que o corpo congele. Para pequenos animais endotérmicos, a hibernação traz certas vantagens. Os pequenos mamíferos apresentam uma atividade metabólica mais intensa do que os grandes.

Eles perdem uma grande quantidade de calor através da área superficial e devem consumir muito mais alimento para manter a temperatura do corpo. Em muitas regiões, insetos e certos tipos de plantas não estão disponíveis em quantidades adequadas para a alimentação durante o inverno. Um animal pode obter a diminuição da sua temperatura corporal, através de uma alimentação reduzida ou até mesmo por meio da diminuição das reservas alimentares dentro do corpo.

Alguns outros mamíferos evitam o problema das baixas temperaturas procurando climas mais quentes. Muitos pequenos roedores permanecem ativos durante todo o inverno sob uma cobertura de neve, onde o microclima raramente cai abaixo de 0°C. Ocasionalmente, eles aventuram-se para fora, na superfície de neve. Poucos dentre os grandes mamíferos suportam migrações sazonais extensas.

O caribu do Alasca e Canadá passa o verão na tundra ártica, mas no inverno vai para o sul, para as florestas boreais.

Adaptações para Resistir ao Calor

Os mamíferos que vivem em dunas muito quentes também apresentam adaptações especiais que mantêm a temperatura corporal mais baixa, sem uma perda excessiva da água corporal, que é frequentemente escassa. Pequenos ratos do deserto são noturnos e cavam tocas, vivendo, assim, num micro-habitat fresco e úmido. Alimentam-se de nutrientes ricos em gordura cuja oxidação produz uma quantidade considerável de água metabólica.

Os elefantes têm uma grande superfície corporal que fornece alguma estabilidade térmica e têm poucos pêlos e orelhas grandes, que atuam como eficientes radiadores, ajudando a dissipar calor.

Os camelos desenvolveram diversas maneiras de conservar água. Sob condições muito secas, um muco seco e detritos celulares nas vias nasais exercem um efeito higroscópico e absorve umidade do ar, que é evaporada. Como consequência, a perda de água respiratória é menor do que em outros animais.

Os camelos também conseguem tolerar uma temperatura corporal de 41°C durante o dia, razão pela qual não precisam perder muita água na tentativa de manterem a temperatura corporal mais baixa. O corpo resfria-se durante a noite, quando a temperatura ambiental cai. Muitos mamíferos de grande porte que vivem em habitats quentes e abertos conseguem aumentar a temperatura corporal, pois são capazes de manter a temperatura cerebral crítica mais baixa, através de um mecanismo de contracorrente.

As artérias que nutrem o cérebro dividem-se primeiro em diminutas passagens que se entrelaçam com veias, resfriando o sangue venoso que retoma das passagens nasais. Um calor considerável passa do sangue arterial quente para o sangue venoso mais frio antes que o primeiro chegue ao cérebro.

Locomoção e Coordenação

As mudanças em todos os sistemas de órgãos estão intimamente relacionadas ao aumento de atividade, que se torna possível com a endotermia. Maior atividade e agilidade são refletidas no sistema esquelético, até mesmo nos mamíferos mais primitivos do período Triássico.

A inclinação posterior das apófises das vértebras torácicas e a inclinação anterior das apófises das vértebras lombares são típicas dos mamíferos quadrúpe-

des e estão relacionadas ao abandono das ondulações laterais do tronco durante a locomoção. O cotovelo e o joelho moveram-se para mais perto do tronco, de forma que as patas estenderam-se para baixo, para uma região mais ou menos inferior do corpo. Esta disposição fornece melhor sustentação mecânica, um potencial maior para um balanço mais longo dos apêndices, um aumento no tamanho do passo e maior velocidade. Primitivamente, os mamíferos andavam sobre as plantas dos pés, numa postura denominada plantígrada.

