



Zoologia de Vertebrados

Zoologia de Vertebrados

Ângela Cristina Ito

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Sônia Aparecida Santiago

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ito, Ângela Cristina
189z Zoologia de vertebrados / Ângela Cristina Ito. – Londrina :
Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
208 p.

ISBN 978-85-522-0804-4

1. Vertebrados. 2. Zoologia. I. Ito, Ângela Cristina. II.
Título.

CDD 596

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Biologia dos cordados	7
Seção 1.1 - Chordata	9
Seção 1.2 - Hemichordata, Urochordata e Cephalochordata	23
Seção 1.3 - Vertebrados	40
Unidade 2 Biologia dos Amniota, Agnatha e Gnathostomata	59
Seção 2.1 - Amniota	61
Seção 2.2 - Agnatha	76
Seção 2.3 - Gnathostomata	90
Unidade 3 Características gerais dos peixes, répteis, aves e anfíbios	109
Seção 3.1 - Répteis e aves	111
Seção 3.2 - Peixes	129
Seção 3.3 - Anfíbios	143
Unidade 4 Biologia de Mammalia	157
Seção 4.1 - Mamíferos	159
Seção 4.2 - Características adaptativas dos mamíferos	173
Seção 4.3 - Ordens: Monotremata, Marsupialia e infraclasse Eutheria	189

Palavras do autor

Caro aluno, neste livro didático, você terá a oportunidade de estudar como se estabeleceu a origem dos vertebrados e como progrediram e se diferenciaram das formas iniciais até a grande diversidade de espécies atuais, com destaque para as características principais que levaram esses animais a configurações adaptativas surpreendentes e inesperadas, tudo para manter a vida, sempre dependente do meio ambiente. Assim, você terá embasamento teórico-prático que te ajudará na vida profissional.

Portanto, caro aluno, entender a origem e evolução dos vertebrados se torna indispensável para a construção do seu conhecimento no universo da biologia. Com esta disciplina, você terá informações para compreender o processo evolutivo dos animais, saber identificar os fundamentos da classificação, filogenia, organização, biogeografia, etologia e estratégias adaptativas morfofuncionais dos vertebrados, bem como saber aplicar os conceitos de classificação, evolução, morfologia e fisiologia dos cordados, agnathas, gnathostomatas, peixes, aves, répteis, anfíbios e mamíferos, podendo compreender as adaptações estruturais e funcionais que permitiram a sobrevivência desses animais.

Pronto para iniciar esse interessante desafio?

Seja bem-vindo e bom aprendizado!

Biologia dos cordados

Convite ao estudo

Caro aluno!

Nesta unidade, daremos início aos nossos estudos em zoologia dos vertebrados, abordando aspectos relacionados à biologia dos cordados, tais como fundamentos da classificação, filogenia, organização, biogeografia, etologia e estratégias adaptativas morfofuncionais.

Tendo como base os aspectos abordados, estaremos aptos a: conhecer a origem, a classificação, as características morfofuncionais, a diversidade e os aspectos evolutivos do filo Chordata; bem como entender as características gerais, a diversidade e os aspectos evolutivos dos Hemichordata, Cephalochordata e Urochordata; e ainda compreender as características gerais e as adaptações morfofuncionais dos Vertebrata.

Para tornar o estudo dinâmico e estimulante, vamos analisar uma situação que irá aproximá-lo da realidade profissional.

Desde a infância, Gisele demonstrou interesse por tudo o que envolvia a natureza, plantas e, principalmente, os animais. Durante o ensino médio, participou de uma feira de profissões e, depois de assistir a algumas palestras e participar de workshops, interessou-se pelas ciências biológicas. Depois disso, preparou-se, prestou vestibular e, hoje, Gisele é aluna do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas de uma instituição de ensino superior.

Durante a graduação, Gisele se entusiasmou pela área de Zoologia, principalmente a que diz respeito aos vertebrados. Para conseguir experiência nessa área, ela poderá fazer alguns

estágios, e, como sempre foi muito atenta, ela resolveu solicitar estágio em um museu de zoologia, de responsabilidade da prefeitura de sua cidade. Gisele está ansiosa, pois sabe que, na entrevista, será questionada sobre vários conteúdos relacionados aos vertebrados por isso, rapidamente, inicia uma revisão de conteúdos e realiza pesquisas sobre as funções que poderá executar no estágio.

Durante os estudos, Gisele se depara com alguns questionamentos: será que os aspectos evolutivos do filo Chordata estão relacionados à diversidade do reino Animalia? Como as características gerais de cada filo estão relacionadas com a adaptação ao meio?

Você está preparado para auxiliar a Gisele nessa incrível aventura ao mundo dos vertebrados?

Bons estudos!

Seção 1.1

Chordata

Diálogo aberto

Olá, seja bem-vindo! A partir de agora, você iniciará seus estudos sobre os cordados.

Antes de iniciarmos nossa interessante jornada, vamos retomar a situação hipotética apresentada no "Convite ao Estudo".

Você se lembra da Gisele? Pois bem, ela está ansiosa para estagiar no Museu de Zoologia de sua cidade. Se for aprovada, irá trabalhar na seção dos Animais Vertebrados. Para não esquecer e assimilar melhor os conceitos estudados em seu curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Gisele resolveu elaborar um painel com as principais informações sobre origem, evolução, filogenia, características e diversidade dos cordados. Como ela irá relacionar a origem do filo Chordata com os aspectos evolutivos? Qual a importância da filogenia do filo Chordata? Em qual momento evolutivo os vertebrados adquiriram a capacidade de dominar a terra? Quais características permitem que os vertebrados permaneçam no mundo aquático? Vamos ajudar a Gisele nessa tarefa!

Não pode faltar

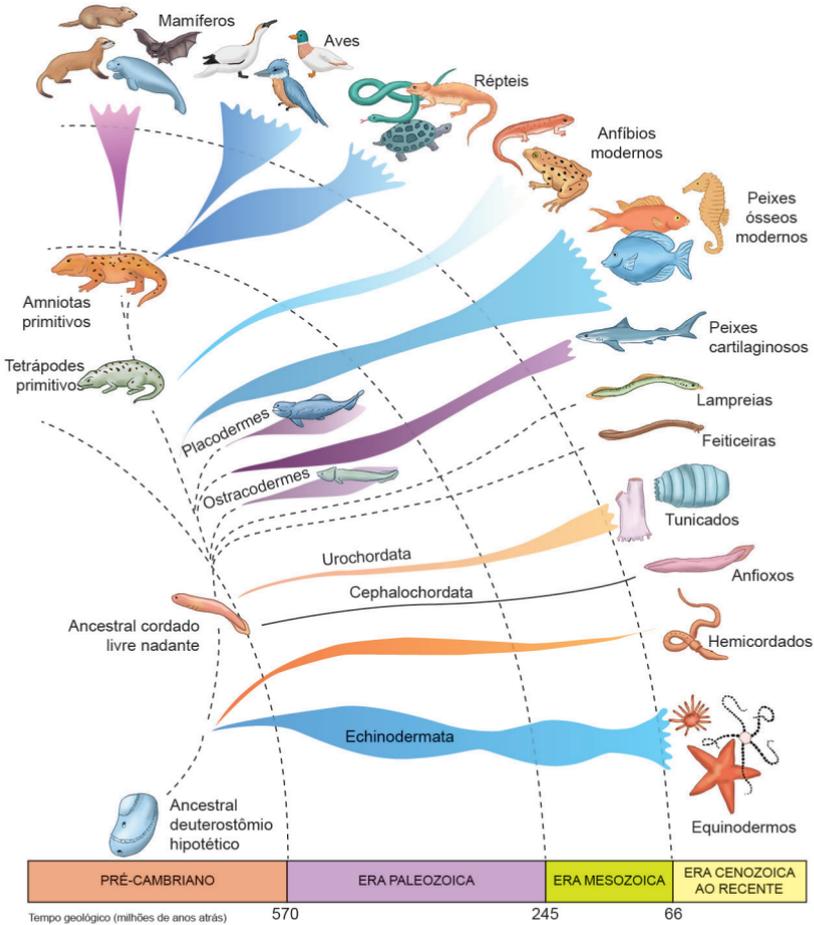
Filo Chordata - origem e aspectos evolutivos

O filo Chordata não representa o maior filo do reino Animalia e não é o grupo mais diversificado. Entretanto, apresenta um número considerável de espécies, sendo mais conhecido popularmente, pois nós, seres humanos, somos integrantes desse filo.

Os representantes desse filo apresentam, em algum estágio do seu ciclo de vida, a notocorda, por que dá nome ao filo e deriva do grego *noton* = dorso e do latim *chorda* = corda.

Acredita-se que os cordados tenham se originado há milhões de anos, de ancestrais comuns dos deuterostômios nos mares primitivos do período Pré-Cambriano.

Figura 1.1 | Provável origem e evolução dos cordados



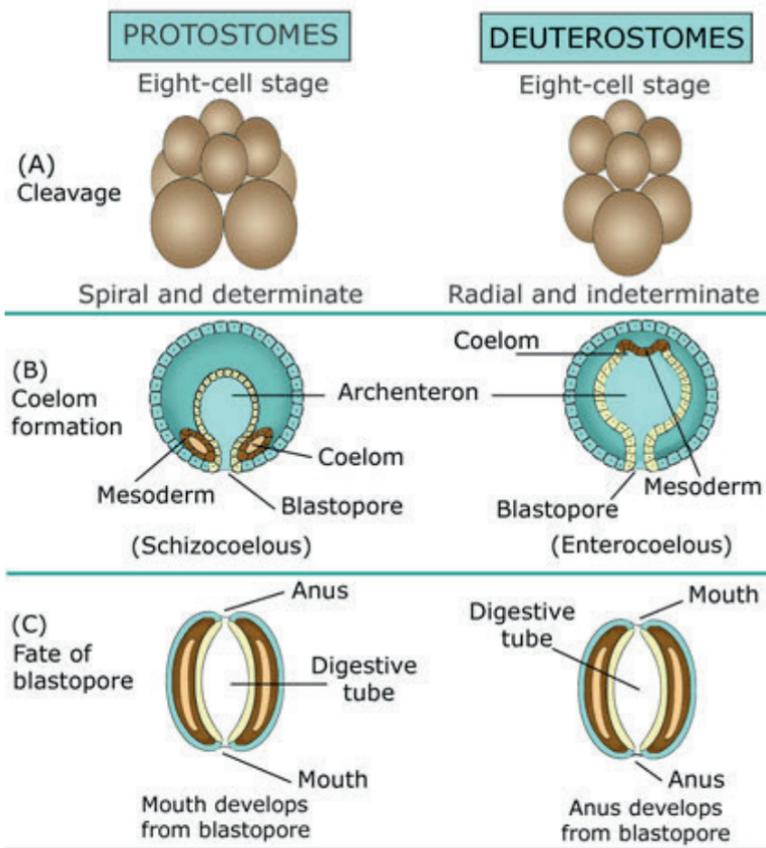
Fonte: Hickman (2013, p. 527).



Durante o desenvolvimento embrionário dos animais celomados, ocorre a divisão em dois grupos, que se baseia em como a boca e o ânus são formados.

Nos animais protostômios, a boca se forma primeiro que o ânus. Já nos animais deuterostômios, ocorre o inverso, o ânus se forma primeiro e a boca se forma posteriormente.

Figura 1.2 | Aspectos diferentes no desenvolvimento de protostômios e deuterostômios



Legendas: Protostomes = protostômios; Deuterostomes = deuterostômios; eight-cell stage = estágio de oito células; Cleavage

= clivagem; Spiral and determinate = espiral e determinada; Radial and indeterminate = radial e indeterminada; Coelom formation = formação do celoma; Schizocoelous = esquizocélico; Enterocoelous = enterocélico; Archenteron = arquêntero; Blastopore = blastóporo; Coelom = celoma; Mesoderm = mesoderme; Fate of blastopore = destino do blastóporo; Mouth develops from blastopore = boca originada do blastóporo; Anus develops from blastopore = ânus originado do blastóporo; Anus = ânus; Digestive tube = tubo digestivo, Mouth = boca.

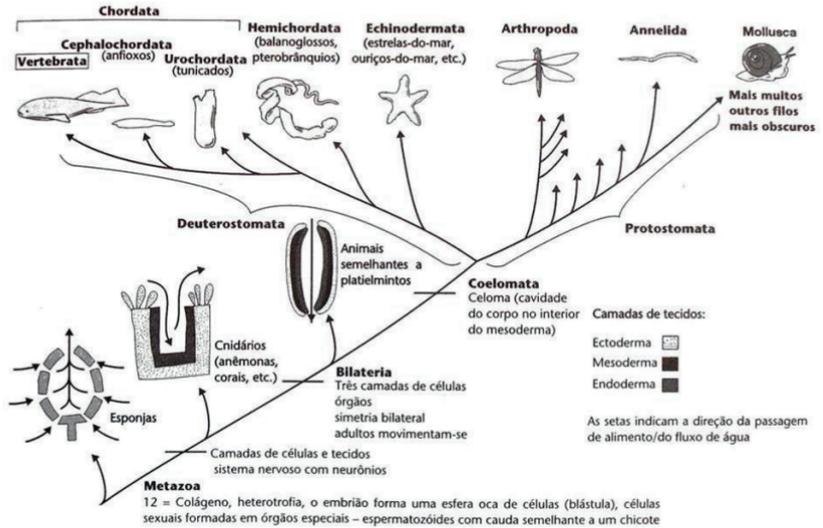
Fonte: <<https://vidaterra.wordpress.com/2011/04/10/origem-e-evolucao-dos-animais-%E2%80%93-3/>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Filogenia dos cordados

Durante o desenvolvimento embrionário dos cordados, ocorre a formação de uma cavidade chamada de celoma, preenchida por um fluido. Essa cavidade é revestida pela mesoderme, que é um dos três folhetos embrionários e, posteriormente, irá alojar os órgãos internos dos cordados. Os cordados e os cordados inferiores, ou protocordados marinhos, pequenos e sem vértebras, apresentam simetria bilateral, ou seja, um único eixo de simetria, com duas metades iguais.

Os cordados pertencem à linhagem dos deuterostômios, que compreendem os cefalocordados, os urocordados e os vertebrados.

Figura 1.3 | Linhagem dos Deuterostômios



Fonte: Pough et al. (2008, p. 17).



Refleta

Celomados: animais que possuem celoma.

Acelomados: animais que não possuem celoma.

Todos os cordados possuem celoma.

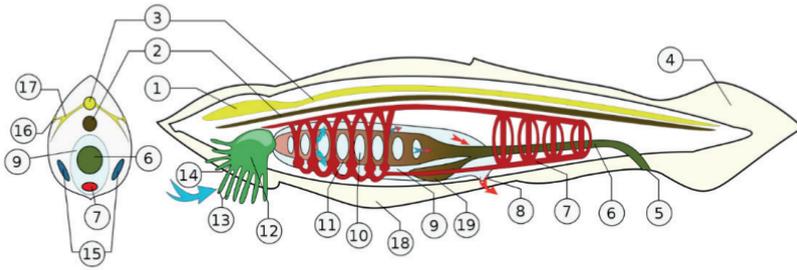
Filogenese (filogenia): história evolutiva entre grupos de organismos (espécies, populações etc.).

Durante a filogenese, quais órgãos internos serão alojados no celoma?

Características dos cordados

O filo Chordata distingue-se dos demais filoss por apresentar as seguintes características: notocorda, tubo nervoso dorsal, fendas ou bolsas faríngeas, endóstilo e cauda pós-anal. Essas características podem ocorrer em alguma fase do seu desenvolvimento ou persistir por toda a vida dos cordados.

Figura 1.4 | Representante dos cordados - cefalocordados



Legendas: 1 – gânglio cerebral; 2- notocorda; 3 – nervo dorsal; 4 – cauda pós-anal; 5 – ânus; 6 – tubo digestório; 7 – sistema circulatório; 8 – poro abdominal (atrióporo); 9 – lacuna suprafaríngea; 10 – abertura branquial (fendas faríngeas); 11 – faringe; 12 – lacuna bucal; 13 – cílio oral; 14 – abertura bucal; 15 – gônadas; 16 – sensor de luz; 17 – nervos; 18 – metapleura; 19 – bolsa hepática.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cordados#/media/File:BranchiostomaLanceolatum_PioM.svg>. Acesso em: 28 ago. 2017.

A **notocorda** caracteriza-se por possuir forma de bastão se estendendo ao longo do corpo. É um componente hidrostático; durante a locomoção, o corpo não entra em colapso devido à capacidade de flexão lateral.

Nos cordados não-vertebrados, a notocorda é um órgão funcional, que persiste por toda a vida, ao passo que, nos cordados vertebrados, ela sofre involução, sendo substituída pela coluna vertebral.

Exclusivamente nos cordados, o **tubo nervoso** tem forma tubular e situa-se dorsalmente ao trato digestório. Nos vertebrados, o tubo neural se torna mais espesso, dando origem ao encéfalo.

A faringe dos cordados primitivos aquáticos apresenta perfurações que são denominadas **fendas faríngeas**, cuja função é filtrar partículas durante a alimentação. Nos vertebrados aquáticos, as fendas dão lugar às brânquias, que são utilizadas no processo de respiração.

Nos cordados não-vertebrados, ventralmente às fendas faríngeas, ocorre a presença de um sulco que origina o **endóstilo**, cujas células secretam muco, retendo as partículas de alimento. Alguns vertebrados primitivos têm células que secretam proteínas com iodo, sendo consideradas precursoras da glândula tireoide.

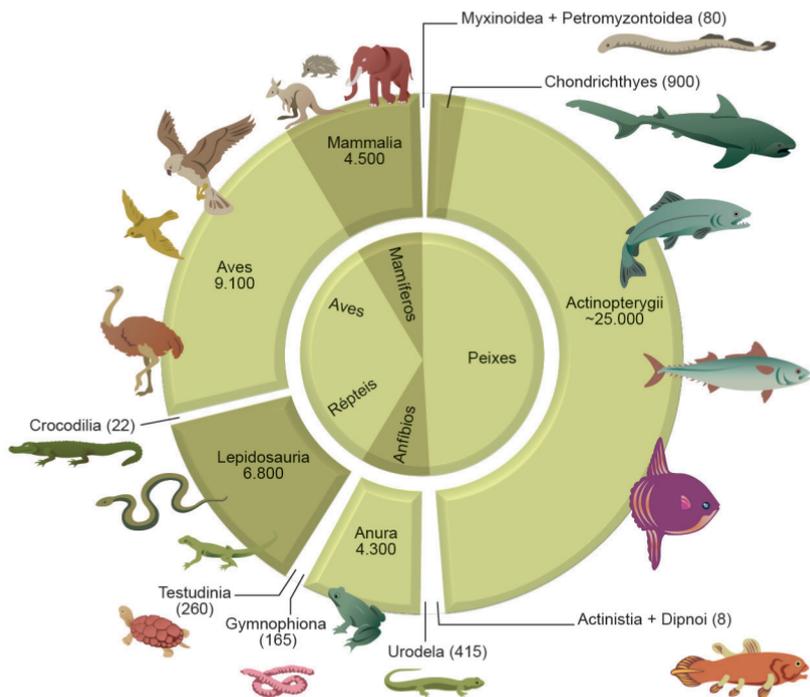
Relacionada com a locomoção dos cordados, a **cauda pós-anal** é representada por um alongamento do corpo que se estende após o ânus. Em alguns vertebrados, como os seres humanos, a cauda pós-anal se torna vestigial.

Diversidade e evolução dos vertebrados

Caro aluno, depois de uma visão geral dos cordados, vamos falar do subfilo que contém os vertebrados. Você consegue imaginar quando surgiram? E qual era a forma desses primeiros espécimes? Para conseguir responder a essas questões, resgate seus conhecimentos de eras geológicas, isso mesmo, pois o surgimento dos vertebrados está datado no período Cambriano inferior, por volta de 600 milhões de anos atrás. E essas informações foram obtidas mediante fósseis marinhos. Com esse recurso, é possível recuperar mais algumas informações, como sua forma, que continha placas ósseas, sem nadadeiras pares, sem mandíbulas, eram bentônicos, filtradores e lentos.

Como conseguiram sobreviver? Com a evolução de suas características, e para uma classificação geral dos seus aspectos, podemos dizer que apresentam algumas das características gerais dos cordados, além de serem revestidos por tegumento composto por epiderme e derme. Também possuem endoesqueleto, faringe muscular, músculos segmentares, trato digestório com musculatura, sistema circulatório cujo coração possui câmaras, sistema nervoso com encéfalo e órgãos sensoriais, sistema excretor, sistema endócrino e aparelho reprodutor com sexos distintos. Além de apresentarem apêndices sustentados por cinturas e esqueleto apendicular.

Figura 1.5 | Diversidade dos vertebrados



Fonte: Pough et al. (2008, p. 4).

Para que possamos entender a evolução dos vertebrados, foram realizados vários estudos. Estes sugerem que os vertebrados possam ter se originado de animais aquáticos primitivos, como a *Haikouella*, conodontes, peixes ostracodermos, amocetes e larvas de lampreias atuais. Futuramente, retomaremos os estudos sobre o subfilo Vertebrata.



Pesquise mais

Para entender um pouco mais sobre a Evolução dos Vertebrados, assista o filme: "A origem dos vertebrados" (do filme "A ascensão dos vertebrados", da BBC) - Duração: 00:02:54. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JoUXYKv0VNA>>. Acesso em: 11 set. 2017.

Formas de vertebrados aquáticos

Os vertebrados aquáticos abrangem os cordados sem maxila, entre eles podemos citar as lampreias, os ostrachodermes e os com maxila, por exemplo, placodermes e acantódios, além dos peixes atuais, os cartilaginosos e aqueles com nadadeiras raiadas.

Vale ressaltar que os ostrachodermes, placodermes e acantódios foram extintos no final do período Devoniano.

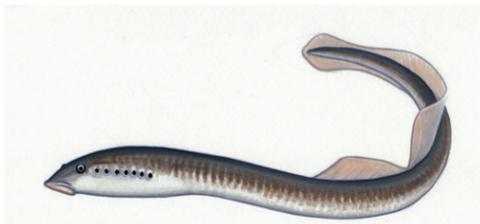


Assimile

Gnatostomados são os vertebrados que apresentam maxila.

Agnatos são os exemplares de vertebrados que não apresentam maxila.

Figura 1.6 | Vertebrado sem maxila (lampreia)



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AEudontomyzon_mariae_Dunai_ingola.jpg>. Acesso em: 11 set. 2017.

Figura 1.7 | Vertebrado com maxila (tubarão)



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carcharhinus_falciformis_off_Cuba.jpg>. Acesso em: 31 ago. 2017.

Caro aluno, nesta seção, você verificou que a origem do filo Chordata está relacionada à presença da notocorda, que pode ou não persistir durante o processo evolutivo dos cordados que apresentam diversidade de espécies, e ao desenvolvimento de características que possibilitaram aos animais as condições de adaptação aos ambientes aquático e terrestre.

Na seção seguinte, daremos continuidade à nossa interessante jornada ao mundo dos cordados, explorando os subfilos Cephalochordata e Urochordata, além do filo Hemichordata.

Sem medo de errar

Prezado aluno, após a exposição dos conceitos gerais sobre o filo Chordata, podemos retomar a nossa situação-problema: Gisele está ansiosa para estagiar no museu e, para se preparar, decidiu elaborar um painel que deverá conter as informações principais sobre origem, evolução, filogenia, características e diversidade dos Cordados. Além disso, como Gisele irá relacionar a origem do filo Chordata com os aspectos evolutivos? Qual a importância da filogenia do filo Chordata? Em qual momento evolutivo os vertebrados adquiriram a capacidade de dominar a terra? Quais características permitem que os vertebrados permaneçam no mundo aquático?

Nesta seção, você pode verificar que os cordados apresentam uma grande diversidade de espécies, caracterizando-se principalmente pela presença da notocorda, que dá origem ao nome do filo.

Também constatamos que os cordados, provavelmente, tenham se originado de um ancestral primitivo deuterostomado no período Pré-Cambriano.

Os aspectos evolutivos dos cordados sugerem a evolução de estruturas que contribuem para a conquista dos habitats aquáticos e a sua permanência neles, como as fendas branquiais, que possibilitaram o desenvolvimento dos sistemas digestório e respiratório. A evolução da notocorda deu origem ao encéfalo, e o endóstilo produz secreções precursoras da tireoide.