A maioria dos mamíferos tem três vértebras sacrais; isto fortalece a articulação entre a cintura pélvica e a coluna vertebral. As espécies arborícolas utilizam a cauda para balançar-se e, nos mamíferos aquáticos, como a baleia, ela tem importante papel na propulsão do corpo, mas na maioria dos mamíferos ela perdeu a sua função locomotora primitiva e costuma ser de tamanho reduzido, ou está ausente. Muitos padrões especializados de locomoção se desenvolveram durante a radiação e adaptação dos mamíferos, de acordo com os diferentes modos de vida.

Padrões mais complexos de locomoção e, provavelmente, o comportamento mais explorador e ágil requerem uma musculatura mais complexa e sistemas sensitivo e nervoso. Acredita-se que o olfato e a audição eram muito aguçados nos mamíferos primitivos.

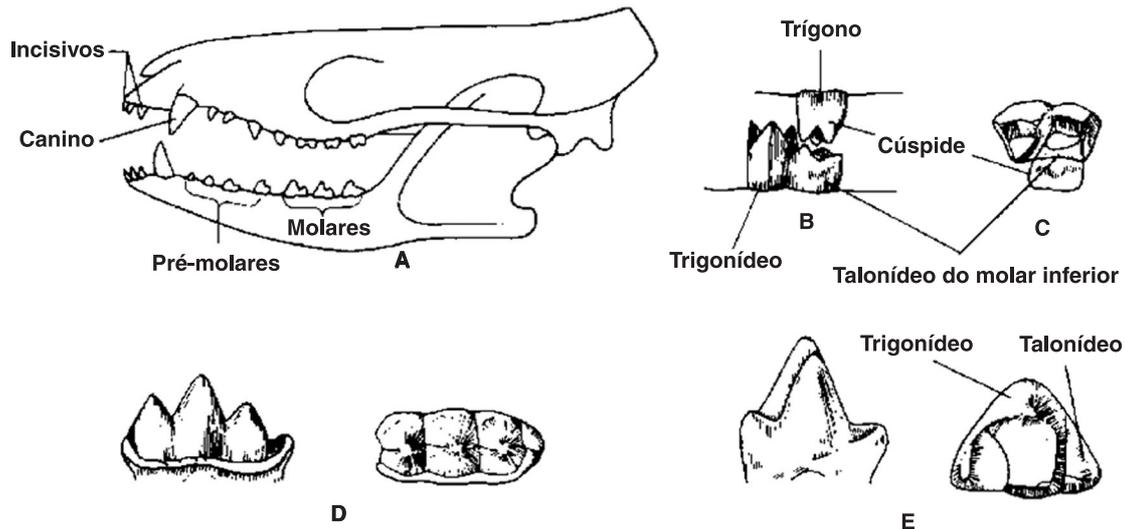
Uma grande expansão da parte do crânio que aloja a cêdea do ouvido ocorreu quando a articulação da mandíbula foi desviada para os ossos dentários e escamosos e os ossos da articulação da mandíbula dos primeiros reptilianos, especializaram-se como órgãos auditivos, o martelo e a bigorna. A visão pode ter sido de menor importância nas espécies ancestrais noturnas, mas os olhos são muito desenvolvidos nas espécies diurnas.

O cérebro é extraordinariamente bem desenvolvido. Ele é muito grande e o córtex cinza contém centros associados ao receptor sensorial dos órgãos dos sentidos e a importantes centros motores. O cerebelo também é mais desenvolvido, pois a coordenação motora é mais complexa.

Sistemas Metabólicos

Para manter seu alto nível metabólico, os mamíferos têm que obter grandes suprimentos de alimento e oxigênio, eliminar um grande volume de produtos residuais e transportar, eficientemente, substâncias através do corpo.

A dentição dos mamíferos é melhor adaptada do que a dos répteis, para o processamento de muitos tipos diferentes de alimentos. Os répteis utilizam os dentes para apanhar, segurar e, algumas vezes, dilacerar o alimento.