O processo evolutivo também possibilitou aos vertebrados a conquista do ambiente terrestre, por meio do desenvolvimento

de estruturas dos sistemas tegumentar, musculoesquelético, trato digestório completo, sistema circulatório fechado, sistema nervoso e aparelhos reprodutores distintos.

Tendo como base as informações adquiridas, Gisele poderá elaborar o painel com as principais informações sobre o interessante filo dos cordados.

Além disso, os conceitos adquiridos serão importantes e necessários para que ela desenvolva seu estágio de forma satisfatória, e para que, em companhia dela, consigamos associá-los com novos conceitos que serão abordados futuramente.

Avançando na prática

Evolução dos vertebrados

Descrição da situação-problema

José Carlos é graduado em Ciências Biológicas e trabalha como professor numa instituição de ensino privada. Além disso, é paleontólogo e presta consultoria para uma empresa de pesquisas arqueológicas. Sempre que solicitado, viaja prestando serviços em sítios arqueológicos no território brasileiro, como também em outros países.

Em uma de suas viagens a um sítio arqueológico, na Região Nordeste do Brasil, José Carlos foi requisitado para analisar e identificar alguns fósseis encontrados em escavações. O arqueólogo-chefe solicitou a ele que identificasse se o fóssil era um vertebrado e qual o nome da espécie.

Para que se identifique e classifique o fóssil corretamente, são necessários estudos acerca de vários aspectos dos cordados. José Carlos deverá entregar um relatório parcial ao arqueólogo-chefe da expedição, quais informações preliminares espera-se que estejam presentes nesse relatório? Quais são as características principais que definem o espécime como vertebrado ou não vertebrado? Se o fóssil pertencesse a outro filo que não o Vertebrata, a qual filo ele poderia pertencer?

Por que a descoberta de novas espécies é importante?

Resolução da situação-problema

Para elaborar o relatório parcial, José Carlos deverá refletir sobre as características principais dos vertebrados. Ao analisar o fóssil a olho nu, a presença de algum vestígio ou de restos de coluna vertebral dá indícios que o espécime era possivelmente um cordado pertencente ao subfilo Vertebrata. Além disso, para afirmar que se trata mesmo de um vertebrado, José Carlos também deverá observar a presença de crânio, uma das características principais dos vertebrados. As demais características podem ser determinadas por meio de estudos mais complexos do que a observação preliminar, e muitos desses estudos são realizados em laboratórios.

Para determinar a idade aproximada do fóssil e, com isso, o período geológico em que ele vivia, várias técnicas podem ser utilizadas, dentre elas podemos citar a técnica radiação radiométrica ou radiativa, que utiliza isótopos radiativos como o Carbono-14, termoluminescência e, atualmente, a espectrometria gama, que tem como vantagem não destruir a peça que será datada. Além dessas que citamos, técnicas mais modernas foram desenvolvidas e estão sendo muito utilizadas, como a biologia molecular por meio do sequenciamento de DNA.

Se o fóssil não apresentar vestígios de presença de coluna vertebral e do crânio, o espécime pode ser um cordado, por exemplo, um cefalocordado ou um urocordado, além da ausência de estruturas específicas que se desenvolveram nos vertebrados, tais como faringe muscular, trato digestivo, sistema circulatório fechado, sistema excretor, entre outras.

O estudo dos fósseis é importante e possibilita a descoberta de novas espécies que trazem informações acerca de características que se desenvolveram no decorrer do processo evolutivo e que também podem indicar a evolução das espécies, possibilitando a conquista dos ambientes aquáticos ou terrestres.

Faça valer a pena

1. O filo Chordata recebe esse nome por apresentar a notocorda, uma estrutura em forma de bastão esquelético, presente em algum estágio do ciclo de vida. Os cordados apresentam ampla diversidade de espécies e especula-se que tenham como ancestral um cordado primitivo, deuterostomado do período Pré-Cambriano. As características adquiridas ao longo do processo evolutivo permitiram a inserção desses espécimes em subfilos.

Quais são os subfilos que pertencem ao filo Chordata?

- a) Echinodermata, Hemichordata e Cephalochordata.
- b) Hemichordata, Cephalochordata e Urochordata.
- c) Cephalochordata, Urochordata e Vertebrata.
- d) Hemichordata, Urchordata e Vertebrata.
- e) Echinodermata, Hemichordata e Vertebrata.

2. Durante os estudos sobre a origem dos cordados, atribuiu-se a ancestralidade a um espécime primitivo do período Pré-Cambriano. Esse ancestral apresentava características distintas quanto ao seu desenvolvimento embrionário.

É sabido que, durante o desenvolvimento embrionário dos celomados, ocorre a divisão em dois grupos, que se baseia em como a boca e o ânus são formados. Dessa forma, tem-se uma linhagem denominada protostômios e outra denominada deuterostômios.

Quais são as características que dão nome às duas linhagens?

- a) Protostômios tem o ânus se desenvolvendo primeiro que a boca.
- b) Deuterostômios tem a boca se desenvolvendo primeiro que o ânus.
- c) Protostômios tem boca e ânus se desenvolvendo ao mesmo tempo.
- d) Deuterostômios tem boca e ânus se desenvolvendo ao mesmo tempo.
- e) Protostômios tem a boca se desenvolvendo primeiro que o ânus.

3. Nos representantes desse subfilo podemos diagnosticar as mesmas características dos cordados, ou seja, presença de notocorda, tubo nervoso dorsal, fendas faríngeas, endóstilo e cauda pós-anal. Além dessas, também se observam outras características específicas e importantes, que os diferenciam dos demais cordados: seus representantes são revestidos por tegumento composto pela epiderme e derme. Possuem endoesqueleto, faringe muscular, músculos segmentares, trato digestivo com musculatura,

sistema circulatório cujo coração possui câmaras, sistema nervoso com encéfalo e órgãos sensoriais, sistema excretor, sistema endócrino e aparelho reprodutor com sexos distintos, além de possuírem apêndices sustentados por cinturas e esqueleto apendicular.

Qual subfilo apresenta essas características tão peculiares?

- a) Hemichordata.
- b) Vertebrata.
- c) Urochordata.
- d) Cephalochordata.
- e) Echinodermata.

Seção 1.2

Hemichordata, Urochordata e Cephalochordata

Diálogo aberto

Olá, caro aluno! Tudo bem? Gostaria de convidá-lo a conhecer um pouco mais sobre os cordados.

Na seção anterior, acompanhamos a Gisele em seus estudos de revisão para a entrevista de estágio, na qual foram abordadas origem, evolução, filogenia, características e diversidade dos cordados. Ela está focada e almeja estagiar no Museu de Zoologia. Nesta seção, iremos acompanhá-la em seus estudos sobre as características gerais, a diversidade e a evolução do filo Hemichordata e dos subfilos Cephalochordata e Urochordata. Enquanto realiza a revisão dos conceitos sobre os cordados, Gisele fica em dúvida de como distinguir os Hemichordata dos Cephalochordata e Urochordata. Qual a relação dos Cephalochordata com a evolução dos vertebrados? Tanto Hemichordata quanto Cephalochordata e Urochordata são animais marinhos, no entanto possuem particularidades que os definem. Quais são as características usadas para agrupá-los e classificá-los? Vamos ajudar a Gisele a responder essas questões?

Não pode faltar

Filo Hemichordata

Os Hemichordata são animais marinhos de pequeno porte, foram considerados por muito tempo um subfilo dos cordados, por apresentarem características similares, como as fendas faríngeas e uma suposta notocorda.

Estudos realizados posteriormente revelaram que essa estrutura, antes denominada notocorda, trata-se na verdade de um divertículo na região oral, a estomocorda, não sendo relacionada com a

notocorda. Além disso, esses espécimes também apresentam similaridades com os equinodermos, o que os levou a serem incluídos num filo à parte.



Vocabulário

Hemichordata: deriva do grego hemi = metade e do latim chorda = corda.

Divertículo: apêndice com forma de saco ou bolsa pequena.

Estomocorda: espécie de corda localizada na região oral do espécime.

Características gerais e aspectos evolutivos dos Hemichordata

Os espécimes desse filo vivem em águas rasas e alguns espécimes vivem em águas profundas, possuem aspectos que lembram vermes, com corpo mole e alongado. Apresentam espécies capazes de se locomover e escavar, como também espécies coloniais, de hábitos sésseis ou sedentários.

Os hemicordados apresentam corpo dividido em probóscide, colarinho e tronco. Possuem simetria bilateral e são deutorostômios e tripoblásticos. Apresentam sistema digestório completo e sistema circulatório com vasos dorsal, ventral e coração dorsal. A excreção se dá através de um glomérulo que se conecta aos vasos sanguíneos.

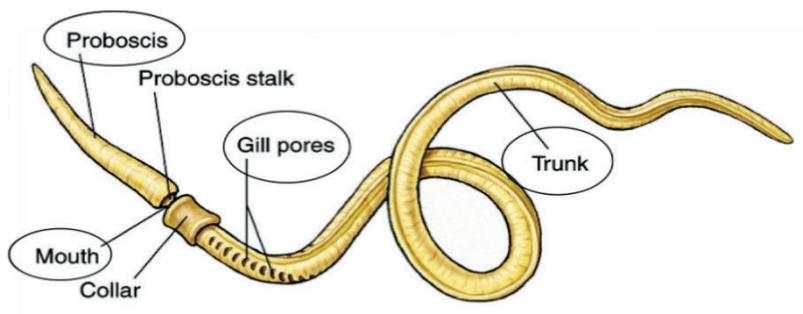


Atenção

Algumas espécies animais apresentam um apêndice alongado localizado na região da cabeça, denominada probóscide.

A probóscide pode estar relacionada ao aparelho bucal ou ao trato nasal.

Figura 1.8 | Estrutura geral do corpo de um hemicordado enteropneusto



Tradução da Legenda: Proboscis = probóscide; proboscis stalk = pedúnculo da probóscide; mouth = boca; collar = colarinho; gill pores = fendas faríngeas; trunk = tronco.

Fonte: <<http://resizing.info/openphoto.php?img=https://classconnection.s3.amazonaws.com/862/flashcards/2083862/png/untitled13-144A2D47D7E774C1B70.png>>. Acesso em: 16 set. 2017.

Os Hemichordata são divididos em duas classes, Enteropneusta e Pterobranchia.

Prezado aluno, você saberia distinguir as diferenças entre as duas classes de hemicordados?

Para auxiliá-lo a responder a essa questão, vamos conhecer um pouco mais sobre as duas classes que compreendem o filo Hemichordata.

Classe Enteropneusta

Os espécimes da classe Enteropneusta são pequenos, atingindo cerca de 20 mm a 2,5 cm de comprimento. Caracterizam-se por apresentarem aspecto vermiforme e movimentos lentos, são animais marinhos que habitam tanto águas rasas como profundas, a maioria vive em galerias ou tocas com formato de túnel em U.

Os enteropneustas apresentam dois gêneros mais conhecidos: *Balanoglossus* e *Sacoglossus*, os quais se caracterizam por possuírem um corpo revestido de muco, dividido em probóscide com forma de língua, colarinho e tronco.

Nos enteropneustas, a probóscide tem como função a captura de alimentos, vasculhando ou escavando o lodo ou a areia também está relacionada com a locomoção. As fendas faríngeas auxiliam nas trocas gasosas por meio da movimentação das correntes de água que passam pelas fendas, e a excreção se dá através do glomérulo, estrutura formada por uma rede de vasos sanguíneos na região da probóscide. A circulação sanguínea ocorre pelos vasos sanguíneos ventral e dorsal. O sistema nervoso caracteriza-se pela presença de uma rede difusa de células nervosas e fibras na região abaixo da epiderme, formando o cordão nervoso dorsal. Em alguns espécimes, esse cordão é oco; tal fato levou alguns pesquisadores a questionar a homologia dos hemicordados com os cordados.

O sistema reprodutor dos enteropneustas é dioico, ou seja, tem sexos separados, no entanto sem dimorfismo aparente. A maioria dos espécimes apresenta reprodução sexuada com fecundação externa. Apresentam ainda o desenvolvimento de uma larva chamada de tornária, que se alimenta e pode permanecer no plâncton por vários meses antes da metamorfose que a transformará em espécime adulto e bentônico. A larva tornária dos enteropneustas assemelha-se à larva dos equinodermos. Nos espécimes que apresentam reprodução assexuada, o processo ocorre de forma simples, fragmentos do tronco podem gerar novos seres, e o interessante é que as partes que sofrem essa lesão (fragmento) reconstituem-se.

Figura 1.9 | Larva tornária de hemicordado enteropneusta



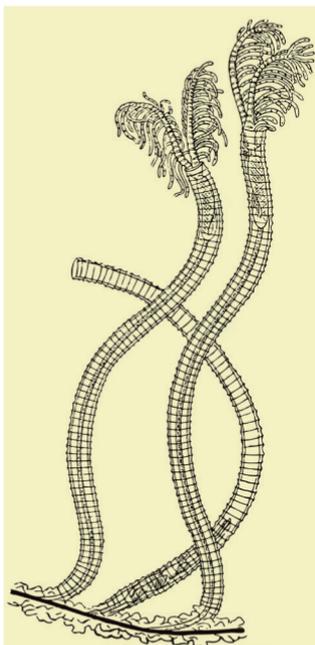
Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23270678>>. Acesso em: 16 set. 2017.

Classe Pterobranchia

Os pterobrânquios se diferem dos enteropneustas por apresentarem modo de vida sedentário, vivendo em colônias, dentro de tubos. São animais marinhos pequenos, medindo entre 1 mm a 7 mm de comprimento; apesar de viverem em colônias, os espécimes não se comunicam e vivem de forma independente, sendo chamados de zooides. Apenas três gêneros de pterobrânquios são conhecidos, *Atubaria*, *Cephalodiscus* e *Rhabdopleura*.

Os zooides dos pterobrânquios apresentam probóscide, colarinho e tronco. No colarinho, desenvolvem-se tentáculos que servem para obtenção de alimento. Os pterobrânquios também apresentam um pedúnculo utilizado para puxar o zoide para dentro do tubo quando ele se encontra em situação desfavorável. Alguns espécimes não apresentam glomérulo, fendas faríngeas e tubo nervoso no colarinho. São dioicos ou monoicos, podendo ocorrer reprodução sexuada ou sexuada por brotamento.

Figura 1.10 | Hemicordado pterobrânquio *Rhabdopleura normani*



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50581886>>. Acesso em: 16 set. 2017.

Diversidade e evolução dos Hemichordata

Os espécimes do filo Hemichordata têm características semelhantes tanto com cordados, quanto com os equinodermos. As fendas faríngeas são as estruturas compartilhadas com espécimes do filo Chordata, mas, por não possuírem notocorda verdadeira, os hemicordados não são considerados cordados verdadeiros. Já com os equinodermos, partilham um sistema nervoso epidérmico difuso, celoma tripartido, e esta característica os coloca juntos no clado Ambulacraria e embriogênese com larva tornária, semelhante à larva bipinária dos equinodermos. Estudos realizados utilizando de sequenciamento de DNA revelaram que enteropneustas e equinodermos são grupos-irmãos. Os hemicordados foram classificados como táxon-irmão dos equinodermos e dos cordados, por conta de estudos recentes que os definem como deuterostomados.

Quanto aos aspectos evolutivos dos Hemichordata, admite-se que, por possuírem modo de vida sésil, os pterobrânquios pouco evoluíram quanto ao modo de alimentação por meio do uso dos tentáculos ciliados, sendo que esta característica pode representar falta de evolução. Em contrapartida, os enteropneustas, que não apresentam tentáculos, são mais ativos que os pterobrânquios, mas possuem movimentos lentos. Cavando a areia, eles utilizam a probóscide para capturar os alimentos, sendo considerado um novo modo de alimentação e um fator no processo de evolução desses espécimes.



Assimile

Os espécimes do filo Hemichordata são considerados importantes do ponto de vista filogenético, pois apresentam afinidades com Chordata e com Echinodermata, sendo considerado como provável grupo-irmão dos cordados. Descobertas recentes colocam os hemicordados mais próximos dos equinodermos, formando o clado Ambulacraria.

Tanto equinodermos, como hemicordados e cordados são animais deuterostomados, ou seja, o blastóporo deu origem ao ânus.

Os subfilos Cephalochordata e Urochordata são considerados por muitos pesquisadores como protocordados ou cordados primitivos. A partir de agora, vamos discorrer um pouco mais sobre esses importantes subfilos.



Refleta

Prezado aluno, tendo como base todos os conhecimentos acerca dos cordados e dos hemicordados, quais características os diferem dos protocordados?

Subfilo Cephalochordata

Os Cephalochordatas compreendem 30 espécies distribuídas por todo o mundo em mares quentes das regiões temperadas e tropicais, são pequenos animais marinhos que se assemelham aos peixes por conta de sua forma pontiaguda. Atualmente, os cefalocordados estão divididos nas famílias Epigonichthyidae, que tem como representantes 7 espécies, e Branchiostomatidae, que têm como representantes 23 espécies, sendo conhecidos apenas dois gêneros, *Epigonichthys* e *Branchiostoma*.

Os cefalocordados mais conhecidos são os *Branchiostoma lanceolatum*, os anfioxos. Para entendermos mais sobre características gerais e aspectos evolutivos dos Cephalochordata, vamos nos basear nos anfioxos, que são animais que vivem nas águas de regiões costeiras de todo o globo terrestre e habitam o fundo arenoso desses locais; são transparentes e delgados, medindo cerca de 3 cm a 7 cm de comprimento. Os espécimes adultos são escavadores e sedentários, mas, em algumas espécies, os animais retêm o comportamento livre-nadante larval.

Figura 1.11 | *Branchiostoma lanceolatum* - Cephalocordata



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Branchiostoma_lanceolatum_\(Pallas,_1774\).jpg#/media/File:Branchiostoma_lanceolatum_\(Pallas,_1774\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Branchiostoma_lanceolatum_(Pallas,_1774).jpg#/media/File:Branchiostoma_lanceolatum_(Pallas,_1774).jpg)>. Acesso em: 17 set. 2017.

Os anfioxos apresentam miômeros, característica que compartilha com os vertebrados. As contrações dos miômeros fazem com que o animal seja impulsionado para frente ou para trás. A notocorda se estende por toda a extensão corpórea e serve como bastonete elástico e inflexível, impedindo o encurtamento durante as contrações dos miômeros. Outra característica importante da notocorda é que, além de percorrer todo o comprimento do corpo do animal, ela se alonga na parte rostral, servindo de auxílio durante o processo de escavação, o que sugere ser uma especialização adquirida pelos cefalocordados.

A alimentação se dá por filtração pelas fendas faríngeas, que regulam o fluxo de água numa única direção.

O anfioxo apresenta celoma (cavidade interna) e uma cavidade externa formada por evaginações da parede corpórea, denominada átrio, cuja função é o controle da passagem de substâncias pela faringe. O sistema circulatório nos anfioxos é fechado e não existe coração, o sangue é impulsionado por meio de contrações dos vasos, e não apresenta pigmentos. Acredita-se que sua principal função esteja mais relacionada à distribuição de nutrientes pelo corpo do que à troca e ao transporte de gases. Mesmo sendo possível ocorrer difusão de oxigênio e dióxido de carbono através das brânquias, acredita-se que a maior parte das trocas gasosas ocorra pela respiração cutânea, mais especificamente nas pregas metapleurais. A excreção, por sua vez, é realizada através de protonefrídeos, também chamados de solenócitos. Eles são responsáveis pela captação dos metabólitos, que são conduzidos por um duto até o átrio para, posteriormente, serem eliminados.

Os anfioxos possuem também uma nadadeira caudal que se assemelha à nadadeira dos vertebrados. Os anfioxos são dioicos, os gametas são armazenados no átrio, de onde são encaminhados para a água, na qual ocorre a fecundação.



Os blocos de fibras musculares estriadas, que se dispõem em ambos os lados do corpo e estão separados por feixes de tecido conjuntivo, são chamados de miômeros.

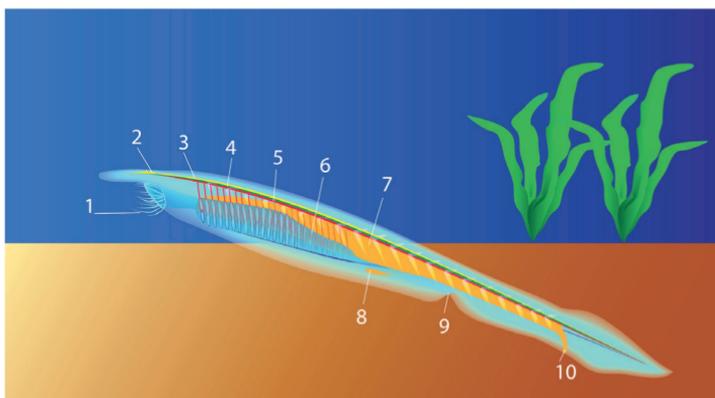
Os miômeros são exclusivos dos cefalocordados e estão relacionados à locomoção.

Figura 1.12 | Anfioxos (miômeros)



Fonte: <<https://netnature.files.wordpress.com/2014/11/anfioxo.jpg>>. Acesso em: 22 set. 2017.

Figura 1.13 | Esquema do Anfioxo – cefalocordado



Legendas: 1- tentáculos; 2 - gânglio cerebral; 3 - tubo nervoso dorsal; 4 - notocorda; 5 - sistema circulatório; 6 - fendas faríngeas; 7- intestino; 8 - ceco hepático; 9 - atriópore; 10 - ânus.

Fonte: <<https://www.istockphoto.com/br/vetor/branchiostoma-lanceolatum-anatomia-sistema-gm500364781-42858152>>. Acesso em: 17 set. 2017.

Diversidade e evolução dos cefalocordados

Os cefalocordados compartilham características dos cordados, como presença de notocorda, fendas faríngeas, tubo nervoso dorsal e cauda pós-anal. Além desses caracteres, cefalocordados se aproximam dos cordados por apresentarem aspectos embrionários semelhantes, sendo considerados grupos-irmãos.

De acordo com estudos da biologia molecular, o *Pikaia* é o cefalocordado do Cambriano Médio, muito parecido com o *Branchiostoma*, sendo considerado o animal mais primitivo semelhante aos cordados.

Recentemente, estudos envolvendo os yunnanozoanos *Haikouella*, que têm características de cordados, com presença de miômeros, endóstilo, faringe e notocorda, revelaram que eles são um grupo-irmão dos Vertebrata (craniatas).

Vale ressaltar que os estudos basearam-se em fósseis de *Pikaia* e *Haikouella*, pois ambos são animais extintos.

Figura 1.14 | Registro fóssil de *Pikaia gracilens*



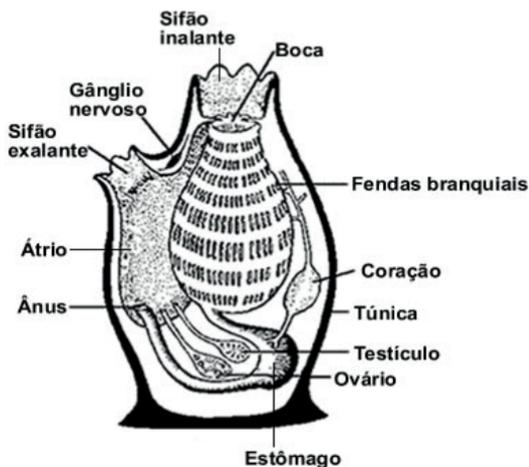
Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pikaia_Burgess_Mus%C3%A9um_Grenoble_03082017.jpg#/media/File:Pikaia_Burgess_Mus%C3%A9um_Grenoble_03082017.jpg>. Acesso em: 27 set. 2017.

Subfilo Urochordata

Nos Urochordata, a notocorda se restringe à região da cauda, ao contrário dos Cephalochordata.

Os urocordados atuais são conhecidos como tunicados, são animais marinhos filtradores, apresentam uma faringe perfurada que se parece com um cesto.

Figura 1.15 | Estrutura interna da *Ascidia* – urocordado tunicado



Fonte: <<http://brasilescola.uol.com.br/biologia/urochordata.htm>>. Acesso em: 18 set. 2017.

Os urocordados compreendem aproximadamente 3100 espécies; destas, cerca de 2.100 viventes têm como representantes mais comuns as ascídias, cujos espécimes são sésseis, vivendo em colônias ou solitários.

Os espécimes adultos dos tunicados se assemelham aos cefalocordados e vertebrados apenas pela presença de endóstilo e faringe com fendas utilizadas para filtração durante a alimentação.

Durante a embriogênese, apresentam larvas que se assemelham aos girinos, e tal fato os aproxima dos cordados.

Os urocordados são divididos em várias classes taxonômicas: Ascidiacea, que possuem adultos sésseis e larva natatória; Appendicularia (Larvacea) e Thaliacea, cujos animais são pelágicos e flutuantes, não se fixando em nenhum substrato.

Figura 1.16 | Urocordado tunicado (Ascidiacea).



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sea_Squirts_Didemnum_molle.jpg#/media/File:Sea_Squirts_Didemnum_molle.jpg>. Acesso em: 17 set. 2017.



Pesquise mais

Olá, caro aluno! Para conhecer mais sobre as classes taxonômicas dos Urochordata, consulte bibliografias complementares:

HICKMAN Jr, C. P. et al. Subfilo Urochordata (Tunicata). In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 23, p. 529-533.

KARDONG, K.V. Origem dos Cordados. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. Trad. Sonia Maria Marques Hoenem. São Paulo: Roca, 2010. cap. 2, p. 80-89.

Diversidade e evolução dos urocordados

A teoria que preconizava que cefalocordados e vertebrados teriam evoluído a partir de um ancestral semelhante a uma larva de um urocordado tunicado foi mantida por muito tempo. Garstang propôs, no início do século XX, que as larvas dos urocordados

poderiam se tornar sexualmente maduras e originar adultos móveis. Porém, em pesquisas atuais, foi sugerido que os tunicados com formas adultas sésseis são formas derivadas e, dentre as poucas espécies de tunicados atuais que permanecem em estágio larval, estão as que se assemelham ao ancestral dos cordados.

Estudos recentes revelaram que achados fósseis do início do Cambriano referem-se a possíveis cordados primitivos que se assemelham aos deuterostômios basais, com presença de fendas faríngeas, endóstilo e provável ausência da notocorda, sendo chamado de vetucoliano *Xidazoon*, um possível urocordado tunicado.

Entretanto, atualmente, a teoria mais aceita é que o ancestral dos cordados tenha se originado de cefalocordados como a *Pikaia*. Por meio de achados fósseis e estudos mais complexos, alguns pesquisadores sugerem que os vertebrados possam ter como ancestral o yunnanozoon *Haikouella*.

Caro aluno, chegamos ao final de mais uma seção, na qual você verificou que os hemicordados são alocados num filo separado dos cordados, apresentando semelhanças tanto com cordados, quanto com equinodermos. Estudamos também os cordados primitivos, pertencentes aos subfilos Cephalochordata e Urochordata, que apresentam características distintas e cujas pesquisas recentes revelaram que o ancestral dos cordados descende de representantes do subfilo Cephalochordata.

Na próxima seção, avançaremos mais um pouco em nossa viagem exploratória, na qual abordaremos aspectos do subfilo Vertebrata. Até breve!

Sem medo de errar

Caro aluno, mediante os conceitos adquiridos nesta seção, podemos retomar à situação-problema exposta no “Diálogo aberto”, em que a Gisele resolveu revisar os conceitos sobre os Cordados, visto que pretende estagiar no Museu de Zoologia de sua cidade. Durante os estudos, Gisele fica com dúvidas: quais as diferenças entre Hemichordata, Cephalochordata e Urochordata? A evolução

dos Vertebrata apresenta alguma relação com os Cephalocordata? Os hemicordados, cefalocordados e urocordados podem ser classificados e agrupados de acordo com suas características peculiares. Quais são essas características?

Para que possamos auxiliar a Gisele a responder tais questionamentos, precisamos nos recordar das cinco características principais dos cordados: presença de notocorda em alguma fase da vida, tubo nervoso dorsal, bolsas faríngeas, endóstilo e cauda pós-anal.

A partir da presença ou ausência de uma ou mais características, podemos classificar os espécimes em hemicordados, cefalocordados ou urocordados.

Vale lembrar que os hemicordados partilham características com cordados e equinodermos. Durante a embriogênese, alguns hemicordados podem apresentar uma larva tornária bem similar à larva dos equinodermos, bem como celoma tripoblástico e sistema nervoso epidérmico difuso.

Os cefalocordados, por sua vez, apresentam as cinco características típicas dos cordados. A presença da notocorda e dos miômeros sugerem que os cefalocordados são parentes próximos dos cordados.

Os urocordados são considerados protocordados, possuem notocorda apenas na região caudal e se assemelham aos cordados por possuírem fendas faríngeas e endóstilo.

Anteriormente, os urocordados eram considerados ancestrais dos cordados, mas, por meio de descobertas recentes e dos avanços em pesquisas de biologia molecular, o espécime do cefalocordado primitivo *Pikaia* foi considerado como o animal primitivo que mais se assemelha aos Chordata.

Com a revisão dos conteúdos referentes aos hemicordados, cefalocordados e urocordados, Gisele está apta a responder aos seus questionamentos iniciais e prosseguir nos estudos, preparando-se para a entrevista do estágio.

Afinidades filogenéticas dos Hemichordata

Descrição da situação-problema

No Instituto de Biologia de uma renomada universidade, uma equipe de pesquisadores se dedica a solucionar mais uma peça do misterioso quebra-cabeça que envolve a evolução das espécies. Esses biólogos-pesquisadores têm como grande aliado o advento de técnicas mais modernas de estudo, como o sequenciamento de DNA, propondo um novo rumo na história evolutiva de muitos espécimes, como os hemicordados e cordados.

Por muito tempo, os hemicordados foram considerados ancestrais dos cordados. Entretanto, hoje é sabido que tal fato não procede por conta de outras características apresentadas pelos hemicordados e que os cordados não possuem. Fazendo uso de técnicas avançadas em pesquisa, como a equipe de pesquisadores pode chegar a conclusões assertivas que respondam quais características são importantes para definir se um espécime tem ancestralidade com outro espécime? Os hemicordados são mais próximos de qual filo existente no reino Animalia?

Resolução da situação-problema

Prezado aluno, para a resolução dessa situação-problema, além dos experimentos laboratoriais, como o sequenciamento de DNA, os pesquisadores também deverão refletir sobre as características gerais e os aspectos evolutivos dos Hemichordata e relacioná-los com as características principais dos cordados e seus aspectos evolutivos.

Para que um espécime seja considerado ancestral de outro, os estudos devem comprovar que esses espécimes apresentam características similares, por exemplo, deuterostomia ou protostomia, presença da notocorda, do tubo nervoso dorsal, bolsas faríngeas, endósitlo e cauda pós-anal. Além dessas citadas deve-se verificar se apresentam similaridade no desenvolvimento embrionário.

Nos achados fósseis que foram coletados, a equipe de pesquisadores encontrou vestígios que os levaram a propor que o espécime em questão era um hemicordado, pois não apresentava notocorda verdadeira, apesar de possuir fendas faríngeas e presença de celoma triblástico. A embriogênese de alguns espécimes hemicordados com larva tornária, semelhante à larva bipinária dos equinodermos, sugeriu o parentesco entre os filos. Os estudos de sequenciamento de DNA demonstraram que os hemicordados são um grupo-irmão dos equinodermos.

Faça valer a pena

1. Os Hemichordata são animais marinhos, bentônicos, deutrostomados e apresentam modo de vida sésil ou com movimentos lentos e escavador. O corpo dos hemicordados é dividido em probóscide, colarinho e tronco. São conhecidas duas classes existentes, a Enteropneusta e a Pterobranchia.

Quais são as características gerais do filo Hemichordata?

- a) Simetria bilateral, celoma diblástico, notocorda, fendas faríngeas.
- b) Simetria espiral, celoma tripoblástico, estomocorda, fendas faríngeas.
- c) Simetria radial, celoma tripoblástico, notocorda, fendas faríngeas.
- d) Simetria bilateral, celoma tripoblástico, estomocorda, fendas faríngeas.
- e) Simetria bilateral, celoma diblástico, estomocorda, fendas faríngeas.

2. Os espécimes do subfilo Cephalochordata são considerados protocordados ou cordados primitivos. O anfioxo é o exemplar mais conhecido dos cefalocordados, possui corpo delgado, com cerca de 3 cm a 7 cm de comprimento, translúcido, e habita as águas costeiras em todo o globo terrestre. Os adultos têm hábitos sedentários e escavadores, mas, em algumas espécies, os animais se movimentam mantendo o comportamento da fase larval.

Os cefalocordados, como os anfioxos, compartilham características típicas dos cordados. Essas características compreendem:

- a) Notocorda, tubo nervoso caudal, bolsas faríngeas, endóstilo, cauda pré-anal.
- b) Estomocorda, tubo nervoso dorsal, bolsas faríngeas, endóstilo, cauda.
- c) Notocorda, tubo nervoso dorsal, bolsas faríngeas, endóstilo, cauda pós-anal.

- d) Estomocorda, tubo nervoso ventral, bolsas faríngeas, átrio, cauda pós-anal.
- e) Estomocorda, tubo nervoso dorsal, bolsas faríngeas, átrio, cauda.

3. Por muitos anos, os urocordados foram considerados ancestrais dos cordados por compartilharem estruturas como as fendas faríngeas e o endóstilo. Entretanto, é sabido que uma das características principais dos cordados é a presença da notocorda, uma estrutura, em forma de bastão, que percorre toda a extensão corpórea, expressando-se em alguma fase do ciclo da vida. Nos urocordados, a notocorda se restringe à região caudal do animal. Os urocordados, assim como os cefalocordados, são considerados deuterostômios.

De acordo com a teoria de Garstang, os urocordados seriam ancestrais dos cefalocordados e cordados pela presença de quais estruturas?

- a) Larvas sésseis, sexualmente maduras dão origem a adultos imóveis.
- b) Larvas nadantes, sexualmente maduras dão origem a adultos móveis.
- c) Larvas sésseis, sexualmente imaturas dão origem a adultos móveis.
- d) Larvas nadantes, sexualmente imaturas dão origem a adultos imóveis.
- e) Larvas nadantes, sexualmente maduras dão origem a adultos imóveis.

Seção 1.3

Vertebrados

Diálogo aberto

Olá, caro aluno, nesta seção, vamos continuar nossa jornada do conhecimento.

Estamos acompanhando a Gisele em seus estudos preparatórios para a entrevista de estágio no Museu de Zoologia. Nas seções anteriores, os estudos abrangeram o filo Chordata, o filo Hemichordata e os subfilos Cephalochordata e Urochordata, suas características gerais, diversidade e evolução.

O dia da entrevista se aproxima e, nesta seção, Gisele está revendo alguns conceitos sobre o subfilo Vertebrata, suas características e adaptações morfofuncionais. Entretanto, para não correr o risco de esquecer os conceitos principais, decidiu elaborar uma tabela ou quadro com essas informações.

Prezado aluno, em uma aula de vertebrados, como você organizaria as características e adaptações morfofuncionais para ajudar no entendimento dos alunos?

Não pode faltar

Subfilo Vertebrata

Os animais vertebrados são diversificados e habitam ambientes marinhos, de água doce, terrestres e aéreo, fazendo com que o Vertebrata seja o maior e mais variado subfilo dos Chordata.

Características gerais do subfilo Vertebrata

Os vertebrados compartilham com os outros dois subfilos (Cephalochordata e Urochordata) as características básicas dos

cordados, ou seja, presença de notocorda em alguma fase da vida, tubo nervoso dorsal, cauda pós-anal e endóstilo. Além dessas citadas, apresentam outras características não encontradas nos outros subfilos. Caro aluno, você saberia dizer quais são as características principais dos vertebrados?

A característica principal que dá nome ao filo é a presença de vértebras que se arranjam ao redor da notocorda para formar a coluna vertebral. Mas nem todos os vertebrados possuem vértebras, são exemplos os agnatos (vertebrados sem maxilas), como as feiticeiras e lampreias. Os gnatostomados (vertebrados com maxilas) possuem vértebras verdadeiras, costelas e sistema completo da linha lateral, observados na maioria dos espécimes viventes. Também apresentam crânio, de origem óssea ou cartilaginosa.

Alguns membros tradicionalmente incluídos em Vertebrata, as lampreias e feiticeiras, não possuem vértebras, mas possuem homologias com os vertebrados, assim, alguns autores preferem chamar o subfilo de Craniata.

Os representantes do Vertebrata possuem também um sistema tegumentar que reveste a superfície corpórea. O tegumento é formado por pele, que, por sua vez, é formada por epiderme e derme, além de anexos como pelos, glândulas, escamas, garras e cornos.



Assimile

Epiderme: tecido epitelial estratificado pavimentoso, originado da ectoderme.

Derme: tecido conjuntivo, derivado da mesoderme.

Pele: formada pela epiderme e pela derme, tem função de proteção, trocas e sensações com o ambiente externo.

O sistema esquelético-muscular dos vertebrados é formado por um endoesqueleto cartilaginoso ou ósseo, constituído pela coluna vertebral (exceto nos agnatos) e pelo crânio. Os vertebrados mais recentes desenvolveram um esqueleto axial e outros, o esqueleto apendicular.

O sistema muscular é diferenciado, formando miômeros ou músculos segmentares complexos com forma de W que, juntamente com a coluna vertebral, auxiliam na locomoção.

Outra característica é a presença de dois pares de apêndices que são sustentados por cinturas e de esqueleto apendicular na maioria dos espécimes do subfilo Vertebrata.

Figura 1.17 | Esqueleto de uma cabra – Vertebrata



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50970682>>. Acesso em: 30 set. 2017.

O sistema digestório se caracteriza pelo desenvolvimento do tubo digestivo com parede muscular desenvolvida, presença de fígado e pâncreas. Nos peixes, a faringe muscular é representada pelas fendas faríngeas que se abrem em brânquias e são utilizadas para filtrar partículas de alimento e para a respiração. Nos tetrápodes, a bolsas faríngeas se diferenciam em glândulas.

O sistema circulatório dos vertebrados caracteriza-se pela presença de um coração ventral com câmaras, formando um sistema fechado de vasos sanguíneos com artérias, veias e capilares. O sangue é composto por plasma contendo eritrócitos com hemoglobina, leucócitos e plaquetas. Os arcos aórticos pares se comunicam com as aortas dorsal e ventral, se ramificam até as brânquias dos vertebrados aquáticos e sofrem modificações em circuito pulmonar e sistêmico nos vertebrados terrestres.

Nos vertebrados, o celoma é bem desenvolvido, dividindo-se em cavidade pericárdica e cavidade pleuroperitoneal.

Os espécimes possuem rins glomerulares pares providos de ductos que drenam os excretas até o ânus, constituindo o sistema excretor dos vertebrados.

O sistema nervoso é altamente diferenciado, apresentando encéfalo tripartido, 10 a 12 pares de nervos cranianos, presença de nervos espinhais e desenvolvimento de órgãos sensoriais em pares.

Há presença de glândulas por todo o corpo, constituindo o sistema endócrino, cuja produção e liberação de hormônios é importante para a regulação das células-alvo.

A reprodução dos vertebrados, geralmente, é sexuada, os animais são dioicos apresentando gônadas pares. Os produtos das gônadas são liberados na cloaca ou em aberturas especiais próximas ao ânus.

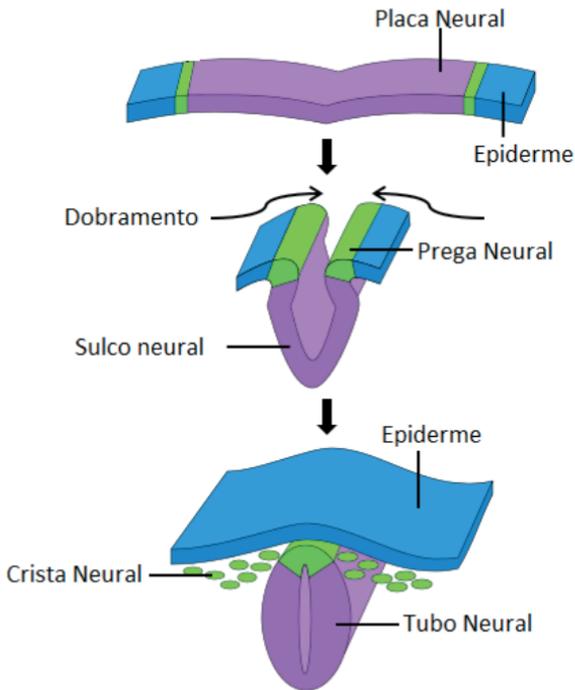
Adaptações morfofuncionais do subfilo Vertebrata

Além da presença da coluna vertebral que protege a medula espinhal na maioria dos espécimes e do crânio que protege o encéfalo, o subfilo Vertebrata possui dois aspectos embrionários que o distingue dos demais cordados.

Apesar do complexo do gene Hox (genes *homeobox*), cuja função é controlar o plano corporal dos animais, ser encontrado em outros grupos animais como no anfioxo e em outros invertebrados; nos vertebrados, esses genes são os únicos que possuem duplicação total, sugerindo que animais mais complexos apresentam uma quantidade maior de genes, portanto, são mais evoluídos.

O outro aspecto se dá pela presença da crista neural, um tipo de tecido embrionário que tem função de formar novas estruturas nos vertebrados, principalmente na região cefálica. Antigamente, pensava-se que a crista neural era originada do ectoderma, mas recentemente foi proposto ser um folheto independente, tornando os Vertebrata os únicos animais tetrablásticos, ou seja, que possuem quatro folhetos germinativos. Esse mesmo tecido, que forma a crista neural, forma também os placódios epidérmicos, estes dão origem aos órgãos sensoriais dos vertebrados, tais como nariz, olhos, orelha interna e botões gustativos e, em conjunto com as células da crista neural, contribuem com o sistema da linha lateral (nos peixes) e nervos cranianos.

Figura 1.18 | Formação da crista neural



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49741740>>. Acesso em: 1 out. 2017.

A crista neural e os placódios epidérmicos são adaptações embrionárias exclusivas dos vertebrados.

Outra adaptação é o fato de os vertebrados possuírem encéfalo (maior do que os encéfalos dos cordados primitivos) formado por três partes distintas, prosencéfalo, mesencéfalo e rombencéfalo. O desenvolvimento do encéfalo, a partir da dilatação da extremidade anterior do tubo nervoso, sugere uma adaptação dos vertebrados que passaram a obter o alimento por meio da predação ativa, deixando a alimentação por filtração, ocorrendo, com isso, o desenvolvimento de novos controles integrativos, sensoriais e motores, essenciais para localizar e capturar presas maiores.

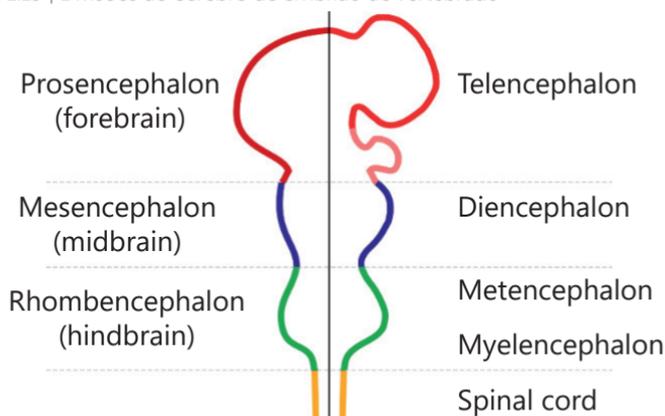


Prosencéfalo: está associado com o sentido do olfato. Possui duas partes, uma região caudal denominada diencefalo e uma região rostral, o telencéfalo. O diencefalo atua como regulador das áreas sensoriais e dos centros mais elevados do encéfalo. No diencefalo, estão localizados o hipotálamo, a glândula hipófise e a glândula pineal.

Mesencéfalo: está relacionado com o sentido da visão. O mesencéfalo se desenvolve junto com os olhos, recebendo impulsos do nervo óptico.

Rombencéfalo: responsável pelo equilíbrio e detecção de vibrações (associadas à audição). O rombencéfalo está dividido em duas partes; a caudal, constituída pelo mielencéfalo, também chamado de medula oblonga, é responsável pelo controle da respiração e pela regulação das células receptoras do ouvido interno. O metencéfalo (parte rostral) desenvolve o cerebelo, importante na coordenação e regulação das atividades motoras.

Figura 1.19 | Divisões do cérebro de embrião de vertebrado



Legendas: Prosencephalon (forebrain) = prosencéfalo (cérebro anterior; parte frontal do cérebro), Telencephalon = telencéfalo; Diencephalon = diencefalo; Mesencephalon (midbrain) = Mesencéfalo (cérebro central); Rhombencephalon (hindbrain) = rombencéfalo (cérebro posterior; parte posterior do cérebro); Metencephalon = metencéfalo; Myelencephalon = mielencéfalo; Spinal cord = Medula espinhal.

Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2527541>>. Acesso em: 1 out. 2017.

Também não podemos deixar de citar que as modificações musculoesqueléticas dos vertebrados permitiram um tamanho corpóreo limitado, promovendo um desenvolvimento progressivo do esqueleto associado à musculatura complexa, que auxilia no controle corpóreo e no aumento da mobilidade. A presença da cartilagem possibilitou maior flexibilidade, contribuindo para a locomoção, e o esqueleto confere sustentação e proteção das estruturas internas.

A pele também sofreu modificações que originaram anexos, como escamas, pelos, penas e cornos, importantes adaptações para proteção dos espécimes. Modificações dérmicas favoreceram o surgimento de nadadeiras raiadas importantes na natação. Vale ressaltar que as nadadeiras são encontradas unicamente nos vertebrados.

Os sistemas digestório, circulatório e excretor também se adaptaram com intuito de atender à maior demanda metabólica. Podemos citar a adição de músculos junto à faringe, que passou a funcionar como uma bomba para movimentar a água. Com o surgimento das brânquias vascularizadas, a faringe passou a participar das trocas gasosas. As modificações do tubo digestório compreendem a ação muscular de impulsionar o alimento pelo tubo e digestão do alimento com auxílio dos produtos de glândulas como o pâncreas e o fígado. O coração ventral com câmaras, vasos sanguíneos e sangue contendo eritrócitos com hemoglobina propiciaram o aumento do transporte de nutrientes, gases e outras substâncias. Surgiram rins glomerulares pares com função de remoção dos resíduos metabólicos e regulação dos íons e fluidos corpóreos.

Todas as adaptações que citamos, até então, contribuíram para a evolução e irradiação adaptativa dos espécimes que compreendem o subfilo Vertebrata.

Para melhor classificação dos vertebrados, eles foram divididos em duas superclasses, a Agnatha e Gnathostomata. Os agnatos são representados pelas classes Myxini (feiticeiras) e Petromyzontida (lampreias). Os gnatostomados são representados por peixes com maxilas que compreendem as classes Chondrichthyes

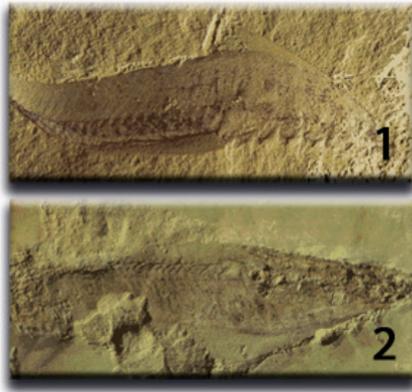
(tubarões, raias e quimeras), Actinopterygii (peixes com nadadeiras raiadas), Sarcopterygii (peixes de nadadeiras lobadas), tetrápodes ectotérmicos que abrangem as classes Amphibia (anfíbios), Reptilia (répteis) e tetrápodes endotérmicos representados pelas classes Aves e Mammalia (mamíferos).

Vertebrados primitivos

Os vertebrados primitivos são conhecidos por meio de registros fósseis de cerca de 530 milhões de anos, provenientes de Chengjiang, no sul da China, datados do Cambriano inicial.

São eles o *Myllokunmingia* (do grego *myllo* = peixe marinho; *Kumning* = cidade da China) e o *Haikouichthys* (Haikou = cidade da China; do grego *ichthy* = peixe), ambos não apresentam ossos ou escamas mineralizadas, nem elementos craniais. Entretanto, apresentam arcos branquiais, miômeros, coração, cabeça, olhos pares, ouvidos (cápsulas óticas), vértebras rudimentares, nadadeira dorsal e nadadeiras ventrolaterais pares, além das características típicas dos cordados (notocorda, tubo nervoso dorsal, fendas faríngeas, endóstilo e cauda pós-anal).

Figura 1.20 | Registros fósseis de *Myllokunmingia* e *Haikouichthys* – vertebrados primitivos



Legenda: 1 – *Myllonkunmingi fengjiao*; 2 – *Haikouichthys ercaicunensis*.

Fonte: <<http://m.harunyahya.com/tr/Buku/973/The-Errors-the-American-National-Academy-of-Sciences/chapter/3218/The-nass-errors-on-the-subject-of-the-fossil-record>>. Acesso em: 2 out. 2017.