Os espaços entre os dentes são de pouca importância e novos dentes permanentes surgem para substituir os que foram perdidos. Os mamíferos utilizam os dentes de diferentes maneiras e eles são mais especializados, ou heterodontes, que nos répteis. Incisivos cinzelados situados na frente de cada mandíbula são usados para cortar.

Ao lado, em cada quadrante, um único dente canino, que primitivamente é um dente longo e afiado utilizado para atacar e ferir presas ou como defesa. Uma fileira de pré-molares e molares segue os caninos. Estes dentes dilaceram, cortam e trituram o alimento. Nos mamíferos primitivos existentes, cada dente molar tem três cúspides cônicas dispostas de forma triangular, que se denomina **trigono** no molar superior e **trigonídeo** no molar inferior. O trigono e o trigonídeo são como imagens de um espelho, de modo que uma ação cortante eficiente ocorre, pois as partes do trigono e do trigonídeo deslizam, encaixando-se umas nas outras. A trituração do alimento ocorre quando as cúspides primárias do trigono encontram-se na ponta inferior, ou **talonídeo**, localizada na superfície posterior do trigonídeo. Uma ação cortante adicional ocorre quando um pré-molar passa sobre o outro. Para realizar estas funções, é necessária uma oclusão correta, o que não seria possível com a contínua substituição dos dentes. Os mamíferos jovens são amamentados e nascem sem dentes. Uma dentição de leite de incisivos, caninos e pré-molares desenvolve-se quando o jovem começa a alimentar-se sozinho. À medida que o tamanho das mandíbulas aumenta, uma boa oclusão é mantida quando os dentes de leite são gradualmente substituídos pelos dentes permanentes maiores. O dente molar aparece sequencialmente à medida que o mamífero amadurece e as mandíbulas desenvolvem-se. Eles não são substituídos.

Enquanto os mamíferos mastigam os alimentos, misturam-nos com a saliva que, além de lubrificar os alimentos, costuma conter uma amilase que ini-

cia a digestão dos carboidratos. O processo digestivo prossegue no estômago e na região intestinal. Numerosas vilosidades microscópicas revestem o intestino delgado e aumentam a área superficial disponível para absorção.

Uma grande troca de oxigênio e dióxido de carbono torna-se possível pelo desenvolvimento dos alvéolos pulmonares, que aumentam bastante a superfície respiratória dos pulmões, pelo desenvolvimento de um diafragma que aumenta a eficiência da ventilação. Um palato secundário, divisão horizontal do osso e da carne, separa as vias aéreas e digestivas na cavidade bucal e na faringe. O palato secundário permite uma respiração quase contínua, que é uma necessidade dos organismos com alto nível metabólico. Os mamíferos podem manipular os alimentos na boca, pois as vias aéreas e digestivas encontram-se apenas na porção da faringe próxima à laringe. A respiração precisa ser interrompida apenas momentaneamente, quando o alimento está sendo engolido.

Os mamíferos, assim como as aves, desenvolveram um eficiente sistema de transporte interno de substâncias, no que diz respeito à sua entrada, utilização e excreção. O coração é completamente dividido internamente, de forma que não há mistura entre sangue venoso e arterial. O aumento da pressão sanguínea também contribuiu para uma circulação mais rápida e eficiente.

Cerca de 99% da água que começa a descer para os túbulos renais são absorvidos mais tarde, de forma que a perda de água nos mamíferos é mínima. O nível metabólico geralmente elevado dos mamíferos resulta na formação de uma grande quantidade de resíduos a serem eliminados.

Exercícios de Fixação

1 - Os mamíferos são vertebrados muito ativos e ágeis, com alto nível metabólico. Eles têm poucos filhos, mas investem tempo e energia consideráveis na proteção dos mesmos. Quais são as características que representam aspectos fundamentais na evolução dos mamíferos?

2 - Os mamíferos mais primitivos dos períodos Triássico superior e Jurássico inferior eram criaturas pequenas, com tamanho semelhante ao de um rato. Descreva-os.