Para entender um pouco mais sobre os vertebrados primitivos, assista ao filme: "A origem dos vertebrados - *Haikouichthys*" (do documentário "Walking with Monsters", produzido pela BBC Londres) - Duração: 00:00:55. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=aXcFpKviXoQ>>. Acesso em: 27 set. 2017.

Os conodontes são microfósseis que se assemelham a dentes pontudos ou a pentes foram muito utilizados em datações de sedimentos marinhos provenientes do Cambriano Superior. No entanto os pesquisadores não sabiam a que filo pertenciam, o que levou à especulação de que seriam moluscos ou cordados. No início da década de 1980, foram achados registros fósseis de animais completos, com elementos conodontes em sua faringe, presença de miômeros em forma de V, notocorda, olhos pares e cápsulas óticas, raios de nadadeira caudal similar à cauda pós-anal. Essas características os colocavam de fato como integrantes do subfilo Vertebrata.

Pelo fato de apresentarem tecidos mineralizados, os conodontes podem ser considerados mais derivados de vertebrados do que os peixes agnatos vivos, de corpo mole.

Figura 1.21 | Conodontes vistos com lupa binocular



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3452555>>. Acesso em: 2 out. 2017.



Prezado aluno, para saber mais acerca dos conodontes, leia o artigo intitulado "Explosão de biodiversidade explicada: microfósseis de conodontes revelam variações de temperatura no mar há quase 500 milhões de anos". Disponível em: <http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2606/n/explosao_de_biodiversidade_explicada>. Acesso em: 30 out. 2017.

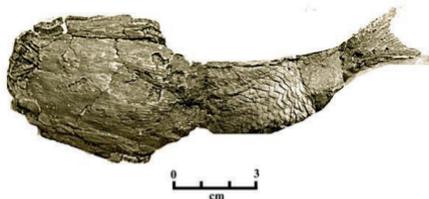
Os ostracodermes eram os fósseis conhecidos dos vertebrados primitivos, até a descoberta dos achados fósseis de *Myllokunmingia* e *Haikouichthys*, do Cambriano Inferior.

Os ostracodermes se caracterizam por não possuírem maxila e eram protegidos por uma armadura óssea, sem nadadeiras pares. Dentre os representantes dos ostracodermes, todos extintos, podemos citar os heterostracos, que se caracterizavam por sugar a água para a faringe por bombeamento da musculatura. Alguns pesquisadores sugerem que os heterostracos se alimentavam de animais de corpo mole, o que os tornava predadores ativos.

Outro grupo, os osteostracos, diferentemente dos heterostracos, apresentavam nadadeiras pares que propiciaram o aperfeiçoamento da natação. O corpo era coberto por uma armadura de osso que, junto com o escudo da cabeça, formava uma peça única.

Os anaspídeos, por sua vez, apresentavam corpo mais flexível e aerodinâmico em relação aos outros ostracodermes, maior redução do escudo cefálico e nadadeira caudal do tipo hipocerca, que facilitava a natação em águas mais abertas.

Figura 1.22 | *Arandaspis priontolepis* - fóssil de Ostracoderme



Fonte: <<http://www.athenapub.com/17Records-08.htm>>. Acesso em: 2 out. 2017.

Evolução dos peixes modernos

A evolução dos peixes modernos está associada a diversos fatores, dentre eles, podemos citar a origem das maxilas nos vertebrados.



Refleta

Gnatostomados: são todos os vertebrados, extintos ou vivos, que apresentam maxila.

Os gnatostomados representam um grupo monofilético, pois a presença da maxila caracteriza um caráter derivado compartilhado por todos os peixes com maxila e os tetrápodes.

Agnatos: são os vertebrados com ausência da maxila.

Os agnatos são parafiléticos, pois são definidos principalmente pela ausência da maxila, característica essa que não se faz única aos peixes sem maxila, mas também aos ancestrais dos vertebrados.

Caro aluno, tendo como base as informações sobre os gnatostomados e os agnatos, você saberia relacionar qual a importância da maxila na evolução dos peixes modernos?

A presença da maxila pode ser considerada como um importante evento na evolução dos vertebrados devido à sua utilidade, já que permite aos animais pregar alimentos maiores e manipular objetos. Supõe-se que a maxila tenha surgido de uma modificação do arco faríngeo que, associado à musculatura, passou a auxiliar na ventilação branquial e, posteriormente, começou a funcionar como maxila. A transformação tem como evidência o fato de os arcos branquiais e as maxilas serem originadas de célula da crista neural, ambos se formam a partir de dobramentos e articulações das barras superiores e inferiores na região mediana, além da maxila possuir musculatura homóloga à musculatura de sustentação branquial.

Outro fator importante é a presença de apêndices pares nas regiões peitoral e pélvica, sob a forma de nadadeiras ou membros, nos espécimes gnatostomados. Essas nadadeiras serviam para proporcionar estabilidade durante a natação. As nadadeiras peitorais se desenvolveram antes das nadadeiras pélvicas.

Adaptações dos peixes modernos

Além do surgimento das maxilas, utilizadas no processo de predação de alimentos, o desenvolvimento de nadadeiras nos gnatostomados, dando mais estabilidade durante a natação, pode ser considerado como uma adaptação dos peixes modernos.

Em determinado espécime de peixe, adição de componentes ósseos e musculares às nadadeiras pares proporcionou um reforço, adaptando-as para a locomoção na terra.

Estudos realizados por biólogos do desenvolvimento demonstraram que os limites dos flancos e apêndices pares nos Gnatostomatas atuais são definidos pela expressão diferencial de diversos genes homeóticos. Os estudos sugerem também que o aparecimento de maxilas e apêndices pares podem estar relacionados com a segunda duplicação dos genes *Hox*.

Os primeiros peixes com maxilas surgiram no Siluriano, os placodermes, os quais possuíam armaduras cobertas com escamas em formato de diamantes ou em grandes placas ósseas e se diferenciaram em uma grande variedade de formas, podendo atingir grandes comprimentos.

Depois, do Siluriano ao Permiano, surgiram os acantódios, peixes primitivos gnatostomados, com olhos grandes situados anteriormente e nadadeiras com espinhos grandes, que fazem parte do grupo que sofreu inúmeras diversificações em peixes ósseos e dominam as águas do mundo atualmente.

Caro aluno, chegamos ao final da primeira unidade de nossa jornada ao mundo dos vertebrados.

Nesta seção, por meio dos conteúdos abordados, você verificou que os vertebrados caracterizam-se principalmente pela presença de coluna vertebral e crânio. Também estudou que os vertebrados têm como ancestrais os agnatos *Milloukunmingia* e *Haikouichthys*, que apresentavam muitas características dos vertebrados, além de características dos cordados.

Verificamos também a grande diversidade do subfilo dos vertebrados e algumas adaptações que permitiram aos Vertebrata

se tornarem o maior e mais importante grupo dos cordados. Na Unidade 2, conheceremos os Amniotas. Até breve!

Sem medo de errar

Prezado aluno, tendo como base os conceitos adquiridos nesta seção, vamos retomar a situação-problema descrita no “Diálogo aberto”. Gisele está pleiteando uma vaga como estagiária no Museu de Zoologia de sua cidade e, para se preparar para a entrevista que se aproxima, está revisando vários conteúdos de Zoologia. Enquanto recorda os conceitos sobre os vertebrados, Gisele resolveu elaborar uma tabela ou quadro que contenha as características e adaptações morfofuncionais do subfilo Vertebrata.

A Gisele já elaborou a tabela dela e você, futuro professor, como organizaria os características e adaptações morfofuncionais para ajudar os seus alunos a entenderem esses conceitos durante a aula?

Para resolver essa situação-problema, você precisará revisar os conceitos referentes às características gerais dos vertebrados e relacioná-las com as características principais dos cordados. Lembre-se, esses conceitos devem constar na sua explanação. Caro aluno, você também deverá abordar os conteúdos referentes às adaptações morfofuncionais dos vertebrados, vertebrados primitivos. Além disso, os conceitos sobre a evolução e as adaptações dos peixes modernos devem ser explicados, de modo que os alunos reflitam sobre a importância desses conceitos no processo de irradiação adaptativa dos Vertebrata.

Avançando na prática

Vertebrado Primitivo

Descrição da situação-problema

Juliana é bióloga e trabalha num laboratório realizando experimentos para determinar possíveis ancestrais de vertebrados a partir de registros fósseis.

Nesta semana, o laboratório recebeu uma amostra e Juliana deverá iniciar os trabalhos para, ao final dos experimentos, encontrar as respostas que todos esperam: afinal, o espécime em questão é ancestral verdadeiro dos vertebrados?

Você saberia dizer quais tipos de estudos e técnicas serão utilizados por Juliana para solucionar esse mistério?

Resolução da situação-problema

Após observar atentamente a amostra, Juliana verificou que os registros fósseis contemplavam o animal por completo, com ênfase na região anterior da cabeça. Ela suspeita que o espécime seja um gnatostomado, mas, para ter certeza, precisará executar estudos gênicos que demonstrarão a expressão de genes do complexo *Hox*, delimitando as regiões dorsoventral e anteroposterior durante o desenvolvimento de várias estruturas de sua cabeça. Por meio dos resultados obtidos, Juliana constatou a expressão de um gene tipo *Hox* apenas na região dos arcos faríngeos e não-expressão no arco mandibular, o que sugere o desenvolvimento da maxila. Portanto, o espécime primitivo pode ser um ancestral dos peixes modernos.

Faça valer a pena

1. O subfilo Vertebrata é grande e diversificado. Pertence ao filo Chordata e partilha características com outros dois subfilos, ou seja, presença de notocorda, tubo nervoso dorsal, bolsas faríngeas, endóstilo e cauda pós-anal presentes em algum estágio do ciclo de vida. Apresenta também características específicas, não partilhadas.

Quais são as características principais que definem o subfilo Vertebrata?

- a) Presença de maxila e tubo nervoso dorsal.
- b) Presença de notocorda e ausência de tubo nervoso dorsal.
- c) Presença de coluna vertebral e crânio.
- d) Presença de cauda pós-anal e ausência de crânio.
- e) Presença de coluna vertebral e ausência de crânio.

2. O desenvolvimento da crista neural e os placódios epidérmicos são características exclusivas dos vertebrados. Outra característica adaptativa é o fato de os vertebrados possuírem encéfalo maior do que os encéfalos dos cordados primitivos, formado por três partes distintas, prosencéfalo, mesencéfalo e rombencéfalo. Cada uma das partes constituintes do encéfalo estão relacionadas com funções específicas e distintas.

Assinale a alternativa que associa de forma assertiva cada parte do encéfalo com a sua função.

- a) Prosencéfalo = visão; mesencéfalo = equilíbrio; rombencéfalo = olfato.
- b) Prosencéfalo = olfato; mesencéfalo = visão; rombencéfalo = equilíbrio.
- c) Prosencéfalo = equilíbrio; mesencéfalo = olfato; rombencéfalo = visão.
- d) Prosencéfalo = respiração; mesencéfalo = coordenação; rombencéfalo = tato.
- e) Prosencéfalo = tato; mesencéfalo = coordenação; rombencéfalo = respiração.

3. O surgimento da maxila está associado ao processo evolutivo de peixes gnatostomados, o que possibilitou aos animais a predação de alimentos maiores e a manipulação de objeto. Supõe-se que a maxila tenha se originado de células da crista neural.

Além da presença da maxila, o surgimento de uma característica adicional nos gnatostomados pode ser destacada.

Qual a característica adicional que teve papel importante no processo de adaptação dos peixes modernos?

- a) Arcos branquiais.
- b) Tubo nervoso dorsal.
- c) Cauda pós-anal.
- d) Apêndices ou nadadeiras.
- e) Encéfalo.

Referências

HICKMAN Jr, C. P. et al. Cordados. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap.23, p. 523-542.

KARDONG, K. V. Origem dos Cordados. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. Trad. Sonia Maria Marques Hoenem. São Paulo: Roca, 2010. cap.2, p.59-89.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J.B. Diversidade, classificação e evolução dos vertebrados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. Ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 1, p. 2-15.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J.B. Parentesco e estrutura básica dos vertebrados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. Ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 2, p. 16-42.

HICKMAN Jr, C. P. et al. Subfilo Vertebrata. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 23, p. 533-541.

KARDONG, K. V. A história dos vertebrados. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. Trad. Sonia Maria Marques Hoenem. São Paulo: Roca, 2010. cap. 3, p.99-153.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Diversidade, classificação e evolução dos vertebrados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 1, p. 2-15.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Parentesco e estrutura básica dos vertebrados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 3, p. 16-42.

HICKMAN Jr, C. P. et al. Filo Hemichordata. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 22, p. 516-521.

HICKMAN Jr, C. P. et al. Subfilo Urochordata (Tunicata), Subfilo Cephalochordata. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 23, p. 529-533.

KARDONG, K. V. Origem dos Cordados. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. Trad. Sonia Maria Marques Hoenem. São Paulo: Roca, 2010. cap. 2, p. 67-89.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Parentesco e estrutura básica dos vertebrados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 2, p. 16-42.

Biologia dos Amniota, Agnatha e Gnathostomata

Convite ao estudo

Prezado aluno! Nesta unidade, continuaremos os nossos estudos em Zoologia dos vertebrados, abordando aspectos relacionados à Biologia dos Amniota, Agnatha e Gnathostomata, tais como fundamentos de classificação, filogenia, organização, biogeografia, etologia e estratégias adaptativas morfofuncionais.

Tendo como base os aspectos abordados, estaremos aptos a conhecer: origem, classificação, características dos amniotas, vertebrados tetrápodes, sinapsídeos e sauropsídeos; bem como taxonomia, morfologia, diversidade, aspectos ecológicos, fisiologia e evolução dos agnatos; e ainda origem, classificação, características e evolução dos gnatostomados.

Para que possamos nos aproximar da realidade profissional, vamos analisar uma situação hipotética que tornará nosso estudo mais atrativo.

Você se lembra da Gisele? Na unidade anterior, ela estava pleiteando uma vaga como estagiária no museu de Zoologia de sua cidade e, para se sair bem na entrevista, resolveu revisar os conteúdos relacionados aos vertebrados.

Finalmente, o dia da entrevista chegou e Gisele se saiu muito bem, é a nova estagiária do museu de Zoologia de sua cidade e está ansiosa para iniciar as atividades.

Em seu primeiro dia de estágio, ela conheceu seu gestor, que a levou para um passeio pelo museu, mostrando-lhe todas as dependências. Após o tour exploratório, o gestor informou

que ela ficaria encarregada do setor de vertebrados primitivos. E foi informada de que, toda segunda-feira, o museu recebe excursões de colégios de ensino fundamental e ensino médio, e o setor responsável precisará explicar todo os aspectos envolvendo os Amniota, Agnatha e Gnathostomata.

Como Gisele poderá elaborar um roteiro de explicações para que cada grupo de estudantes entenda origem, filogenia, características gerais e aspectos evolutivos dos Amniota, Agnatha e Gnathostomata? Caro aluno, você, como futuro profissional da área de Ciências Biológicas, tem alguma sugestão de quais atividades são essas?

Tendo como base os conhecimentos sobre os amniotas, agnatos, gnatostomados e o aprendizado sobre os cordados, ao final desta unidade, você, caro aluno, estará apto a elaborar um portfólio ilustrado com as principais características dos vertebrados.

Seção 2.1

Amniota

Diálogo aberto

Olá, caro aluno! Seja bem-vindo a mais uma etapa da nossa jornada ao mundo dos vertebrados!

Antes de iniciarmos nosso interessante aprendizado, vamos retomar a situação hipotética apresentada no “Convite ao estudo”.

Gisele é a nova estagiária do museu de Zoologia e ficará responsável pelo setor de vertebrados primitivos, onde se encontra o acervo dos amniotas, que compreende ilustrações e reproduções desses vertebrados primitivos. Gisele foi avisada de que receberá uma turma do ensino fundamental 2 e está pensando em como explicar as características dos amniotas para os estudantes. Caro aluno, você, futuro profissional de Ciências Biológicas, como explicaria a origem e as características dos amniotas? O que difere os amniotas dos não amniotas?

Não pode faltar

Origem e características dos amniotas

Amniotas são vertebrados tetrápodes, terrestres, que possuem embriões envolvidos por membranas extraembrionárias.

O termo “amniota” deriva de ovo amniótico, que representa uma das características na distinção entre os amniotas e os peixes e anfíbios atuais.

Os primeiros amniotas eram pequenos e se assemelhavam a lagartos, surgiram no período Carbonífero da era Paleozoica.



Âmnio: (grego: *amnion*, membrana em torno do feto. O âmnio é uma membrana mais interna, de origem embrionária; forma uma bolsa que contém fluido ao redor do embrião dos amniotas.

Amniotas: animais que apresentam âmnio durante a vida embrionária. São exemplos de amniotas: répteis, aves e mamíferos.

Anamniotas ou não amniotas: animais cujos embriões não são envoltos por membrana amniótica. Exemplos de anamniotas: peixes e anfíbios.

Estudos sugerem que os amniotas apresentam semelhanças com os antracossauros, grupo de vertebrados não amnióticos, pois estes animais eram mais adaptados ao ambiente terrestre em comparação aos outros animais não amniotas.

Na era Paleozoica, os tetrápodes não amniotas eram todos carnívoros, não existindo evidências de anfíbios adultos herbívoros, com exceção do *Diadectes*, que é considerado como provável grupo irmão dos amniotas.

Figura 2.1 | Esqueleto de *Diadectes sideropelicus* – provável ancestral irmão dos amniotas



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diadectes_phaseolinus_AMNH_4684_skull.jpg#/media/File:Diadectes_phaseolinus_AMNH_4684_skull.jpg>. Acesso em: 9 out. 2017.

De acordo com os zoólogos, os primeiros amniotas são a *Casimeria* e o *Westlothiana*, animais pequenos e terrestres que viveram no período Carbonífero inferior. Posteriormente, os amniotas se diversificaram, apresentando morfologia e hábitos alimentares distintos.

Como resultado de sua diversificação inicial, originaram-se três padrões de aberturas, ou fenestras, na região temporal do crânio.

Os orifícios servem para subdividir os amniotas em: anápsidos ou anapsídeo (do grego, *an* que significa "sem" e *apsis* que significa "arco", ou seja, não apresentam orifícios na região temporal, observado nos amniotas primitivos e nas tartarugas; diápsidos ou diapsídeos (do grego, *di* = dois, *apsis* = arco), apresentam duas aberturas temporais, observadas em aves e répteis, exceto as tartarugas. Quatro clados distintos se originaram dos primeiros diapsídeos: os lepdossauros, que englobam a maioria dos répteis atuais, compreendendo os lagartos, tuataras e serpentes; os arcossauros, que compreendem os dinossauros, pterossauros, crocodilianos e aves; os sauropterígios, que abrangem vários grupos aquáticos extintos, como o plesiossauro; os ictiossauros, que compreendem formas aquáticas fósseis semelhantes aos golfinhos; e o clado representado pelas tartarugas, que é controverso, pois apresentam características ancestrais morfológicas tanto de anapsídeos como de diapsídeos.

O terceiro padrão de fenestração craniana se refere aos sinápsidos ou sinapsídeos (do grego *syn* = junto, *apsis* = arco), que se caracterizam por apresentar um único par de fenestras temporais que se localizam latero-dorsalmente no crânio e são margeadas por um arco ósseo, observado em mamíferos e seus ancestrais. Os sinapsídeos passaram por uma extensa diversificação, sendo considerados os grandes amniotas que dominaram a era Paleozoica superior.



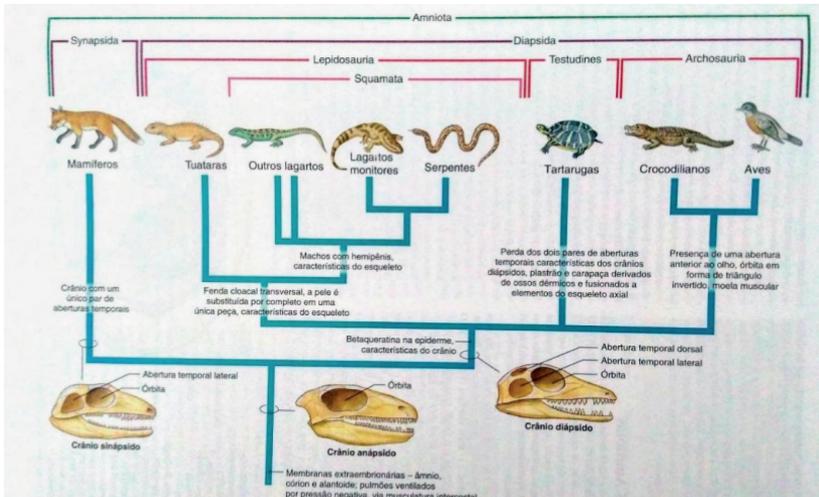
Prezado aluno, com base nas informações e nos conceitos abordados, qual o significado para os primeiros amniotas apresentarem as aberturas ou fenestras temporais?

As fenestras fornecem espaço para acomodação da musculatura adutora, que serve para movimentar a mandíbula. Os músculos dos amniotas são maiores e mais diferenciados que os dos não amniotas.

Essa diferenciação da musculatura permitiu mudanças nos hábitos alimentares. Os anamniotas somente fecham suas mandíbulas com uma única dentada, alimentam-se por sucção. Já os amniotas, além de movimentarem as mandíbulas, também conseguem aplicar pressão com os dentes quando suas mandíbulas estão fechadas. Os amniotas herbívoros, por exemplo, conseguem triturar os vegetais; essa habilidade demonstra o desenvolvimento de hábitos alimentares mais complexos.

Amniotas atuais possuem mais fenestras, os músculos passam por elas e se ligam ao topo do crânio. Essa condição possibilitou a diminuição do estresse mecânico junto aos ossos em que os músculos adutores estão inseridos.

Figura 2.2 | Cladograma dos amniotas atuais, mostrando o padrão de fenestras no crânio



Fonte: Hickman (2013a, p. 597).

Os amniotas têm, como caracteres derivados, presença do ovo amniótico; contração da musculatura costal promovendo a ventilação pulmonar; tegumento mais resistente e impermeável; características esqueléticas da cabeça; cintura escapular e tornozelo. Tais caracteres permitiram que tais animais se tornassem mais ativos e obtivessem maior sucesso na exploração de ambientes terrestres em relação aos não amniotas.

Caro aluno, vamos agora discorrer um pouco mais sobre alguns caracteres.

Ovo amniótico

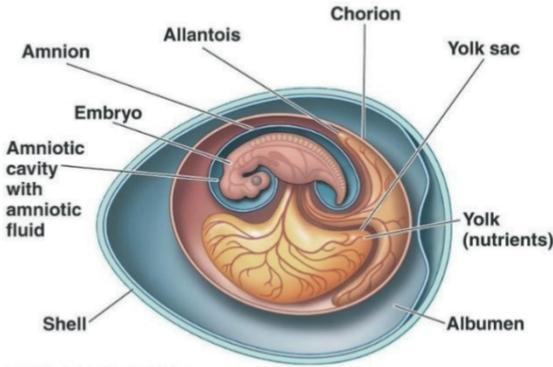
Os amniotas se caracterizam por possuírem ovos com quatro membranas extraembrionárias: âmnio, alantoide, córion e saco vitelino.

O embrião é envolto pelo âmnio e pelo líquido amniótico, com função de proteção e amortecimento. O alantoide armazena os excretas metabólicos. Ao longo do desenvolvimento embrionário, o alantoide se funde com outra membrana, o córion, que reveste a superfície interna da casca do ovo. Tanto o alantoide como o córion são altamente vascularizados, o que possibilita o auxílio nas trocas gasosas respiratórias, absorvendo oxigênio e eliminando gás carbônico.

A casca é mineralizada na maioria dos ovos amnióticos, mas apresenta flexibilidade, sendo importante no suporte mecânico; ela permite a passagem de gases e limita a perda de água, formando uma barreira semipermeável.

Além das membranas extraembrionárias, os ovos amnióticos apresentam um saco vitelino que armazena nutrientes, a gema ou o vitelo, e futuramente fará parte do sistema digestório em desenvolvimento. Os ovos dos anamniotas também apresentam saco vitelino, mas estes não são tão desenvolvidos como os dos amniotas.

Figura 2.3 | Ovo amniótico



Legendas: Albumen = albumina (clara), Allantois = alantoide, Amnion = âmnio, Amniotic cavity with amniotic fluid = cavidade amniótica com fluido amniótico, Chorion = córion, Embryo = embrião, Shell = casca do ovo, Yolk (nutrients) = gema, vitelo (nutrientes), Yolk sac = saco vitelino.

Fonte: <<http://biology-pictures.blogspot.com.br/2011/11/amniotic-egg-diagram.html>>. Acesso em: 10 out. 2017.

O saco vitelino dos mamíferos marsupiais e placentários não armazena vitelo, mas forma uma placenta temporária ou permanente para transferência de nutrientes, gases e excretas entre a mãe e o embrião.

Algumas espécies de répteis têm o desenvolvimento do ovo ou embrião no interior do trato reprodutivo da fêmea, o que garante uma maior proteção contra predadores, desidratação e permite que a mãe controle as principais necessidades fisiológicas do embrião.

Um fator que pode ter sido fundamental para o sucesso dos tetrápodes no ambiente terrestre foi a inovação evolutiva do ovo amniótico poder permanecer em locais áridos, outro fator foi a substituição do revestimento gelatinoso (presente nos ovos anamniotas) pela casca, que fornece um suporte melhor e eficiência maior na difusão de oxigênio. Além disso, o embrião em desenvolvimento pode absorver o cálcio presente na casca, um elemento importante na formação do esqueleto.

Fecundação interna, larvas desprovidas de brânquias e ovo amniótico são caracteres importantes que eliminam a dependência dos ambientes aquáticos no processo de reprodução. Nos amniotas, a fecundação interna ocorre antes da formação da casca, com auxílio de órgão copulador, exceto em aves e tuataras, cuja transferência de esperma se faz por contato cloacal.

Tegumento espesso e impermeável

Ao contrário dos anfíbios, que precisam manter a pele constantemente umedecida para que as trocas gasosas ocorram de forma eficiente, os amniotas não fazem trocas gasosas através da pele. Nos amniotas atuais, a pele é mais espessa, queratinizada, e menos permeável à água quando comparada à pele dos anamniotas, que é mais delgada.

A pele dos amniotas apresenta anexos, tais como escamas, penas, pelos, garras. Apresenta também queratina, cuja função é proteger contra traumas físicos e perda de água.



Atenção

As escamas epidérmicas dos amniotas não são homólogas às escamas dos peixes.

As escamas dos peixes são estruturas dérmicas predominantemente ósseas, enquanto as escamas epidérmicas dos répteis são formadas por queratina de estrutura mais rígida, denominada betaqueratina.

Ventilação pulmonar costal

Uma diferença nítida entre os amniotas e anamniotas é que os pulmões deles são mais desenvolvidos, apresentando maior superfície de absorção. A ventilação pulmonar se dá por um mecanismo diferenciado, o que ocasiona uma alta demanda metabólica. O ar é inspirado para dentro dos pulmões, expande a caixa torácica e contrai a musculatura intercostal ou desloca o fígado, fazendo com que outros complexos musculares sejam

utilizados. Como os amniotas dependem dos pulmões para a troca de gases, a pele não necessita estar úmida, conseqüentemente, a perda de água pela pele é reduzida.

A ventilação costal permite ao animal o desenvolvimento de um pescoço mais longo, devido ao movimento das costelas, e espaço para formação dos nervos que suprem as patas dianteiras. Esses nervos são provenientes da medula espinhal no pescoço e unem-se em um plexo braquial. Dessa forma, os amniotas têm uma inervação mais complexa nas patas dianteiras, proporcionando maior controle dos membros e habilidade de manipulação.

Dentre os caracteres citados, também devemos citar a presença de maxilas mais fortes devido ao desenvolvimento da musculatura associada às fenestras ou aberturas temporais; sistema cardiovascular com átrios e ventrículos separados, proporcionado uma pressão sanguínea mais alta; excreção de compostos nitrogenados com economia hídrica; além de apresentar encéfalo e órgãos sensoriais desenvolvidos.



Exemplificando

Os amniotas se dividem em duas classes principais:

Sauropsida - compreendem os répteis e as aves.

Synapsida - composta pelos mamíferos.

Vertebrados tetrápodes

Os anfíbios e os amniotas (répteis, aves e mamíferos) compreendem os dois ramos da filogenia dos vertebrados que compõem a superclasse Tetrapoda.

Tetrápodes são todos os vertebrados que possuem quatro membros, que se diferenciaram das nadadeiras pares de peixes sarcopterígeos. Estudos propõem que os primeiros tetrápodes tenham origem no período Devoniano, sugerindo que a linhagem ancestral de todos os vertebrados tetrápodes desenvolveu totalmente as adaptações características para a respiração aérea,

incluindo a formação de um pulmão altamente vascularizado e circulação dupla que possibilita as trocas gasosas.

A transição da água para a terra não ocorreu de um dia para outro, levou cerca de milhões de anos, de forma gradual. Os membros dos tetrápodes se diferenciaram num habitat aquático antes de ocuparem, de fato, o ambiente terrestre.

Embora sejam diferentes, as nadadeiras dos peixes e os membros articulados dos tetrápodes apresentam estruturas homólogas.

Descobertas fósseis do período Devoniano, no leste da Groenlândia, sugerem que os primeiros tetrápodes eram mais aquáticos do que terrestres e pertenciam aos gêneros *Ichthyostega* e *Acanthostega*. Posteriormente, outros achados de fragmentos fósseis auxiliaram nos estudos dos Tetrapoda primitivos. O *Tiktaalik*, descoberto recentemente, é morfologicamente intermediário entre os sarcopterígeos e os tetrápodes. Os peixes de nadadeiras lobadas compartilhavam com *Acanthostega* e *Ichthyostega* outros caracteres presentes no crânio, nos dentes e na cintura escapular.

O *Ichthyostega*, cujo teto do crânio era semelhante ao dos peixes, é o representante precoce da filogenia dos tetrápodes, apresentando várias adaptações adicionais aos membros articulados, importantes para a vida terrestre, tais como vértebras reforçadas, músculos com função de sustentação do corpo no ar e elevação da cabeça, cinturas pélvica e escapular reforçadas, caixa torácica com função protetora, ouvido interno modificado para detecção do som disperso no ar, região anterior do crânio encurtada e focinho alongado, além de semelhança com as formas aquáticas, que possuem cauda completa com raios de nadadeiras e brânquias cobertas por ossos operculares.



Pesquise mais

Para conhecer um pouco mais sobre os vertebrados tetrápodes, leia o artigo intitulado *Os primeiros tetrápodes* (KELLNER, 2012).

Synapsida

Os Synapsida surgiram há cerca de 300 milhões de anos, no final do Paleozoico, e incluem os mamíferos e seus ancestrais. Eles eram os vertebrados terrestres mais abundantes do final do Carbonífero e por todo o período Permiano, diversificando-se desde os pequenos até os grandes carnívoros e herbívoros.



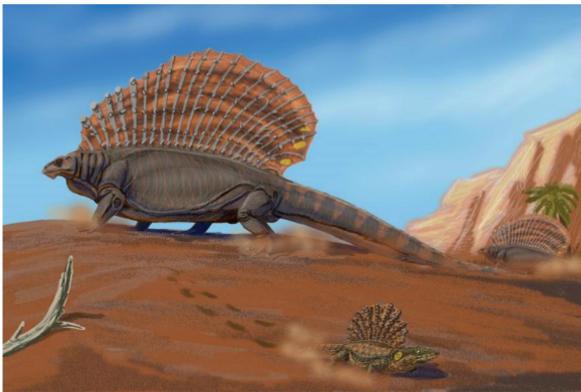
Lembre-se

Os Synapsida são amniotas que possuem uma única abertura temporal, limitada superiormente pela barra temporal superior.

São três os principais grupos de Synapsida: Pelycosauria, Therapsida e Mammalia.

Os pelicossauros se caracterizavam por possuir uma espécie de “vela” ao longo das costas, que era uma ampla aba da pele sustentada por uma fileira de espinhos neurais e supõe-se que estivesse relacionada com a termorregulação. A maioria dos pelicossauros era carnívora e se alimentava de peixes e anfíbios aquáticos, alguns eram herbívoros como o *Edaphosaurus*.

Figura 2.4 | *Edaphosaurus*, um Pelycosauria da classe Synapsida



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EdaphosaurusDB.jpg#/media/File:EdaphosaurusDB.jpg>>. Acesso em: 12 out. 2017.

Os Pelycosauria foram extintos no final do Permiano e foram substituídos pelo terápsidos que evoluíram dos pelicossauros e dominaram o ambiente terrestre por algum tempo. Tal como os pelicossauros, os terápsidos eram carnívoros em sua maioria, mas existiam também formas herbívoras. Podemos destacar os Cinodontes como os terápsidos mais bem-sucedidos, que possuíam dentes especializados para cortar e mastigar os alimentos, musculatura do crânio desenvolvida e caracteres que sugerem que os cinodontes estavam se diferenciando de ectotérmicos para endotérmicos. Os Therapsida declinaram no final do Triássico e o grupo sobrevivente deu origem aos mamíferos.

Os mamíferos atuais incluem os monotremados (equidna e ornitorrinco), os Theria (metatérios marsupiais – cangurus e gambás) e os Eutheria (mamíferos placentários). Os caracteres primários que distinguem os mamíferos dos demais sinápsidos são a presença de pelos e glândulas mamárias. Além dessas características, os mamíferos também apresentam glândulas sebáceas e sudoríparas e hemácias anucleadas.

Os Synapsida apresentam caracteres diferenciados em relação à locomoção, ventilação pulmonar com desenvolvimento dos membros, musculatura, ossos, pelos e depósitos de gordura, além de possuírem uma grande variedade de formas distintas exibidas em seu extraordinário registro fóssil.

Um caractere notável é a transição da ectotermia para a endotermia, que se deu dos répteis ancestrais para os mamíferos recentes.



Pesquise mais

Para aprofundar os conhecimentos sobre os Synapsida, leia o artigo intitulado *Cinodontes fósseis brasileiros revelam os primeiros passos de evolução dos mamíferos* (SOARES, 2015).

Sauropsídeos

Os Sauropsida compreendem tartarugas, tuataras, lagartos, serpentes, crocodilianos, aves, além de todos os répteis extintos,

com exceção daqueles que são chamados de répteis semelhantes aos mamíferos.

Os Sauropsida podem ser classificados com base na classificação Linneana em:

- Subclasse Anapsida, com crânio desprovido de fenestra, que inclui a ordem Captorhinida (extinta).
- Subclasse Diapsida, com crânio que possui duas fenestras temporais, que compreende a ordem Testudines (tartarugas); Superordem Lepidosauria, que inclui as ordens Squamata (serpentes e lagartos) e Sphenodonta (tuataras); Superordens Ichthyosauria e Sauropterygia (ambas extintas); Superordem Archosauria, que compreende as ordens Crocodylia (crocodilianos), Pterosauria (arcossauros voadores, extintos), Saurischia e Ornithischia (dinossauros da era Mesozoica). Estudos sugerem que aves tenham se originado da linhagem Theropoda pertencente à ordem Saurischia.

Tal como os Synapsida, os Sauropsida também tiveram sucesso na conquista do ambiente terrestre, passando por adaptações distintas que possibilitaram aos sauropsídeos ocupar ambientes não ocupados pelos sinápsidos. As espécies viventes de Sauropsida são muito mais numerosas que a dos Synapsida.

Além da evolução da endotermia, os Sauropsida também evoluíram em relação à locomoção, muitos desenvolveram uma postura ereta, com diferenciação da musculatura dos membros posteriores; alguns espécimes desenvolveram sacos aéreos para auxiliar na respiração, desenvolvimento de uma moela muscular que serve para reduzir o tamanho das partículas de alimento e penas que propiciam isolamento térmico.

Figura 2.5 | Registro fóssil de esqueleto de *Keichousaurus hui* – Sauropterígeo



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keichousaurus_hui_fossil.JPG#/media/File:Keichousaurus_hui_fossil.JPG>. Acesso em: 11 out. 2017.

É sabido que, apesar das diferenças adaptativas, tanto Synapsida como Sauropsida encontraram soluções para os desafios que a vida terrestre impõe e, principalmente, que há mais que um caminho para obter sucesso como um amniota terrestre.

Na próxima seção, daremos continuidade à nossa viagem ao mundo dos vertebrados, conhecendo um pouco mais sobre os Agnatha. Até breve!

Sem medo de errar

Caro aluno, mediante os conceitos adquiridos nesta seção, podemos retomar a situação-problema exposta no Diálogo aberto, em que Gisele está pensativa sobre como explicar as características dos amniotas para a turma do ensino fundamental 2, que receberá na próxima excursão em visita ao museu. E você, aluno e futuro profissional de Ciências Biológicas, como explicaria a origem e as características dos amniotas e as diferenças dos amniotas e não amniotas aos seus alunos?

Para a solução desta situação-problema, é válido recordar as características que diferem os amniotas dos não amniotas ou anamniotas. Vale lembrar que a principal característica que difere os amniotas dos não amniotas é a presença do âmnio ao redor do embrião.

Além desse importante caractere, os amniotas também desenvolveram outras características que os distinguem dos anamniotas. Os amniotas são vertebrados tetrápodes que apresentam ovo amniótico composto por membranas extraembrionárias e casca mineralizada; região temporal do crânio apresentando ou não aberturas ou fenestras, o que classifica os amniotas como anápsidos (sem fenestras), diápsidos (duas fenestras) e sinápsidos (uma fenestra). Essas fenestras são importantes para a acomodação da musculatura adutora, que proporciona movimentação das maxilas. Há ventilação pulmonar, proporcionada pelo desenvolvimento da musculatura costal; pele mais resistente e impermeável, com presença de anexos como pelos, escamas, penas, garras e queratina, cuja função é proteção contra traumas e perda de água; fecundação interna, diferente dos anamniotas. Outro caractere é a transição da ectotermia para endotermia, importante na regulação da temperatura corpórea.

Os amniotas se dividem em duas classes principais: os Synapsida, que compreendem os mamíferos e seus ancestrais, e os Sauropsida, representados por tartarugas, tuataras, lagartos, serpentes, crocodilianos, aves e seus ancestrais.

Com base nos conceitos abordados, tanto Gisele como você, caro aluno, estão aptos a elaborar um roteiro que os auxiliará a explicar as diferenças entre os amniotas e não amniotas, ressaltando as características principais dos amniotas.

Faça valer a pena

1. Os amniotas são vertebrados tetrápodes, divididos em duas classes principais, os Synapsida e os Sauropsida; estes apresentam em comum a transição da ectotermia para a endotermia, além de outros caracteres distintos como diferenciação da locomoção e da respiração, hábitos alimentares e habitats.

Assinale a alternativa que apresenta os espécimes que compreendem os Synapsida e os espécimes que compreendem os Sauropsida.

a) Synapsida: mamíferos, aves. Sauropsida: tartarugas, tuataras, lagartos, serpentes, crocodilianos.

- b) Synapsida: mamíferos. Sauropsida: tartarugas, tuataras, lagartos, serpentes, crocodilianos, aves.
- c) Synapsida: tartarugas, tuataras, lagartos, serpentes, crocodilianos, aves. Sauropsida: mamíferos.
- d) Synapsida: tartarugas, tuataras, lagartos, serpentes. Sauropsida: mamíferos, crocodilianos, aves.
- e) Synapsida: aves, lagartos. Sauropsida: mamíferos, tartarugas, tuataras, serpentes, crocodilianos.

2. Os amniotas são caracterizados principalmente pela presença do âmnio recobrimdo o embrião. Além desse caractere, os amniotas apresentam aberturas ou fenestras temporais, ventilação pulmonar costal, tegumento mais resistente e impermeável e presença do ovo amniótico.

O ovo amniótico é constituído por membranas extraembrionárias. Quais são essas membranas?

- a) Âmnio, alantoide, casca, saco vitelino.
- b) Âmnio, alantoide, córion, casca.
- c) Âmnio, alantoide, córion, saco vitelino.
- d) Alantoide, casca, córion, saco vitelino.
- e) Âmnio, casca, córion, saco vitelino.

3. O padrão de fenestras ou aberturas na região temporal do crânio é uma das características importantes nos amniotas e serve para subdividi-los em grupos, de acordo com o número de aberturas apresentadas. Além disso, essas fenestras apresentam importância no processo evolutivo dos amniotas.

Assinale a alternativa que representa os padrões de fenestras presentes nos amniotas.

- a) Anápsidos: não apresentam abertura na região temporal; diápsidos: apresentam uma abertura temporal; sinápsidos: apresentam duas aberturas temporais.
- b) Anápsidos: apresentam uma abertura na região temporal; diápsidos: apresentam duas aberturas na região temporal; sinápsidos: não apresentam aberturas na região temporal.
- c) Anápsidos: apresentam duas aberturas na região temporal; diápsidos: não apresentam aberturas na região temporal; sinápsidos: apresentam uma abertura na região temporal.
- d) Anápsidos: não apresentam abertura na região temporal; diápsidos: apresentam duas aberturas temporais; sinápsidos: uma abertura temporal.
- e) Anápsidos: não apresentam aberturas na região temporal; diápsidos e sinápsidos: ambos apresentam três aberturas na região temporal.

Seção 2.2

Agnatha

Diálogo aberto

Olá! Seja bem-vindo, prezado aluno! Antes de iniciarmos nossos estudos, vamos recordar a situação hipotética do “Convite ao estudo”. Na seção anterior, Gisele, a nova estagiária do museu de Zoologia, foi encarregada de receber e recepcionar uma turma do ensino fundamental 2 e teve que explicar aos alunos as principais características dos amniotas. Durante o estágio, ela se deparou com reproduções dos primeiros vertebrados agnatos, bem como registros e exemplares dos agnatos atuais. Ao chegar em casa, Gisele resolveu elaborar um roteiro de aula com as principais características dos Agnatha. Ela poderá se basear nesse roteiro quando for explicar sobre os agnatos aos alunos do fundamental 2 e ensino médio nas próximas visitas ao museu. Vamos ajudá-la nessa tarefa? Para isso, há necessidade de respondermos algumas questões: Quais as principais características morfológicas dos Agnatha? Caro aluno, você se lembra de exemplares de Agnatha atuais para apresentar aos alunos?

Não pode faltar

Taxonomia e morfologia dos Agnatha

Na seção anterior, verificamos que os primeiros vertebrados pertenciam ao grupo de peixes agnatos, ou seja, peixes sem maxilas ou mandíbulas.

Dentre esses peixes sem maxilas, podemos incluir os ostracodermes, que posteriormente deram origem aos gnathostomados (peixes com maxilas).

Os ostracodermes pertencem a um grupo já extinto e se caracterizavam por não apresentar nadadeiras pares, sendo protegidos por uma armadura óssea na derme.

Na última década, foram encontrados registros fósseis, que datam do Cambriano Inferior, dos primeiros vertebrados agnatos, *Mylokunmingia* e *Haikouichthys*, estes possuíam forma de peixe, eram pequenos, medindo cerca de 3 centímetros de comprimento. São considerados vertebrados verdadeiros pela evidência de um crânio e miômeros em forma de W, não possuíam ossos ou escamas mineralizadas, mas apresentavam uma nadadeira dorsal e nadadeiras ventrolaterais pares em forma de fita.

Descobertas recentes colocam os conodontes como vertebrados primitivos. Os conodontes eram espécimes marinhos, sem maxilas, semelhantes às lampreias.

Os agnatos incluem os ostracordermes, as feiticeiras e as lampreias atuais, que são peixes saprófagos ou parasitas. Apesar de não apresentarem vértebras verdadeiras, ambas foram incluídas nos vertebrados por apresentarem homologias e um crânio. Além disso, por apresentarem diferenças entre si, as feiticeiras e as lampreias foram incluídas em classes taxonômicas separadas.



Assimile

Os Agnatha pertencem ao Reino Animalia, Filo Chordata, Subfilo Vertebrata.

A superclasse Agnatha compreende duas classes, a Myxini e a Petromyzontida.

A Classe Myxini, composta pelas feiticeiras, possui cerca de 40 a 70 espécies; alguns pesquisadores divergem em relação à diversidade de espécies, os gêneros mais conhecidos são *Eptatretus* e *Myxine*.

A Classe Petromyzontida tem como representantes as lampreias, e cerca de 20 a 40 espécies, distribuídas em dois grandes gêneros, *Petromyzon* e *Lampetra*.

A família Myllonkunmingiidae, as classes Conodonta e Ostracodermi, ambas extintas, representam os agnatos primitivos.

As feiticeiras, também chamadas de peixe-bruxa, possuem corpo delgado, em forma de enguia, a pele possui glândulas de muco. Não possuem apêndices pares, nem nadadeira dorsal. A nadadeira caudal se estende anteriormente ao longo da superfície dorsal.

Feiticeiras possuem esqueleto fibroso e cartilaginoso, com notocorda persistente. A boca tem capacidade para morder, com duas fileiras de dentes, sem maxilas. Possuem coração. Apresentam de 5 a 16 pares de brânquias. Há presença de órgãos sensoriais, paladar, olfato e audição. Os olhos são degenerados. Os sexos são separados, com fecundação externa.

As lampreias possuem corpo delgado, em forma de enguia e pele nua. Apresentam uma ou duas nadadeiras dorsais, sem apêndices pares. Há esqueleto fibroso e cartilaginoso, com notocorda persistente. A boca apresenta formato de disco oral em forma de ventosa e língua com dentes queratinizados bem desenvolvidos. O coração possui seio venoso. Possuem sete pares de brânquias, órgãos sensoriais (paladar, olfato e audição) e olhos bem desenvolvidos. Os sexos são separados, com fecundação externa e estágio larval longo (larva amocete).



Exemplificando

Os Agnatha são representados principalmente pelas feiticeiras e lampreias, apresentam caracteres semelhantes tais como: ausência de maxilas, ausência de ossificação interna, presença de aberturas branquiais e corpo com forma semelhante a uma enguia, possuem sexos separados e a fecundação é externa. Apesar de apresentarem semelhanças, os agnatos também apresentam caracteres distintos. As principais diferenças entre as feiticeiras e as lampreias serão listadas no quadro a seguir.

Quadro 2.1 | Comparativo entre feiticeiras e lampreias

Feiticeiras	Lampreias
Ausência de nadadeiras	Presença de nadadeiras medianas
Boca mordedora	Boca em disco oral (ventosa)
5 a 16 pares de brânquias	7 pares de brânquias
Olhos degenerados	Olhos bem desenvolvidos
Ausência de estágio larval	Estágio larval longo (amocete)

Fonte: elaborada pela autora.

Diversidade dos Agnatha

Os Agnatha atuais são representados por duas classes: Myxini, que compreende as feiticeiras, e Petromyzontida, composta pelas lampreias.

Os espécimes de ambas as classes não apresentam maxilas, ossificação interna, escamas e nadadeiras pares (as lampreias possuem uma ou duas nadadeiras, mas elas não são pares), entretanto, apresentam aberturas branquiais em forma de poros e corpo que se assemelha a uma enguia.

As similaridades morfológicas apresentadas por ambos os espécimes os reuniu em um grupo denominado Cyclostomata (do grego *cyclos*: circular e *stoma*: boca).

A Classe Myxini é composta em sua maioria pelos gêneros *Eptatretus* e *Myxine*.

Figura 2.6 | Feiticeira



Fonte: <<https://i.pinimg.com/originals/fa/16/19/fa16198237ff89c85a5f9e777fc370c8.jpg>>. Acesso em: 20 out. 2017.

A classe Petromyzontida se distribui em dois grandes gêneros, *Petromyzon* e *Lampreta*.



Fonte: <<https://www.istockphoto.com/br/foto/petromyzon-gm518015901-48983332>>. Acesso em: 21 out. 2017.

Aspectos ecológicos dos Agnatha

As feiticeiras são espécimes inteiramente marinhos que habitam as águas profundas e frias, têm distribuição cosmopolita, com exceção das regiões polares, sendo encontradas em ambos os hemisférios (Norte e Sul). Alguns espécimes vivem em colônias, cada indivíduo vivendo em uma galeria escavada no lodo do assoalho do oceano; a entrada da galeria se assemelha a um vulcão.

Os Myxini têm modo de vida similar ao das toupeiras, capturando as presas no interior e na superfície do sedimento, e parecem ser mais ativas quando estão fora da galeria onde habitam.

Feiticeiras são consideradas os principais carniceiros dos mares profundos, são carnívoras, alimentando-se de restos de animais mortos ou moribundos, além de se alimentarem de anelídeos, crustáceos e moluscos. Apesar de possuírem olhos degenerados, as feiticeiras conseguem identificar eficazmente as carcaças dos animais, devido ao olfato bem desenvolvido.