3 - Quando alguns mamíferos primitivos tomaram-se diurnos, eles tiveram que adaptar suas atividades a temperaturas diurnas altas, para manter a temperatura corporal tão baixa quanto a dos seus ancestrais noturnos. Descreva os mecanismos de regulação térmica nos mamíferos.

4 - Mamíferos que vivem em áreas onde as condições ambientais são rigorosas desenvolveram adaptações que complementam a regulação térmica. Descreva-as.

5 - Nos mamíferos as mudanças em todos os sistemas de órgãos estão intimamente relacionadas ao aumento de atividade, que se torna possível com a endotermia. Maior atividade e agilidade são refletidas no sistema esquelético, até mesmo nos mamíferos mais primitivos. Comente.

6 - A dentição dos mamíferos é melhor adaptada do que a dos répteis, para o processamento de muitos tipos diferentes de alimentos. Descreva a dentição dos mamíferos.

Leitura Complementar

Para você saber mais a respeito da origem e evolução dos mamíferos assim como diversas outras informações importantes, leia sobre o assunto no livro *A vida dos vertebrados* (POUGH, H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B., 2003).

Se você:

- 1) concluiu o estudo deste guia;**
- 2) participou dos encontros;**
- 3) fez contato com seu tutor;**
- 4) realizou as atividades previstas;**

Então, você está preparado para as avaliações.

Parabéns!

Glossário

Amniota - grupo de vertebrados que possuem ovos com casca e membrana amniótica.

Anamniotas - grupo de vertebrados que não possuem ovos com casca e membrana amniótica.

Anapsídeo - crânio sem aberturas temporais.

Anuros - anfíbios que não possuem cauda.

Bifurcada - dividida.

Caudata - anfíbios que possuem cauda.

Cecílias - anfíbios que não possuem patas (ápodas).

Celacantos - peixes primitivos ligados a origem dos primeiros vertebrados.

Cor apossemática - coloração de aviso ou advertência, normalmente indicando a presença de toxinas na pele.

Crossopterígeo - grupos de peixes ancestrais dos tetrápodes.

Ectotérmicos - animais de sangue frio.

Espermatóforo - massa gelatinosa depositada no chão, utilizada para reprodução pelo macho de algumas espécies.

Neotenia - animais que tornam-se sexualmente maduros antes de completarem a metamorfose.

Pedomórficos - quando a espécie retém características das larvas na vida adulta.

Pelvinos - membros pélvicos, membros posteriores.

Sarcopterígeos - peixes pulmonados primitivos.

Tetrapoda - primeiros vertebrados a andarem sobre a terra.

Gabarito

Unidade I

- 1 - O gênero *Ichthyostega* (encontrado no leste da Groelândia, em 1932).
- 2 - *Acanthostega*, um animal mais semelhante aos peixes do que o *Ichthyostega*.
- 3 - A primeira destas linhagens é a dos **batracomorfos**, o maior e mais duradouro grupo de tetrápodes anamniotas primitivos e extintos. Algumas destas linhagens chegaram até o Cretáceo e ao menos alguns dos anfíbios vivos podem ser derivados destes animais. A segunda linhagem dos tetrápodes são os **reptilomorfos**, que contém uma ampla gama de animais, tanto anamniotas quanto amniotas.
- 4 - **Dipnoi** (seis espécies de peixes pulmonados) e os **Actinistia** (duas espécies de celacantos).
- 5 - Os **osteolepiformes**, que eram peixes cilíndricos, com cabeças grandes e com escamas espessas.
- 6 - Linhagem recentemente definida de osteolepiformes, chamada de **Elpistostegidae**.