As lampreias são encontradas em sua maioria no hemisfério Norte, mais precisamente na América do Norte e na Eurásia, sendo poucos espécimes encontrados no hemisfério Sul. Algumas espécies parasitam peixes e outras não, podem ser marinhas ou de água doce (rios).

Praticamente todas as lampreias são anádromas, ou seja, vivem como adultos nos oceanos e grandes lagos e, para se reproduzir, sobem os rios. Alguns espécimes de lampreias mais especializadas e conhecidas são de água doce, os adultos não se alimentam nem migram, tendo atuação somente como um estágio reprodutivo. Outros espécimes passam parte da vida no mar e depois migram para a água doce para se reproduzirem.



Refleta

Caro aluno, você faz ideia da importância econômica das feiticieras e das lampreias?

As feiticieras não têm valor culinário, mas algumas espécies se encontram ameaçadas pela pesca predatória, devido à pele forte e macia, que é comercializada como pele de enguia.

As lampreias, no período de 1920 a 1950, alcançaram os Grandes Lagos, dizimando algumas espécies de peixes de importância econômica, como as trutas, o bacalhau de água doce e a pescada branca de água doce. Medidas para conter a reprodução das lampreias têm sido aplicadas com o uso de lampreicidas químicos, barreiras elétricas e mecânicas. Em alguns países, algumas espécies de lampreias são consumidas, sendo consideradas uma iguaria da culinária.

Fisiologia dos Agnatha

As feiticieras possuem habilidade de produzir grande quantidade de muco. Se a feiticiera é perturbada ou manipulada de forma agressiva, ela libera um fluido leitoso, proveniente de glândulas especiais localizadas ao longo do corpo. Quando esse fluido entra em contato com a água do mar, forma um muco escorregadio, tornando impossível segurá-la. Uma particularidade é que os fluidos corpóreos das feiticieras estão em equilíbrio osmótico com a água do mar. Possuem também sistema circulatório de baixa pressão, com três corações acessórios, além do coração principal.

A fecundação das feiticeiras é externa e não apresenta estágio larval. Pouco se conhece sobre sua biologia reprodutiva, havendo necessidade de mais estudos.

As feiticeiras são praticamente cegas e são atraídas por alimentos, como restos de peixes, devido ao olfato e ao tato bem desenvolvidos. Para se alimentar, ela usa as duas placas queratinizadas com dentes, presentes na língua, que servem para raspar e retirar pedaços da carne da presa. Outra característica é que a feiticeira faz um nó em sua cauda e o pressiona contra o corpo da presa, esse nó aumenta a força de alavanca no momento de cortar a carne da presa.

Figura 2.8 | Vista ventral da feiticeira, mostrando o aparelho bucal com dentes queratinizados

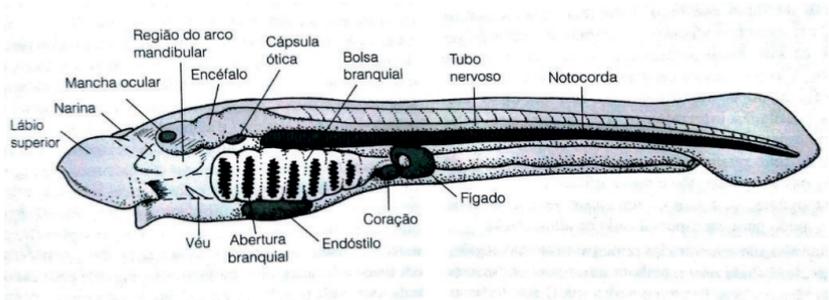


Fonte: <<https://nateworthy.wordpress.com/2015/03/16/creatures-of-earth-part-4-the-mouths/>>. Acesso em: 20 out. 2017.

As lampreias, para se reproduzir, sobem os rios para desovar. Os machos constroem ninhos e são auxiliados pelas fêmeas. Durante a desova, a fêmea se fixa a uma rocha para manter sua posição sobre o ninho, o macho se agarra à fêmea dorsalmente e se enrola nela. Assim que os ovos são depositados no ninho, eles são fertilizados pelo macho. Após a desova, os adultos morrem.

Após duas semanas, os ovos eclodem, liberando as amocetes, que são pequenas larvas. Depois de se alimentar do vitelo presente nos ovos, a amocete passa a se alimentar de alimentos que ficam em suspensão, enquanto se desenvolvem lentamente. Após a metamorfose, os olhos se desenvolvem, as nadadeiras aumentam, ocorre maturação das gônadas e as aberturas branquiais sofrem modificações.

Figura 2.9 | Larva de lampreia - amocete



Fonte: Pough, Janis, Heiser (2008d, p. 51).

As lampreias são parasitas que se fixam a um peixe com sua boca em forma de ventosa; com os dentes queratinizados afiados, raspam a carne e sugam os fluidos corpóreos da presa. Os ferimentos deixados na presa são grandes e profundos, podendo ocasionar a morte do animal.

Existem espécimes de lampreias que não são parasitas, pois não se alimentam quando adultos, devido à degeneração do trato digestório. Nesse caso, elas acabam morrendo após a desova.

Figura 2.10 | Aparelho bucal da lampreia



Fonte: <<http://www.fishwallpapers.com/lamprey/lamprey-mouth-pic.html>>. Acesso em: 21 out. 2017.

Evolução dos Agnatha

Apesar da carência de registros fósseis dos primeiros Vertebrata, o que dificulta os estudos sobre a evolução dos vertebrados a partir dos cordados não vertebrados, as feiticeiras e as lampreias são exemplos de vertebrados primitivos que sobreviveram e são representantes da primeira irradiação dos vertebrados agnatos.

Embora os aspectos biológicos e o desenvolvimento das feiticeiras não sejam totalmente conhecidos como os das lampreias, aquelas têm importância por possuírem caracteres primitivos dos vertebrados.

Alguns pesquisadores incluem as feiticeiras e as lampreias como táxons irmãos, devido à similaridade da cavidade faríngea alongada que aloja uma língua muscular e formato do corpo alongado. Esses caracteres similares podem estar relacionados às demandas de locomoção e hábitos alimentares. Outra característica evolutiva é a presença do sistema sensorial desenvolvido. Além disso, os espécimes pertencentes ao gênero *Myxine* parecem ser mais derivados do que outras feiticeiras e, também, em relação às lampreias e aos gnatostomados.

Apesar da evolução dos Agnatha ainda ser controversa, estudos recentes e recuperação de registros fósseis, tais como de *Haikouichthys*, conodontes e ostracodermes, trazem mais informações acerca dos vertebrados primitivos. Tendo como base estudos moleculares atuais, as lampreias e as feiticeiras modernas são agrupadas juntas no grupo dos ciclóstomos. Alguns biólogos também sustentam que os ciclóstomos sejam posteriores e derivados dos ostracodermes, sugerindo que a ausência do tecido mineralizado nos ciclóstomos seja uma característica secundária. Descobertas de novos registros fósseis e estudos posteriores ainda se fazem necessários para elucidar a história evolutiva dos agnatos.

De qualquer forma, o que se sabe é que o osso surgiu primeiro nos ostracodermes, tornando-os um grupo parafilético, basal, e alguns espécimes apresentam similaridades com os gnatostomados.

Seguindo a escala evolutiva, posteriormente houve a transição dos vertebrados agnatos para os gnatostomados, cujos aspectos serão abordados na próxima seção. Até breve!



Pesquise mais

Prezado aluno, para aprofundar seus conhecimentos acerca dos Agnatha, consulte a bibliografia complementar:

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Os primeiros Vertebrata: vertebrados agnatos e a origem dos vertebrados gnatostomados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008d. cap. 4, p. 43-56.

Sem medo de errar

Prezado aluno, tendo como base os conceitos adquiridos nesta seção, vamos retomar a situação-problema descrita no “Diálogo aberto”, em que Gisele se deparou com reproduções dos primeiros vertebrados agnatos, bem como registros e exemplares dos agnatos atuais. Durante as visitas ao museu, ela terá que explicar

sobre os agnatos aos alunos do fundamental 2 e ensino médio. Para isso, ao chegar em casa, ela resolveu elaborar um roteiro de aula com as principais características dos Agnatha. Vamos ajudar Gisele nessa tarefa?

Para que possamos auxiliá-la, precisamos rever alguns aspectos dos ágnatos, tais como as principais características morfológicas desses espécimes.

Nesta seção, verificamos que os Agnatha são peixes que não possuem maxilas, e seus principais representantes vivos atuais são as feiticeiras e as lampreias.

Os Agnatha se caracterizam pela ausência de maxilas, ausência de ossificação interna, presença de aberturas branquiais e corpo semelhante à enguia, os sexos são separados e a fecundação é externa. Pelo fato de possuírem similaridades morfológicas, as feiticeiras e as lampreias foram reunidas no grupo Cyclostomata. Apesar de apresentarem semelhanças, os agnatos também apresentam caracteres distintos, as feiticeiras não possuem nadadeiras, já as lampreias apresentam uma ou duas nadadeiras medianas, lembrando que não são pares. Feiticeiras possuem de 5 a 16 pares de brânquias, e lampreias apresentam 7 pares de brânquias. O aparelho bucal da feiticeira apresenta boca mordedora e a lampreia tem um disco oral em forma de ventosa, usada para sugar os líquidos corpóreos das presas. Outra diferença entre esses agnatos se dá em relação aos olhos, as feiticeiras apresentam olhos degenerados e as lampreias têm olhos bem desenvolvidos. As feiticeiras não possuem estágio larval durante o processo reprodutivo, já as lampreias possuem estágio larval longo, caracterizado pela larva amocete. Os representantes das feiticeiras são marinhos e habitam as águas profundas e frias dos hemisférios Norte e Sul. As lampreias são encontradas em sua maioria no hemisfério Norte, sendo também encontradas no hemisfério Sul, possuem espécimes marinhos e também de água doce.

As lampreias são peixes parasitas, representantes da classe Myxini, sendo *Eptatretus* e *Myxine* os gêneros principais.

A classe Petromyzontida tem como representantes as feiticeiras saprófagas e se distribui em dois grandes gêneros, *Petromyzon* e *Lampreta*.

Com base nos conceitos abordados, tanto a Gisele como você, caro aluno, estão aptos a elaborar um roteiro que os auxiliará a explicar as principais características dos Agnatha, ressaltando as diferenças entre as suas espécies.

Faça valer a pena

1. Os Agnatha são representados atualmente por dois espécimes viventes, as feiticeiras, pertencentes à classe Myxini, e as lampreias, que pertencem à classe Petromyzontida. Agnatos são peixes com ausência de maxilas. Além dessa principal característica, apresentam também outros caracteres similares que juntou as feiticeiras e as lampreias em um mesmo grupo dos ciclostomados.

Quais são as principais características dos Agnatha?

- a) Presença de maxilas, presença de ossificação interna, ausência de aberturas branquiais, corpo semelhante à enguia, sexos separados, fecundação externa.
- b) Ausência de maxilas, presença de ossificação interna, presença de aberturas branquiais, corpo semelhante à enguia, sexos separados, fecundação interna.
- c) Ausência de maxilas, ausência de ossificação interna, presença de aberturas branquiais, corpo semelhante à enguia, sexos separados e fecundação externa.
- d) Presença de maxilas, ausência de ossificação interna, ausência de aberturas branquiais, corpo não similar à enguia, hermafroditas e fecundação interna.
- e) Ausência de maxilas, ausência de ossificação interna, presença de aberturas branquiais, corpo similar à enguia, hermafroditas e fecundação externa.

2. A classe Myxini, representada pelas feiticeiras, possui algumas particularidades quanto à sua fisiologia, tais como presença de glândulas especializadas produtoras de muco, que torna o corpo das feiticeiras

escorregadios; fluídos corpóreos em equilíbrio osmótico com a água do mar; sistema circulatório de baixa pressão; fecundação externa com ausência de estágio larval; olhos degenerados que tornam as feiticeiras praticamente cegas, mas que não as impedem de serem atraídas por alimentos, como restos de peixes.

Como se dá o processo de alimentação das feiticeiras?

a) Através do tato e do olfato deficientes, as feiticeiras fazem uso da língua com ausência de dentes e do nó no corpo que serve de alavanca para estrangular a presa.

b) Através do tato e do olfato bem desenvolvidos, as feiticeiras fazem uso da língua com as duas placas queratinizadas com dentes e do nó no corpo que serve de alavanca para cortar a carne da presa.

c) Através da visão e do paladar bem desenvolvidos, as feiticeiras fazem uso da língua com as duas placas queratinizadas sem dentes e do nó no corpo que serve de alavanca para cortar a carne da presa.

d) Através do tato e da audição bem desenvolvidos, as feiticeiras fazem uso da língua com as duas placas queratinizadas com dentes, o nó no corpo não tem função no momento de cortar a carne da presa.

e) Através do tato e do olfato bem desenvolvidos, as feiticeiras fazem uso da língua com a uma placa queratinizada sem dentes, o nó no corpo não tem função no momento de cortar a carne da presa.

3. As lampreias são encontradas em sua maioria no hemisfério Norte e alguns poucos espécimes no hemisfério Sul. Algumas são parasitas e outras não. Podem habitar os mares ou a água doce.

A reprodução das lampreias ocorre de que forma?

f) As lampreias descem os rios, onde o macho constrói o ninho; ocorre a desova; os machos fertilizam os ovos; após duas semanas os ovos eclodem sem liberação de larvas, os espécimes desenvolvem rapidamente.

g) As lampreias sobem os rios, onde o macho constrói o ninho; ocorre a desova; os machos fertilizam os ovos; após duas semanas os ovos eclodem sem liberação de larvas, os espécimes desenvolvem lentamente.

h) As lampreias descem os rios, onde o macho constrói o ninho; ocorre a desova; os machos fertilizam os ovos; após duas semanas os ovos eclodem liberando as larvas amocetes, que se alimentam de vitelo e posteriormente de partículas em suspensão, desenvolvendo-se lentamente.

- i) As lampreias sobem os rios, onde o macho constrói o ninho; ocorre a desova; os machos fertilizam os ovos; após duas semanas os ovos eclodem liberando as larvas amocetes, que se alimentam de vitelo e posteriormente de partículas em suspensão, desenvolvendo-se lentamente.
- j) As lampreias sobem os rios, onde o macho constrói o ninho; ocorre a desova; os machos fertilizam os ovos; após duas semanas os ovos eclodem liberando as larvas amocetes, que não se alimentam, desenvolvendo-se rapidamente.

Seção 2.3

Gnathostomata

Diálogo aberto

Olá, caro aluno! Antes de iniciarmos esta seção, vamos retomar a situação hipotética do *Convite ao estudo*.

Enquanto estagiava no museu de Zoologia, Gisele foi incumbida de organizar a seção dos vertebrados primitivos. Além disso, também terá que explicar sobre os Gnathostomata aos alunos do ensino fundamental 2 e médio, durante as suas visitas ao museu. Como você explicaria a origem, a evolução e as características morfológicas dos gnatostomados aos alunos?

Nesta seção, abordaremos os assuntos mais relevantes relacionados aos Gnathostomata. Após conhecer melhor as diferenças entre os amniotas, agnatos e gnatostomados, ajude Gisele a elaborar um portfólio ilustrado, contendo principais características, diversidade e evolução dos Amniota, Agnatha e Gnathostomata, bem como dos vertebrados em geral. Como você faria o portfólio, auxiliando a Gisele nessa tarefa?

Não pode faltar

Origem dos Gnathostomata

Na seção anterior, verificamos que peixes que não possuem maxilas ou mandíbulas são agnatos.

Os animais que possuem maxilas são denominados gnatostomados, compreendem os peixes com maxilas e os tetrápodes.

Os primeiros espécimes gnatostomados surgiram na Era Paleozoica, sendo conhecidos fósseis de corpo inteiro do período Devoniano. Posteriormente, os gnatostomados foram divididos em quatro clados distintos: placodermes e acantódios, ambos extintos,

e condrictes (peixes cartilagosos) e osteíctes (vertebrados ósseos); estes dois grupos sobrevivem até os dias atuais.

A ocorrência dos acantódios se deu do período Ordoviciano Superior até o Permiano Inferior, alcançando sua maior diversidade no Devoniano Inferior.

Espécimes de placodermes são conhecidos do período Siluriano Inferior até o final do Devoniano. A irradiação em grande número de linhagens de placodermes se deu no Devoniano, tornando-os os vertebrados mais diversificados daquele tempo.

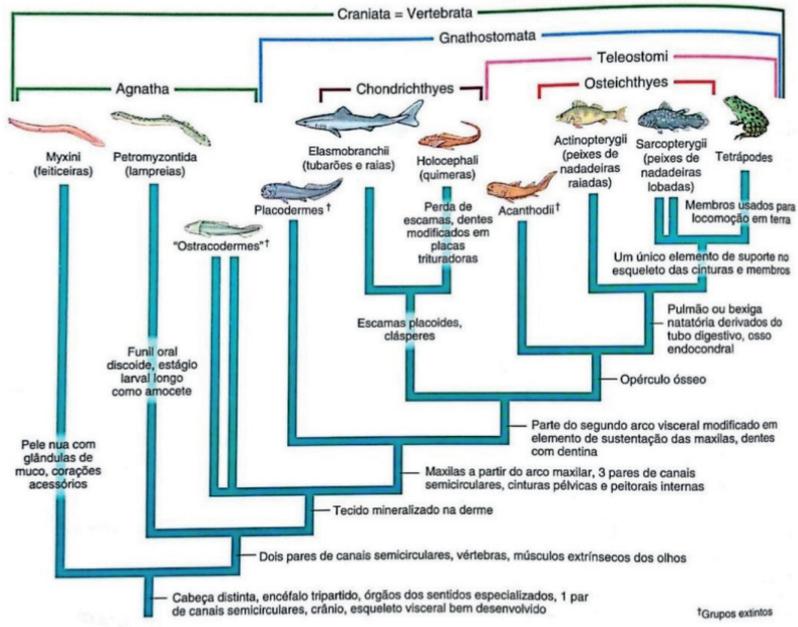
Classificação e diversidade dos Gnathostomata

A irradiação dos gnatostomados propiciou o surgimento de duas linhas principais de evolução, dando origem aos Chondrichthyes e aos Teleostomi, que compreende os peixes ósseos.

Os placodermes e os acantódios formam o grupo dos primeiros gnatostomados. Os placodermes possuíam armadura, eram peixes altamente especializados e parecem ser mais primitivos do que os outros gnatostomados.

Os Chondrichthyes são peixes cartilagosos que incluem tubarões, raias e quimeras, apresentam especializações da armadura dérmica, calcificação interna, mobilidade das maxilas e nadadeiras e são mais evoluídos quanto à reprodução. Os acantódios são inclusos no grupo Teleostomi, junto com os peixes ósseos, são considerados grupos-irmãos por alguns pesquisadores por possuírem similaridades entre si.

Figura 2.11 | Cladograma dos Craniata evidenciando os táxons dos Agnatha e Gnathostomata



Fonte: Hickman et al. (2013c, p. 546).

Placodermi, do grego *placo* = placa e *dermis* = pele; o nome placoderme sugere que esses animais eram recobertos por escudo ou armadura óssea espessa, que recobria a metade ou um terço anterior de seu corpo. Diferentemente dos ostracodermes, nos placodermes o escudo ósseo era dividido em duas porções, cefálica (distinta) e porção do tronco, ambas eram unidas por uma articulação móvel que possibilitava ao animal levantar a cabeça durante a alimentação.

Apesar dos ancestrais dos placodermes serem principalmente marinhos, algumas linhagens se adaptaram a habitats estuarinos e água doce.

A extinção dos Placodermi se deu no período Devoniano Superior. Os placodermes não possuem descendentes vivos, e acredita-se que eram peixes bentônicos. A anatomia de alguns espécimes de placodermes os isola de todos os outros vertebrados com maxilas,

sugerindo que formaram um ramo primitivo de um tronco principal, não possuindo parentesco com outros gnatostomados.

O condrocrânio também se apresentava primitivo, sendo que não havia fusão das cápsulas nasais com o restante da caixa craniana. Alguns espécimes apresentavam apêndices pélvicos e outros não, alguns pesquisadores sugerem que os placodermes possuíam fecundação interna e complexos comportamentos de corte. Uma característica peculiar dos Placodermi era que apresentavam especializações únicas em sua carapaça cefálica, apresentavam semidentina, um tipo especial de tecido duro celular em seus ossos dérmicos.

São conhecidos cerca de 200 gêneros de placodermes, sendo que mais da metade pertenciam ao gênero *Arthrodira* (do grego *arthros* = articulação, *dira* = pescoço), cujos espécimes eram predadores.



Refleta

Os *Arthrodiras*, como sugere o nome, apresentavam especializações da articulação entre o escudo cefálico e o escudo do tronco, tornando mais alargado o espaço entre a cabeça e os escudos torácicos. Houve também a evolução de um par de articulações, um acima de cada nadadeira peitoral em uma linha que passava pela antiga articulação crânio-vertebral do esqueleto axial. Caro aluno, você saberia dizer o que esse arranjo proporcionou aos placodermes? Qual a vantagem de se adquirir articulações?

A aquisição de articulações proporcionou aos artrodiros uma grande flexibilidade entre os escudos, permitindo uma enorme elevação da cabeça e, conseqüentemente, aumentou a eficiência respiratória desses animais. Além disso, tal habilidade em mover a parte superior cefálica sobre o corpo pode estar relacionada com o modo de alimentação bentônico, em que a maxila inferior fica em contato com o substrato.

Os artrodiros apresentaram, posteriormente, uma redução do escudo do tronco; maxilas projetadas formando placas afiladas que

se assemelhavam a dentes. Houve também a evolução de dentes verdadeiros dentro do grupo dos Arthrodira, de modo convergente aos dos demais gnatostomados. Dentre os artrodiros, podemos citar como exemplo o *Dunkleosteus*, um placoderme do Devoniano, predador e voraz, que media cerca de 10 metros de comprimento.

Figura 2.12 | Esqueleto de placoderme *Dunkleosteus*



Fonte: <http://prehistoricearth.wikia.com/wiki/Dunkleosteus?file=Dunkleosteus_skull.jpg>. Acesso em: 1 nov. 2017.

Além dos Arthrodira, havia também outros tipos de placodermes, a maioria deles possuía formas achatadas e hábitos bentônicos. Podemos citar os Antiarchi, como o *Bothriolepis*, que se assemelhavam aos bagres com armadura e cujas nadadeiras peitorais ficavam encerradas no escudo ósseo, parecendo um caranguejo. Os plectodontídeos, parecidos com as quimeras atuais, apresentavam placas dentárias sólidas usadas para quebrar as conchas dos moluscos. Os petalictídeos e os renanídeos eram muito achatados dorsoventralmente e os olhos situavam-se no topo da cabeça, o que lhes conferia uma adaptação para o hábito bentônico. Como exemplo de renanídeo, podemos citar o espécime *Gemuendina*, que se assemelhava à raia moderna, com cauda similar a um chicote e grandes nadadeiras peitorais, que podem ser adaptação para a natação.

Figura 2.13 | Fóssil de *Bothriolepis canadenses* – placoderme da ordem Antiarchi



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bothriolepis_canadensis-001.JPG>. Acesso em: 7 nov. 2017.

Acanthodii, derivado do grego *achanthi* = espinhos, os acantódios apresentavam espinhos robustos situados na frente das nadadeiras dorsal e anal, bem desenvolvidas. Alguns espécimes de acantódios diferem dos demais gnatostomados por possuírem até seis pares de nadadeiras ventrolaterais, além das nadadeiras peitorais e pélvicas. As primeiras formas de Acanthodii eram marinhas, mas no Devoniano predominaram os acantódios de água doce.

Os espécimes de acantódios apresentavam corpo delgado, com cauda heterocerca, o que sugere uma preferência por condições de meia-água, não se limitando em habitar o fundo, como os placodermes. O comprimento corpóreo usual era de aproximadamente 20 centímetros, mas alguns espécimes alcançaram até 2 metros de comprimento. Os primeiros acantódios tinham corpo fusiforme, revestidos por escamas quadradas, com uma coroa; a cabeça era rombuda e grande, possuíam uma boca com grande abertura e olhos grandes.

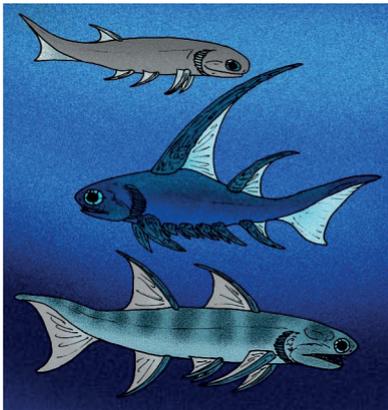
Figura 2.14 | Registro fóssil de *Cheiracanthus purchisoni* – acantódio da ordem Acanthodiformes



Fonte: <http://eol.org/data_objects/26190278>. Acesso em: 8 nov. 2017.

Dentre os espécimes de acantódios, podemos citar os iscnacantídeos, que eram aparentemente predadores especializados, os acantodídeos ou Acanthodiformes se assemelhavam às enguias e não possuíam dentes e presença de longos rastros branquiais. Apresentavam também capacidade de abrir muito a boca, o que facilitava a filtração do plâncton por meio dos rastros branquiais quando esse animal deslizava sobre a água, sugerindo um novo hábito alimentar.

Figura 2.15 | Vários acantódios do período Devoniano Inferior



Mesacanthus pusillus (situado na porção superior da figura), *Parexus falcatus* (situado na porção mediana da figura), *Ischnacanthus gracilis* (situado na porção inferior da figura).

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mesacanthus_Parexus_Ischnacanthus.JPG#/media/File:Mesacanthus_Parexus_Ischnacanthus.JPG>. Acesso em: 3 nov. 2017.



Os Acanthodii são agrupados junto com os Osteichthyes, formando o clado Teleostomi, por apresentarem características em comum, principalmente por conta da semelhança dos crânios.

A maioria dos pesquisadores considera os acantódios como grupo irmão dos Osteichthyes.

Chondrichthyes são peixes cartilagosos e compreendem os tubarões, as raias e as quimeras.

Possuem esqueleto cartilaginoso e presença de aberturas branquiais.

O clado que apresenta apenas uma abertura branquial é denominado Holocephali (do grego *holo* = todo e *cephalo* = cabeça) e é representado pelas quimeras. Os Elasmobranchii (do grego *elasma* = placa e *branch* = brânquia) se caracterizam por possuírem mais de uma abertura branquial em cada lado do crânio, seus representantes são os tubarões; estes possuem forma cilíndrica e de cinco a sete aberturas branquiais de cada lado do crânio, as raias apresentam formas achatadas com aberturas branquiais na face ventral da cabeça.

Figura 2.16 | Raia-pintada, um Elasmobranchii pertencente ao clado dos Chondrichthyes



Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Rajiformes#/media/File:Spotted_Eagle_Ray_\(Aetobatus_narinari\)2.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Rajiformes#/media/File:Spotted_Eagle_Ray_(Aetobatus_narinari)2.jpg)>. Acesso em: 8 nov. 2017.

Osteichthyes são peixes ósseos que surgiram no período Siluriano Superior, a radiação se deu no Devoniano, com divergência de dois grandes grupos, os Actinopterygii, cujos representantes são peixes com nadadeiras raiadas, e os Sarcopterygii, peixes com nadadeiras lobadas.

Nos osteíctes, locomoção, habitats, comportamentos e hábitos de vida estão relacionados às especializações dos mecanismos alimentares.

Figura 2.17 | Peixe anjo – Actinopterygeo



Fonte: <<http://pt.freeimages.com/photo/fish-angel-1561222>>. Acesso em: 8 nov. 2017.

Características dos Gnathostomata

Os gnatostomados se caracterizam, principalmente, pela presença das maxilas e dos apêndices ou nadadeiras pares.

Além desses caracteres, possuem muitos outros aspectos, o que sugere que os gnatostomados são mais ativos e mais complexos quando comparados aos agnatos.

O plano corporal dos gnatostomados está relacionado aos progressos nas atividades locomotoras e predatórias e nos sistemas sensorial e circulatório.

Há presença de dentes na maioria dos espécimes gnatostomados, com exceção dos placodermes, que não os possuíam. Os dentes dos peixes ósseos e dos tetrápodes são embutidos diretamente nos ossos maxilares, mais especificamente em ossos dérmicos.

Houve desenvolvimento dos mecanismos de alimentação, proporcionando uma sucção poderosa, proveniente da adição de maxilas e músculos hipobranquiais aos músculos branquioméricos existentes.

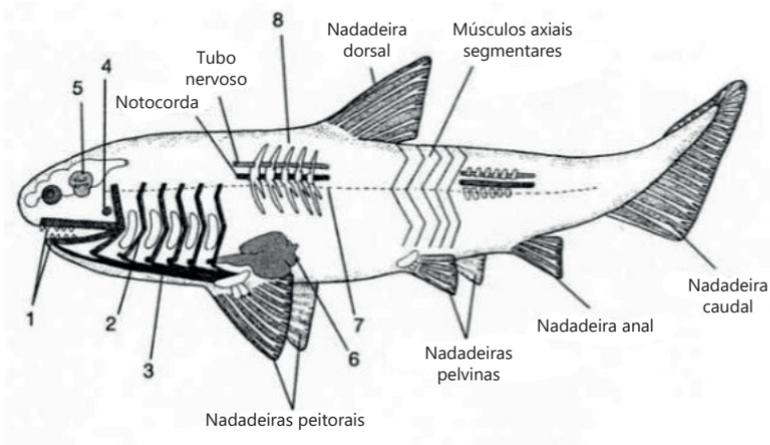
O crânio dos gnatostomados também revela diferenças em relação aos agnatos, apresentando alongamento craniocaudal e desenvolvimento de olhos encapsulados, isolando-os das maxilas.

A presença de vértebras com centro e costelas mais complexas pode ser observada nos gnatostomados mais derivados. As costelas são importantes para dar suporte e ancoragem aos músculos axiais.

Outro caractere dos Gnathostomata é a presença da linha lateral com órgãos sensoriais, importantes na percepção das vibrações na água e refletem um aumento de integração entre locomoção e retroalimentação sensorial. No ouvido interno, o terceiro canal semicircular pode estar relacionado com habilidade de melhor navegação e orientação em três dimensões.

Há presença de bainha de mielina nas fibras nervosas, que aumentam a velocidade dos impulsos nervosos. Os olhos possuem musculatura intrínseca que auxilia na acomodação da lente, permitindo melhoria da focalização. Podemos citar também a ocorrência de cone arterial junto ao coração, atuando como reservatório; veia porta renal presente; estômago; baço e pâncreas verdadeiros, bem como gônadas com ductos distintos que se ligam à cloaca. Observa-se machos com testículos ligados ao ducto arquinéfrico, e fêmeas com ovários associados aos ovidutos. Outra característica dos gnatostomados é a presença de músculos com dois tipos de proteínas contráteis (actina específica para músculos estriados e actina específica para músculos lisos).

Figura 2.18 | Vertebrado gnathostomado generalizado evidenciando caracteres derivados comparados com a condição dos agnatos



Legendas: 1. Maxilas contendo dentes; 2. Rastros branquiais; 3. Musculatura hipobranquial; 4. Espiráculo; 5. Ouvido interno com três canais semicirculares; 6. Cone arterial no coração; 7. Músculos do tronco divididos pelo septo branquial; 8. Vértebras com centros e costelas.

Fonte: Pough, Janis e Heiser (2008c, p. 58).

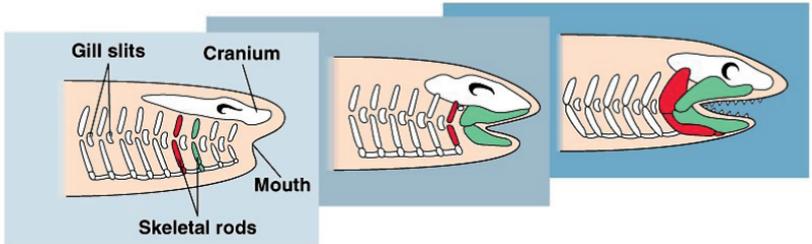
Evolução dos Gnathostomata

O processo evolutivo dos Gnathostomata está relacionado com a evolução dos gnathostomados a partir dos Agnatha.

Os gnathostomados são mais derivados do que os agnatas, não só pela presença das maxilas, mas também pela ocorrência de outros caracteres.

Podemos considerar o desenvolvimento das maxilas a partir do aumento e da adaptação dos arcos branquiais, uma das mudanças mais significativas no início da evolução dos Vertebrata. As maxilas proporcionam aos gnathostomados o desenvolvimento de novos hábitos alimentares, os peixes podiam agarrar e morder presas, manipular de objetos. O desenvolvimento das maxilas, juntamente com os dentes, também proporcionou a adaptação para um estilo de vida predatório, possibilitando aos gnathostomados se tornarem maiores (em tamanho) quando comparados aos Agnatha.

Figura 2.19 | Evolução das maxilas a partir dos arcos branquiais



Legenda: *Gill slits* = fendas branquiais; *Cranium* = crânio; *Mouth* = boca; *Skeletal rods* = esqueleto branquial (arcos branquiais).

Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/-7jhs_Bqpb_o/TdMRve34TqI/AAAAAAAAA2s/T3Q_XxyubKI/s1600/jaw+evolution.gif?width=550>. Acesso em: 8 nov. 2017.

A segunda mudança evolutivamente significativa dos gnatostomados foi o desenvolvimento dos apêndices pares, sendo duas nadadeiras peitorais situadas anteriormente e um par de nadadeiras pélvicas situadas posteriormente. As nadadeiras eram sustentadas por cinturas e controladas e por musculatura especializada; as nadadeiras pares permitiam maior mobilidade e controle (freio, elevação, impulso) e possibilitaram a exploração de novos ambientes para aquisição de alimentos, locais de desova, habitats e recursos ainda não explorados.



Exemplificando

A evolução dos Gnathostomata teve dois pontos altos:

1. Desenvolvimento das maxilas a partir dos arcos branquiais, possibilitando novos hábitos alimentares e mudança para um estilo de vida predatório.
2. Desenvolvimento de apêndices pares, nadadeiras peitorais e nadadeiras pélvicas, que possibilitaram maior mobilidade e controle na exploração de novos ambientes.

Prezado aluno, nesta seção você pôde conhecer origem, classificação, diversidade, características e evolução dos gnatostomados. Os espécimes de Gnathostomata são importantes no processo evolutivo dos Vertebrata, principalmente pelo desenvolvimento das maxilas.

Na próxima unidade, daremos continuidade à nossa viagem exploratória ao fascinante mundo dos vertebrados e abordaremos aspectos relacionados aos répteis e às aves. Então, nos vemos em breve!



Pesquise mais

Para conhecer um pouco mais sobre os Gnathostomata, leia o artigo intitulado *Reviravolta na origem dos peixes*. Disponível em: <<http://www.criacionismo.com.br/2013/10/reviravolta-na-origem-dos-peixes-outra.html>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

Sem medo de errar

Mediante os conceitos adquiridos na seção, podemos retomar a situação-problema exposta no “Diálogo aberto”, em que Gisele ficou responsável pela organização da seção dos vertebrados primitivos. Além disso, ela também foi informada de que deverá explicar sobre os Gnathostomata aos alunos do ensino fundamental 2 e médio, durante as visitas que ocorrem todas as segundas-feiras. Caro aluno, como você explicaria a origem, a evolução e as características morfológicas dos gnatostomados aos alunos?

Para resolver essa situação-problema, você precisará revisar os conceitos referentes à origem, classificação, diversidade, às características e à evolução dos gnatostomados.

Nesta seção, você verificou que os gnatostomados se caracterizam, principalmente, pela presença de maxilas. Eles, além disso, também desenvolveram apêndices pares, como as nadadeiras

peitorais e pélvicas. Esses são os principais caracteres que estão diretamente relacionados à evolução dos Gnathostomata.

Os gnatostomados também apresentam outros caracteres que os tornam mais derivados que os agnatos. Possuem crânio mais desenvolvido, olhos encapsulados, sistemas sensorial e circulatório desenvolvidos, presença de vértebras com centro e costelas, que são importantes por servirem de ponto de ancoragem para a musculatura axial. Houve desenvolvimento de novos hábitos alimentares, proporcionado pela presença das maxilas, possibilitando aos peixes agarrar e morder as presas e a manipular objetos. Juntamente com os dentes, as maxilas também proporcionaram a adaptação para um estilo de vida predatório, possibilitando aos gnatostomados se tornarem maiores (em tamanho) quando comparados aos Agnatha.

Outro aspecto importante é que os músculos dos gnatostomados possuem proteínas contráteis específicas para cada tipo de musculatura.

Os Gnathostomata surgiram no período Ordoviciano Superior, alcançando sua maior diversidade no Devoniano. São divididos em quatro clados distintos: Placodermii, representados pelos peixes que possuem armadura óssea; Chondrichthyes, peixes cartilagosos representados por tubarões, raias e quimeras; Acanthodii, peixes com espinhos e que, por possuírem caracteres similares, são considerados grupo irmão dos Osteichthyes, peixes ósseos que possuem nadadeiras raiadas ou lobadas.

Os placodermes e acantódios constituem os primeiros gnatostomados, ambos extintos. Os condrictes e osteíctes possuem linhagens viventes.

Caro aluno, tendo como base os conhecimentos adquiridos sobre os gnatostomados e sobre amniotas e agnatos nas seções anteriores, você poderá auxiliar a Gisele a elaborar o portfólio ilustrado com as principais informações (características, diversidade e evolução) sobre os Amniota, Agnatha e Gnathostomata, bem como dos Vertebrata em geral.

Faça valer a pena

1. Animais que possuem maxilas foram chamados de gnatostomados, compreendendo os peixes com maxilas e os tetrápodes.

Os primeiros espécimes de gnatostomados se desenvolveram no período Ordoviciano Superior, mas irradiaram em grande número de espécies no Devoniano, cujos fósseis de corpo inteiro são conhecidos e estudados a partir desse período.

Os Gnathostomata foram divididos em quatro clados distintos, que possuem espécimes extintos e espécimes viventes.

Quais são os quatro clados dos gnatostomados?

- a) Placodermi, Ostracodermes, Acanthodii e Osteichthyes.
- b) Acanthodii, Myxini, Chondrichthyes e Osteichthyes.
- c) Placodermi, Acanthodii, Chondrichthyes e Petromyzontida.
- d) Placodermi, Acanthodii, Chondrichthyes e Osteichthyes.
- e) Acanthodii, Ostracodermes, Chondrichthyes e Osteichthyes.

2. A presença das maxilas e dos apêndices pares são as principais características dos gnatostomados.

Além desses caracteres, os gnatostomados possuem muitos outros aspectos, sugerindo que os gnatostomados são mais ativos e mais complexos quando comparados aos agnatos.

Quais são os demais caracteres desenvolvidos pelos Gnathostomata?

- a) Sistema sensorial e respiratório desenvolvidos, crânio, ausência de olhos, vértebras e costelas rudimentares, músculos especializados.
- b) Sistema sensorial e respiratório desenvolvidos, crânio, olhos encapsulados, vértebras com centro e costelas, músculos especializados.
- c) Sistema sensorial rudimentar, ausência de sistema respiratório, crânio, olhos ausentes, vértebras com centro e costelas, músculos especializados.
- d) Sistema sensorial e respiratório desenvolvidos, crânio, olhos ausentes, vértebras e costelas rudimentares, músculos rudimentares.
- e) Sistema sensorial e respiratório rudimentar, crânio, olhos encapsulados, vértebras e costelas rudimentares, músculos especializados.

3. O processo evolutivo dos Gnathostomata está relacionado com uma evolução a partir dos Agnatha. Por apresentarem mais caracteres que se desenvolveram, os gnatostomados são mais derivados do que os agnatos. Na evolução dos gnatostomados, podemos citar dois eventos importantes, o surgimento das maxilas a partir dos arcos branquiais e o desenvolvimento de apêndices pares ou nadadeiras pares.

Quais as vantagens que esses caracteres adquiridos proporcionaram aos Gnathostomata no seu processo evolutivo?

- a) O surgimento das maxilas e das nadadeiras não proporcionou vantagens aos gnatostomados, visto que eles não apresentaram mudanças em hábitos alimentares, locomoção e exploração de novos ambientes.
- b) O surgimento das maxilas proporcionou mudanças nos hábitos alimentares dos gnatostomados, possibilitando uma alimentação mais diversificada; já as nadadeiras não trouxeram benefícios aparentes, visto que os animais continuaram com hábitos bentônicos e movimentação lenta.
- c) O surgimento das maxilas possibilitou mudanças nos hábitos alimentares dos gnatostomados, que passaram a morder e agarrar as presas. O desenvolvimento das nadadeiras proporcionou aumento de controle e mobilidade para explorar novos lugares.
- d) A presença das maxilas não trouxe mudanças significativas aos gnatostomados; já as nadadeiras pares proporcionaram maior controle e a aquisição de maxilas e nadadeiras pares não tiveram grande impacto no processo evolutivo dos gnatostomados.

Referências

HICKMAN Jr, C. P. et al. Origem dos Amniota e os Répteis. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et. al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013a. cap. 23, p. 594-601.

_____. Subfilo Vertebrata (Craniata). In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013b. cap. 23, p. 536-541.

_____. Peixes. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Coord. Elizabeth Hofling. Trad. André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013c. cap. 24, p. 543-548.

KARDONG, K. V. A história dos Vertebrados. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. Trad. Sonia Maria Marques Hoenem. São Paulo: Roca, 2010. cap. 3, p. 126-153.

KELLNER, A. Os primeiros tetrápodes. **Ciência Hoje**, abril. 2012. Disponível em: <www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2562/n/os_primeiros_tetrapodes?Post_page/5>. Acesso em: 11 out. 2017.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Diversidade, classificação e evolução dos vertebrados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008a. cap. 1, p. 2-15.

_____. Origem e Radiação dos Tetrápodes. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008b. cap. 2, p. 196-219.

_____. Os primeiros Vertebrata: vertebrados agnatos e a origem dos vertebrados gnatostomados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008c. cap. 4, p. 56-70.

_____. Os primeiros Vertebrata: vertebrados agnatos e a origem dos vertebrados gnatostomados. In: _____. **A vida dos vertebrados**. Coord. Ana Maria de Souza. Trad. Ana Maria de Souza, Paulo Auricchio. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008d. cap. 3, p. 43-56.

SOARES, M. B. Cinodontes fósseis brasileiros revelam os primeiros passos de evolução dos mamíferos. **Ciência e Cultura**, v. 67, n. 4, out.-dez. 2015. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v67n4/v67n4a14.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2017.

ZOLNERKEVIC, I. A era de ouro dos cinodontes. **Revista Pesquisa FAPESP**, dez. 2015. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/12/15/a-era-de-ouro-dos-cinodontes/>>. Acesso em: 12 out. de 2017.

Características gerais dos peixes, répteis, aves e anfíbios

Convite ao estudo

Caro aluno! Nessa unidade os nossos estudos em Zoologia dos vertebrados irão abordar os aspectos relacionados às características gerais dos peixes, répteis, aves e anfíbios, tais como fundamentos da classificação, filogenia, organização, biogeografia, etologia e estratégias adaptativas morfofuncionais.

Tendo como base os aspectos abordados, estaremos aptos a: conhecer as relações evolutivas e ancestralidade de répteis e aves, origem e evolução das penas, asas e voos nas aves, divisões taxonômicas, diversidade de formas e adaptações de aves e répteis e meio ambiente, bem como conhecer a classificação, distribuição, morfologias externa e interna de peixes cartilagosos e peixes ósseos, adaptações morfofuncionais dos peixes, classificação e distribuição de peixes de nadadeiras, raiadas e lobadas. E ainda conhecer a origem e evolução dos anfíbios, características, habitats e distribuição dos anfíbios atuais.

Para que possamos nos aproximar da realidade profissional, vamos analisar uma situação hipotética que tornará nosso estudo mais atrativo. O tempo passa e Gisele está finalizando o estágio no Museu de Zoologia. Entretanto, ela gostaria de conhecer mais sobre outros tipos de vertebrados e sabe que se permanecer no museu, poderá lapidar seus conhecimentos. Então, numa tarde, após finalizar seus afazeres, decide conversar com seu gestor e expor a intenção de continuar estagiando no museu, em outros setores, pois quer adquirir novos conhecimentos. O gestor, vendo o interesse de Gisele, conversa com seu superior, que decide dar uma oportunidade

para Gisele. Agora ela poderá aprender mais sobre outros vertebrados e prestará auxílio nas seções dos acervos dos répteis, aves, peixes e anfíbios. Para que obtenha êxito nessa nova etapa, ela decide rever alguns conteúdos, pois também ficará responsável por recepcionar as excursões de colégios de ensino fundamental 2 e médio e explicar aos alunos os aspectos envolvendo essas classes de animais.

Você tem ideia de quais conteúdos teóricos, envolvendo a origem, filogenia, características gerais e aspectos evolutivos Gisele deverá estudar? Vamos auxiliá-la a elaborar os roteiros das suas aulas?

Seção 3.1

Répteis e aves

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à mais uma etapa da nossa interessante jornada ao mundo dos vertebrados! Antes de iniciarmos nosso aprendizado, vamos retomar a situação hipotética apresentada no convite ao estudo. Gisele está empolgada nessa nova etapa de estágio e foi incumbida pelo seu novo gestor a efetuar a manutenção do acervo de répteis e aves do Museu de Zoologia. Ela decidiu elaborar um quadro informativo sobre esses animais. Como estudante de licenciatura quais aspectos que envolvam a origem, filogenia, características morfológicas e evolução dos répteis e aves você abordaria nesse quadro? Quais tipos de exemplares podemos encontrar nesse setor?

Não pode faltar

Relações evolutivas e ancestralidade - répteis e aves

Conforme estudado anteriormente, répteis e aves pertencem a linhagem dos *Sauropsida* proveniente da irradiação dos amniotas que também deu origem aos *Synapsida*.



Lembre-se

Amniota: animal que apresenta membrana amniótica envolvendo o embrião durante o desenvolvimento embrionário.

Synapsida: apresentam um único par de fenestras temporais, compreendem os mamíferos e seus ancestrais.

Sauropsida: representados pelos *Anapsida*, que não possuem fenestras, padrão observado na *Captorhinida* (extinta) e, pelos *Diapsida*, que apresentam duas aberturas temporais de cada lado do crânio, padrão observado em lagartos, serpentes, tuataras, crocódilios, aves, répteis extintos, exceto os répteis extintos que deram origem aos mamíferos.

As tartarugas são consideradas anapsídeos por alguns pesquisadores, mas há controvérsias; então as mesmas serão estudadas como pertencentes aos diapsídeos.

Os répteis surgiram no período Carbonífero, no final da Era Paleozoica, há cerca de 300 milhões de anos. Os primeiros diapsídeos deram origem aos répteis atuais e as aves, incluindo as tartarugas. Os anapsídeos da Era Paleozoica não possuem descendentes vivos.

Os arcossauros, um clado dos diapsídeos, irradiaram amplamente durante a Era Mesozoica originando espécimes morfologicamente diversos e de tamanhos imensos, os ictiossauros, pliossauros, pterossauros e dinossauros, ambos extintos. Apesar dos dinossauros estarem extintos, alguns de seus descendentes deram origem às aves. Registros fósseis demonstram que as tartarugas apareceram no período Triássico, há cerca de 220 milhões de anos. As tartarugas sofreram poucas mudanças morfológicas desde o seu surgimento e representam os animais mais antigos de espécies terrestres, semiaquáticas e aquáticas.

Já os lagartos surgiram no período Jurássico, e iniciaram sua diversificação no período Cretáceo da Era Mesozoica. As serpentes são provenientes do período Cretáceo posterior e evoluíram a partir de um grupo de lagartos. Os tuataras viveram na Era Mesozoica e são os únicos sobreviventes de um grupo de répteis, os *Sphenodontidae* que se extinguíram há cerca de 100 milhões de anos.

! Atenção

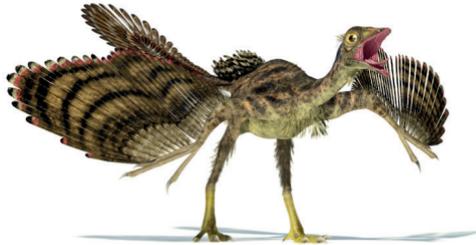
Tuataras: palavra de origem maori, significa "espinhos nas costas".

Os crocodilianos, jacarés e gaviais são os únicos representantes atuais dos *Archosauria* que predominaram na Era Mesozoica. Os arcossauros incluem os extintos dinossauros que deram origem às aves.