Unidade II

- 1 - Especialmente a pele lisa e úmida.
- 2 - A origem dos anfíbios modernos pode ser encontrada no Triásico (caudata e anuros) ou no Terciário (cecílias). Esses fósseis são bastante semelhantes às formas atuais.
- 3 - Embora retornem à água para se reproduzir, os sapos adultos vivem mais em habitats terrestres do que as rãs e perereca. Os sapos são encontrados frequentemente em florestas, campos e jardins. Algumas rãs são inteiramente aquáticas e raras vezes abandonam a água. O tamanho e o peso do corpo na maioria das espécies de pererecas são reduzidos, isto facilita subir em ramos pequenos e folhas com as lamelas adesivas da extremidade dos dedos.
- 4 - Rãs, sapos e pererecas da ordem Anura são os mais abundantes e diversos de todos os anfíbios existentes. Aproximadamente 2.500 espécies estão distribuídas através da maioria das regiões temperadas e tropicais do mundo. As cecílias, que pertencem à ordem Gymnophiona, constituem o menor grupo conhecido de anfíbios existentes, isso porque vivem apenas nos trópicos e levam uma vida subterrânea, cavando buracos em solos úmidos à procura de pequenos invertebrados. As salamandras verdadeiras da ordem Caudata são encontradas embaixo de pedras e tronco em florestas úmidas e algumas são aquáticas. As salamandras ocorrem, principalmente, em regiões temperadas do mundo.
- 5 - Pertencem à ordem **Gymnophiona**.
- 6 - As salamandras são encontradas embaixo de pedras e tronco em florestas úmidas e algumas são aquáticas. Anatomicamente e fisiologicamente, as salamandras assemelham-se aos outros anfíbios, mas algumas espécies apresentam características de desenvolvimento e ciclos biológicos incomuns.

Unidade III

- 1 - Os répteis são vertebrados muito ativos e ágeis, com adaptações que permitem uma exploração mais completa da terra. As glândulas mucosas não estão presentes na pele e a epiderme é seca e cornificada. Uma quantidade considerável de queratina, uma proteína insolúvel na água, é depositada nas células da epiderme, formando escamas córneas ou placas na superfície.
- 2 - Os lagartos dos desertos mantêm sua temperatura corporal em aproximadamente 34°C durante a maior parte do dia. Se a temperatura corporal cai abaixo de limiar da atividade normal, o lagarto fica em ângulo reto com os raios solares, expondo assim a maior parte da superfície do corpo ao sol. Se a temperatura do corpo aumenta muito, o lagarto procura um abrigo ou fica paralelo aos raios solares.

3 - Os dentes foram perdidos e as mandíbulas são cobertas por placas córneas e aguçadas. Seu corpo está incluído em uma concha protetora composta por placas ósseas que se depositam sobre as escamas córneas. As placas ósseas ossificaram-se na derme da pele, mas fusionaram-se com as costelas e algumas partes mais internas do esqueleto. A porção da placa que cobre o dorso é conhecida como carapaça e a porção vertebral como plastrão.

4 - Uma característica distinta dos lagartos é a redução da região temporal do assoalho do crânio. Perderam a parte inferior do osso que se estendia, no crânio diapsídeo, a partir da região inferior do olho até o osso quadrado. Como resultado disso, o osso quadrado, no qual a mandíbula inferior encaixa-se, não é tão firmemente preso no lugar, podendo se mover em alguma extensão. O aparelho mandibular é mais flexível, a boca pode se abrir mais, possibilitando a captura e deglutição de presas maiores.

5 - O mecanismo mandibular é excepcionalmente flexível e as cobras podem engolir presas muitas vezes maiores do que seu próprio diâmetro.

6 - O corpo vermiforme das cobras, a ausência da membrana timpânica e certas alterações degenerativas nos olhos.

7 - Seu corpo é vermiforme e cavam buracos altamente especializados, nos trópicos e subtropicais. Aproximadamente 140 espécies são conhecidas. Não existe abertura do ouvido externo, mas elas podem detectar vibrações do solo por meio de uma expansão do estribo na mandíbula inferior. Seus olhos rudimentares são escondidos abaixo da pele, mas o rastro das presas é seguido principalmente pela audição.

Unidade IV

1 - Além das penas e asas, ou vestígios de asas em certas espécies terrestres, o voo requer um alto dispêndio de energia. Todas as aves são endotérmicas, tendo desenvolvido meios para conseguirem isto num corpo de pouco peso. Quando não estão no ar, as aves vivem sobre o solo ou na água, ou em ambos, estando bem adaptadas a estes habitats.

2 - A endotermia e o poder de voo das aves.

3 - Quando a temperatura cai, as penas ficam estofadas, o que aumenta a espessura da camada de ar sob as mesmas. Se a temperatura cair bem devagar, a ave tem que produzir mais calor intensificando seu metabolismo. Quando a ave tem que perder calor, as pernas aproximam-se bastante da superfície do corpo e maior quantidade de sangue flui através da pele e iniciam-se palpitações.

4 - As penas que cobrem o corpo e estabelecem a superfície de voo consistem em uma haste central rígida, cuja base, o cálcamo, está presa a um folículo na pele. A parte distal da haste, a raque, sustenta um eixo composto por numerosas ramificações, as barbas.

5 - A asa tem um formato de aerofólio, espessa na frente e afilada para trás e, em geral, é arqueada, o que faz com que sua superfície inferior seja levemente côncava e a superior, convexa. Uma corrente de ar passando pela asa move-se mais rapidamente pela sua superfície superior, maior, do que pela superfície inferior, menor. A diferença de velocidade do ar diminui a pressão sobre a asa em relação à face inferior. Isso produz uma força de elevação, que atua perpendicularmente ao plano de movimento da asa.

6 - O tipo mais simples de voo é o planador, durante o qual as asas fazem a elevação e o movimento para diante vem com a queda no ar. As aves que fazem um voo alto estático têm asas largas e relativamente pequenas, o que as torna capazes de manobrar facilmente as correntes de ar. Tais asas têm baixa proporção entre suas dimensões. No voo lento as asas necessitam ter uma ampla área superficial para fornecer uma elevação adequada, sustentando a ave. As aves oceânicas fazem um voo alto dinâmico utilizando o aumento da velocidade do ar com o aumento da elevação, acima da superfície do mar. O atrito com o oceano faz com que a velocidade seja mais lenta próximo à superfície do mar.

Unidade V

1 - Um aumento de atividade e um maior cuidado com os jovens.

2 - Eles apresentavam uma dentição adaptada para alimentar-se de insetos e a estrutura do crânio indica que a região coclear do ouvido e dos órgãos olfatórios era muito elaborada. Estes sentidos apresentam importância particular para as criaturas noturnas.

3 - Os mecanismos de regulação de temperatura nos mamíferos contemporâneos são bem conhecidos. O calor é produzido internamente, através do alto nível metabólico. A sua perda é reduzida, devido a uma camada subcutânea de gordura e a pêlos que fornecem uma camada de isolamento de ar próximo a à pele.

4 - No início do outono, ocorrem muitas mudas, eles perdem os pêlos gradualmente, uma vez que um revestimento muito mais denso desenvolve-se para o inverno. Uma segunda muda ocorre na primavera. Além deste revestimento, a pelagem de muitos mamíferos inclui pêlos de proteção mais longos e grossos.

5 - A inclinação posterior das apófises das vértebras torácicas e a inclinação anterior das apófises das vértebras lombares são típicas dos mamíferos quadrúpedes e estão relacionadas ao abandono das ondulações laterais do tronco durante a locomoção.

6 - Nos mamíferos os espaços entre os dentes são de pouca importância e novos dentes permanentes surgem para substituir os que foram perdidos. Os mamíferos utilizam os dentes de diferentes maneiras e eles são mais especializados, ou heterodontes, que nos répteis. Incisivos cinzelados situados na frente de cada mandíbula são usados para cortar.

Referências Bibliográficas

ORR, R. T. *Biologia dos vertebrados*. 5. ed. São Paulo: Roca, 2006, 508p.

POUGH, H.; JANIS, C. M. & HEISER, J. B. *A vida dos vertebrados*. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2003, 744p.