O ancestral comum das aves viveu no período Jurássico da Era Mesozoica. O registro fóssil encontrado na região da Baviera (atual Alemanha) foi denominado *Archaeopteryx lithographica*, e era do tamanho de um corvo, com crânio que se assemelha ao de aves modernas, com exceção do bico com dentes alveolares similares aos dinossauros. O esqueleto do *Archaeopteryx* tinha características praticamente reptilianas,

possuindo cauda óssea longa, dedos com garras e costelas abdominais, tais caracteres poderiam classificá-lo praticamente como um dinossauro *Theropoda*, exceto pela presença das penas.

Figura 3.1 | *Archaeopteryx* - ave primitiva



Fonte: <<http://www.bbc.co.uk/nature/life/Archaeopteryx>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

As similaridades entre as aves e os répteis são reconhecidas pelos zoólogos há muito tempo, porque os crânios de aves e répteis são conectados à primeira vértebra cervical por meio de uma pequena articulação óssea, o côndilo occipital – diferente dos mamíferos, que possuem dois côndilos. As aves e os répteis possuem um único osso na orelha média, o estribo, diferente dos mamíferos têm três ossos. Aves e demais répteis apresentam mandíbula formada por cinco ossos, enquanto que nos mamíferos a mandíbula é composta por um único osso, o dentário. Aves e répteis eliminam seus resíduos na forma de ácido úrico, diferindo dos mamíferos que excretam seus resíduos como ureia. Outra relação evidente entre aves e répteis se refere quanto à postura dos ovos, estes se assemelham e possuem grande quantidade de vitelo, e o desenvolvimento inicial do embrião se dá por clivagem superficial.

Aves e dinossauros terópodes compartilham muitos caracteres similares, dentre os quais podemos citar o pescoço longo com formato em “S”. Um grupo de terópodes classificados como dromeossauros, como o *Velociraptor*, compartilham com as aves caracteres derivados adicionais, tais como clavículas fusionadas (fúrculas), ossos lunares do punho que possibilitam movimentos giratórios, usados posteriormente no voo.



Exemplificando

Similaridades entre répteis e aves:

- Crânios conectados à primeira vértebra por intermédio de uma articulação chamada côndilo occipital.

- Presença de um único osso na orelha média, o estribo.
- Mandíbula formada por cinco ossos.
- Eliminação de excretas em forma de ácido úrico.
- Ovos semelhantes, com grande quantidade de vitelo.

Fósseis do período Jurássico Superior e Cretáceo Inferior, encontrados recentemente na China, corroboram a ideia de que as aves são derivadas dos dromeossauros terópodes. Os registros fósseis desses dromeossauros apresentavam filamentos, outros apresentavam penas. Fósseis de aves mais derivadas do *Archaeopteryx* foram encontrados na Espanha e na Argentina, sendo possível observar o desenvolvimento da quilha do esterno e da álula, perda dos dentes, fusão de ossos, características encontradas nas aves modernas.



Vocabulário

Filamentos: estruturas ocas que se assemelham ao estágio inicial do desenvolvimento das penas.

Quilha do esterno: osso peitoral interno, no qual se prendem os músculos peitorais.

Álula: penacho de penas sobre o primeiro dígito da asa de uma ave.

Origem e evolução das penas, asas e voos nas aves

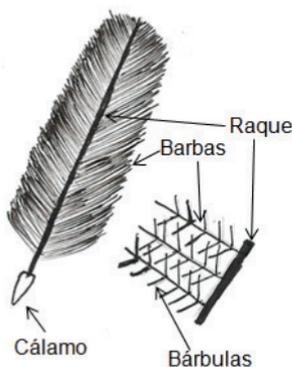
As penas conferem às aves características únicas que as diferem dos outros animais; são homólogas às escamas dos répteis. Têm origem epidérmica com centro dérmico nutritivo, desenvolvendo-se em reentrâncias ou folículos na pele, constituídas em sua grande maioria por betaqueratina (90%), minoritariamente por lipídios (1%), água (8%) e o restante por pequenas quantidades de outras proteínas e pigmentos, como por exemplo, melanina.

A pena é composta pelas seguintes estruturas: cálam (eixo oco) que emerge do folículo, raque (haste), que é a continuação do cálam e dá sustentação para as numerosas barbas, as ramificações das barbas formam as bárbulas, estas se situam uma de cada lado das barbas. Na porção mais distante da base, as barbas formam o

vexilo, este possui forma penácea que se assemelha a uma folha.

São observadas diferenças estruturais nas penas, na região próxima à base da raque, nas barbas e bárbulas flexíveis, têm textura macia, fofa e solta – região chamada de penugem ou plumácea. Na porção mais distante da base, o vexilo se caracteriza por ser uma estrutura mais firme do que a porção plumácea. A região do vexilo (porção penácea) fica exposta na superfície externa, servindo como proteção para a penugem, repelindo a água, refletindo ou absorvendo a radiação solar.

Figura 3.2 | Partes das penas



Fonte: <<https://goo.gl/DTg1uq>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

São também observados diferentes tipos de penas, com funções distintas: penas de contorno, que incluem as penas que revestem o corpo e as penas do voo, as rêmiges (penas das asas) e rectrizes (penas da cauda), semiplumas (isolante térmico), plúmulas de diversos tipos (isolante térmico e impermeabilizante à água, com a plúmula de pó), cerdas (repelem partículas estranhas, atuando como órgãos sensoriais táteis) e filoplumas (estruturas sensoriais).

Para que possam voar, as aves devem possuir estruturas específicas que as façam permanecer no ar.



Refleta

Conforme dissemos anteriormente, para que possam permanecer no ar, as aves sofreram adaptações estruturais e funcionais para o voo. Caro aluno você saberia quais são essas adaptações?

Grande parte das adaptações para o voo das aves estão relacionadas com a redução do peso corpóreo e ao fornecimento de mais potência para o voo. Essa adaptação foi solucionada, em parte, com o surgimento das penas que proporcionam leveza, resistência, impermeabilidade à água e possuem alto valor isolante. A eliminação e fusão de alguns ossos, presença de ossos pneumáticos que conferem leveza e resistência. O desenvolvimento de um bico córneo, usado como mão e boca para as aves, em substituição às maxilas pesadas e os dentes dos demais répteis, proporcionou diferentes hábitos alimentares e também contribui para a redução do peso corpóreo.

As adaptações que possibilitaram a potência para o voo estão associadas à taxa metabólica alta e temperatura corpórea que contempla uma dieta rica em energia. O sistema respiratório consiste em um sistema de sacos aéreos que fornecem um fluxo de ar unidirecional constante através dos pulmões, que o torna altamente eficiente. As aves possuem músculos de voo e pernas potentes que se dispõem de modo a situar a massa muscular próxima ao seu centro de gravidade. Apresentam também uma circulação de alta pressão eficiente e rins metanéfricos que produzem ácido úrico como principal excreta nitrogenado.

Visão aguçada, boa audição e coordenação excelente para o voo, também fazem parte das adaptações apresentadas pelas aves. Para voar, as asas das aves possibilitam a ascensão, sustentação e propulsão; a cauda que controla o pouso e a pilotagem, e as penas nas asas controlam o voo em baixa velocidade – os mesmos princípios aerodinâmicos empregado nas aeronaves.

As aves apresentam asas que variam em tamanho e forma, de acordo com as necessidades aerodinâmicas. Existem quatro tipos asas de aves: asas elípticas, asas de alta velocidade, asas de voo dinâmico (planadoras ascendentes dinâmicas) e asas de grande sustentação. Atualmente, alguns zoólogos sugerem que as asas foram inicialmente usadas para planar a partir das árvores e depois, modificaram-se para o voo batido, essa hipótese foi denominada arborícola.



Existem basicamente dois tipos de voos: o voo batido, em que as aves batem as asas gerando forças de ascensão e propulsão que impulsionam a ave para frente. Esse tipo geralmente é utilizado em asas de alta velocidade e asas elípticas.

No voo planado as aves utilizam a corrente de ar a seu favor, quando as asas ficam abertas e são usadas só quando necessário para obtenção de forças ascendentes e descendentes. Para planar as aves utilizam as asas de voo dinâmico e as asas de grande sustentação.

Apesar de possuírem asas, algumas aves não voam, e não há consenso entre os pesquisadores sobre essa razão. A hipótese mais plausível é que esse hábito possa ter relação com o local onde viviam, com ausência de predadores, não precisando voar para se manterem vivos. Conforme evoluíam, essas aves perderam gradualmente a habilidade de voar.

Divisões taxonômicas de aves e répteis

As aves são classificadas da seguinte forma:

- Reino *Animalia*, filo *Chordata*, subfilo *Vertebrata*, classe aves, que compreendem as subclasses: *Archaeornithes* (aves extintas), *Neornithes* (aves extintas e modernas). Superordem *Paleognathae*, representada pelas aves com palato primitivo, ratitas e tinamídeos, superordem *Neognathae*, composta pelas aves modernas com palato flexível.



Para verificar a classificação das aves atuais, consulte a seguinte bibliografia:

HICKMAN Jr, C. P. et al. Aves. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. Elizabeth Hofling. (coord.). Tradução André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p.618-645.

O táxon *Reptilia* é constituído pelos clados *Parareptilia* e *Eureptilia*. O clado *Parareptilia* compreende os *Anapsida*, cujos espécimes não apresentavam abertura temporal no crânio, enquanto que os

Eureptílios compreendem os *Diapsida*, caracterizados pela presença de duas aberturas ou janelas temporais no crânio. A classe *Reptilia* inclui as serpentes, os lagartos, os tuataras, os crocodilianos, as tartarugas, e os grupos extintos que incluem os dinossauros, pliossauros, pterossauros.

Os répteis e aves compartilham caracteres derivados, dentre eles detalhes da morfologia do tornozelo e do crânio, pele composta por betaqueratina, unindo-os num grupo monofilético, com exceção dos "répteis mamaliformes", que deram origem aos mamíferos. A classificação lineana não inclui as aves e os mamíferos junto com os répteis, tornando a classe *Reptilia* parafilética. Os répteis, de acordo com a classificação lineana, são classificados da seguinte forma:

- Reino *Animalia*, filo *Chordata*, subfilo *Vertebrata*, classe *Reptilia*, subclasse *Anapsida* que inclui a ordem *Captorhinida* (extinta), subclasse *Diapsida*, que compreende a ordem *Testudines* representada pelas tartarugas, superordem *Lepidosauria*, que inclui a ordem *Squamata* representada pelos lagartos (subordem *Larcertilia*) e serpentes (subordem serpentes); ordem *Sphenodonta*, cujos representantes são os tuataras. Superordem *Ichthyosauria* (diápsidos marinhos extintos), superordem *Sauropterygia*, que inclui a ordem *Plesiosauro* (répteis marinhos, extintos), superordem *Archosauria* composta pela ordem *Crocodylia* (crocodilianos). Ordem *Pterosauria* (arcossauros voadores, extintos); ordem *Saurischia*, que compreende a subordem *Sauropodomorpha* (dinossauros herbívoros, extintos), subordem *Theropoda* (que deram origem às aves), ordem *Ornithischia* (extinta).

Diversidade de formas de aves e répteis

As aves são derivadas dos dromeossauros terópodes, um grupo de arcossauros extintos. Possuem membros anteriores modificados, epiderme coberta por penas e escamas nas pernas, bico sem dentes, ossos pneumáticos, musculatura desenvolvida, ausência de bexiga urinária. São endotérmicas e a fecundação é interna, os ovos amnióticos têm casca dura e muito vitelo. A incubação é externa.

As aves apresentam grande diversidade de formas e espécies, que se devem aos locais onde vivem e hábitos alimentares desenvolvidos. As que possuem palato primitivo, paleognatas, são

representadas pelas ratitas e tinamídeos.

- **Ratitas:** aves que não voam, incluindo o avestruz, proveniente da África, emas, encontradas na América do Sul, casuares, que ocupam florestas do Norte da Austrália e Nova Guiné, emu, que vive na Austrália e kiwis, habitantes da Nova Zelândia.
- **Tinamídeos:** aves terrícolas (terrestres, que habitam o solo), cujos espécimes são os macucos, inambus e codorna, encontrados na América Central e na América do Sul.

As neognatas são aves modernas que possuem palato flexível, representadas pelos cisnes, gansos e patos; são divididos em tetraonídeos (galináceos): faisões, perus, galo-doméstico, codorniz-comum, pinguins, mergulhões, flamingos, albatrozes, pelicanos, biguás, atobás, garças, socós, cegonhas, guarás, colhereiros, águias, falcões, urubus, condores, grou, frangos-d'água, saracuras e carquejas, gaivotas, maçaricos, mandriões, pombos, rolas, papagaios e periquitos, ciganas, turacos, cucos, papa-léguas, corujas, bacuraus, urutaus, andorinhas e beija-flores; e colíídeos (aves-rato): martins-pescadores, pica-paus, tucanos e pássaros, como sabiás, andorinhas, corvos, gralhas, etc.

Figura 3.3 | *Lophornis magnificus* (topetinho-vermelho, macho) – representante da família Trochilidae, ordem Apodiformes, classe aves.



Fonte: <<https://goo.gl/KuHUzV>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

Os répteis atuais originaram-se dos primeiros diápsídeos no final da Era Paleozoica, diversificando em tartarugas, lagartos, serpentes, tuataras e crocodilianos. São em sua maioria ectotérmicos, com o corpo recoberto por escamas dérmicas queratinizadas e dois pares de membros adaptados para nadar, correr, escalar. A fecundação é interna e a maioria das espécies é ovípara.

- **Tartarugas:** representantes da ordem *Testudines*, possuem casco composto por carapaça, resultado de deposição de queratina e plastrão formado pela fusão do osso esterno com as costelas. As tartarugas constituem um grupo muito antigo de espécies terrestres, semiaquáticas e aquáticas. Os espécimes de *Testudines* possuem placas queratinizadas que cobrem as maxilas, placas que formam um bico córneo em substituição aos dentes inexistentes. As tartarugas são ovíparas, inclusive as espécies marinhas, que após a postura, enterram os ovos no solo.

Figura 3.4 | *Chelonia mydas* (tartaruga verde) – representante da ordem *Testudines*



Fonte: <<https://goo.gl/vQnHGD>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

- **Lagartos:** pertencentes à ordem *Squamata*, os lagartos são bastante diversificados e bem-sucedidos, habitando particularmente regiões de clima quente. Possuem a extremidade anterior das mandíbulas fusionadas, pálpebras

móveis e ouvido externo com aberturas, são ectodérmicos, a maioria é ovípara, mas existem espécies vivíparas em regiões de clima frio. Como exemplos de lagartos, podemos citar as lagartixas, calangos, iguanas, lagartos-monitores, camaleões e anfisbenas ou cobra-de-duas-cabeças.

Figura 3.5 | Calango - representante da subordem *Lacertilia*, ordem *Squamata*



Fonte: <<https://goo.gl/tpyfPA>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

- **Serpentes:** juntamente com os lagartos, as serpentes constituem praticamente toda a diversidade, ou seja, cerca de 95% dos répteis atuais. Um grupo de lagartos deu origem às serpentes, com corpo alongado, ausência de apêndices locomotores e crânio cinético que permite engolir presas muito maiores do que seu próprio diâmetro. O órgão de Jacobson, um órgão olfatório localizado no assoalho da boca, auxilia a serpente na caça de suas presas. Os viperídeos e os boídeos, dois grupos de serpentes, detectam suas presas através de órgãos sensíveis à radiação infravermelha. Os diversos grupos de serpentes podem ser distinguíveis através da anatomia e do posicionamento das peçonhas ou presas, que são dentes modificados usados para inocular veneno.

Existem serpentes peçonhentas que envenenam suas presas e, serpentes não peçonhentas que matam as presas por constrição ou as engolem vivas.

Figura 3.6 | *Bothrops jararacussu* (jararacussu) – representante da subordem serpentes, ordem Squamata



Fonte: <<https://goo.gl/sgLVgX>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

- **Tuataras:** pertencente à ordem *Sphenodonta*, os tuataras ocorrem apenas em ilhas da Nova Zelândia, e são os únicos representantes vivos de um grupo de répteis extintos há 100 milhões de anos. Os tuataras se assemelham aos lagartos, pois são animais de vida longa e apresentam caracteres similares aos dos seus ancestrais da Era Mesozoica. Possuem crânio diápsido com duas aberturas temporais, olho parietal bem desenvolvido, com retina, cristalino e conexões com o encéfalo.

Figura 3.7 | *Sphenodon punctatus* – tuatara



Fonte: <<https://goo.gl/J95zTP>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

- **Crocodilianos:** os crocodilos, os jacarés e os gaviais, pertencentes à ordem *Crocodylia*, são os únicos répteis atuais derivados do clado *Archosauria*. Os crocodylianos possuem crânio robusto e alongado, maxilas poderosas, palato secundário, entre as várias adaptações que contribuíram para um hábito semiaquático associado à uma dieta carnívora.

Figura 3.8 – *Caiman latirostris* (Jacaré do papo amarelo) – representante da família *Alligatoridae*, ordem *Crocodylia*



Fonte: <<https://goo.gl/w54XQQ>>. Acesso em: 26 nov. 2017.



Para aprofundar seus conhecimentos acerca dos répteis, consulte a bibliografia complementar: HICKMAN Jr, C. P. et al. A origem dos Amniota e os répteis. In: _____ **Princípios integrados de zoologia**. Elizabeth Hofling (coord.). Tradução André Eterovik et al. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 594-617.

Adaptações de aves e répteis e meio ambiente

Para que possam ter ampla distribuição territorial e habitar os mais diversos locais, as aves passaram por várias adaptações ao longo dos tempos. Dentre essas adaptações podemos citar a presença das penas recobrimdo a epiderme, adaptação das asas para o voo, desenvolvimento dos músculos de voo (peitoral e supracoracóideo), que possibilitaram a exploração de outros locais em busca de novos habitats e alimento. A diversificação da alimentação foi propiciada também, pela adaptação dos bicos das aves em substituindo as maxilas.

As aves movem-se regularmente entre locais de nidificação (construção do ninho) no verão e regiões de invernada. A migração das aves se dá em direção ao sul no outono e ao norte na primavera, o que propicia a reprodução e cuidados parentais com os filhotes. Durante o voo migratório, as aves fazem uso de recursos de navegação, incluindo a posição do sol, luz polarizada e campos magnéticos da Terra.

Os répteis foram os primeiros vertebrados a conquistar o ambiente terrestre, que os tornou independentes do meio aquático. Para sobreviver nesse novo ambiente, os répteis passaram por adaptações, como a aquisição de escamas ou placas queratinizadas recobrimdo a pele para proteção contra a perda excessiva de água. A maioria dos espécimes elimina seus excrementos em forma de ácido úrico, como forma de economia em relação à perda de água. A substituição da pele ocorre regularmente, favorecendo o crescimento do animal.

Répteis são ectotérmicos não sendo capazes de controlar a temperatura corpórea através de mecanismos internos devido ao baixo metabolismo. Necessitam de adaptações comportamentais para a manutenção da temperatura adequada, dependendo de uma

fonte de calor externa para manter a temperatura de seus corpos.

Outra adaptação de extrema importância para a conquista do ambiente terrestre foi o surgimento do ovo amniótico e seus anexos protegendo o embrião, além da casca porosa que possibilita as trocas gasosas entre o embrião e o meio ambiente, evitando a perda de água.

Caro aluno, nesta seção foram abordados conceitos referentes às aves e aos répteis e constatamos a grande diversidade de espécies, bem como as adaptações que levaram ao sucesso na conquista dos ambientes em que habitam. Na próxima seção iremos aprofundar nossos conhecimentos acerca dos peixes. Até breve!

Sem medo de errar

Tendo como base os conceitos adquiridos nessa seção, vamos retomar a situação-problema descrita no item Diálogo Aberto no qual Gisele, em seu novo setor, ficou responsável pela manutenção do acervo de répteis e aves do Museu de Zoologia e, elaborou um quadro informativo sobre esses animais. Como você elaboraria esse quadro, abordando a origem, filogenia, características morfológicas e evolução dos répteis e aves? Você tem ideia de quais exemplares podem ser encontrados no setor répteis e aves do museu?

Para resolver essa situação-problema, você precisará revisar os conceitos referentes às relações evolutivas e ancestralidade de répteis e aves, relacionando-os com as divisões taxonômicas e diversidade de formas entre as aves e os répteis. Caro aluno, você também deverá rever os conteúdos referentes a origem e evolução das penas, asas e voo das aves. Além disso, os conceitos sobre as adaptações de aves e répteis ao meio ambiente não devem ser esquecidos. Com base nos conceitos abordados, tanto Gisele como você estão aptos a elaborar o quadro informativo sobre essas classes, levando os alunos a refletir sobre a importância desses conceitos no processo de evolução e conquista do ambiente terrestre.

Faça valer a pena

1. Os répteis atuais, incluindo as tartarugas e as aves, são derivados dos primeiros diápsídeos da Era Mesozoica. O padrão diápsido se caracteriza pela presença de duas aberturas temporais, uma de cada lado do

crânio. Além dessa similaridade, répteis e aves também apresentam outros caracteres similares, que os incluem no clado dos *Sauropsida*.

Quais as outras similaridades apresentadas por répteis e aves?

a) Crânios conectados à primeira vértebra cervical por dois côndilos, presença de um único osso na orelha média, mandíbula composta por um único osso, eliminação de excretas na forma de ureia, ovos semelhantes com pouca quantidade de vitelo.

b) Crânios conectados à primeira vértebra cervical por um côndilo, presença de um único osso na orelha média, mandíbula formada por cinco ossos, eliminação de excretas na forma de ácido úrico, ovos semelhantes com grande quantidade de vitelo.

c) Crânios conectados à primeira vértebra cervical por um côndilo, presença de três ossos na orelha média, mandíbula formada por cinco ossos, eliminação de excretas na forma de ácido úrico, ovos semelhantes com grande quantidade de vitelo.

d) Crânios conectados à primeira vértebra cervical por dois côndilos, presença de um único osso na orelha média, mandíbula composta por dois ossos, eliminação de excretas na forma de ureia, ovos semelhantes com grande quantidade de vitelo.

e) Crânios conectados à primeira vértebra cervical por um côndilo, presença de três ossos na orelha média, mandíbula formada por cinco ossos, eliminação de excretas na forma de ácido úrico, ovos semelhantes com pouca quantidade de vitelo.

2. Para explorar novos ambientes, em busca de alimento e habitat, as aves sofreram adaptações estruturais e funcionais para o voo. Tais adaptações estão relacionadas com a redução do peso corpóreo e ao fornecimento de mais potência para o voo.

Assinale a alternativa que contém as adaptações estruturais e funcionais do voo das aves, quanto à redução do peso corporal e fornecimento de potência.

a) Redução de peso: penas, desenvolvimento de novos ossos, membros superiores e boca; potência para o voo: metabolismo e temperaturas baixos, dieta calórica, sacos aéreos, músculos e pernas atrofiadas, eliminação de resíduos em forma de ácido úrico.

b) Redução de peso: escamas, eliminação e fusão de ossos, ossos pneumáticos, membros superiores e boca; potência para o voo: alta taxa metabólica, temperatura corpórea, dieta energética, sacos aéreos, músculos de voo e pernas potentes, eliminação de resíduos em forma de ácido ureia.

c) Redução de peso: penas, desenvolvimento de novos ossos, bico córneo; potência para o voo: metabolismo e temperaturas baixas, dieta calórica, sacos aéreos, músculos e pernas atrofiadas, eliminação de resíduos em forma de ureia.

d) Redução de peso: penas, eliminação e fusão de ossos, ossos pneumáticos, bico córneo; potência para o voo: alta taxa metabólica, temperatura corpórea, dieta energética, sacos aéreos, músculos de voo e pernas potentes, eliminação de resíduos em forma de ácido úrico. e) Dados externos à empresa.

e) Redução de peso: escamas, eliminação e fusão de ossos, ossos pneumáticos, bico córneo; potência para o voo: alta taxa metabólica, temperatura corpórea, dieta calórica, sacos aéreos, músculos de voo e pernas atrofiadas, eliminação de resíduos em forma de ácido úrico.

3. O ambiente terrestre foi conquistado primeiramente pelos répteis, que se tornaram independentes do meio aquático. Atualmente os répteis são representados pelos sauropsídeos, que incluem os lagartos, serpentes, tuataras, crocodilianos e as tartarugas. Para que pudessem sobreviver no novo ambiente, os répteis passaram adaptações importantes.

Quais são as adaptações dos répteis ao meio ambiente?

a) Pele recoberta por células epiteliais e eliminação de resíduos sob a forma de urina, protegendo contra a perda de água; muda regular da pele favorecendo o crescimento do animal; dependência de mecanismos internos para regulação da temperatura corpórea; ovo amniótico seus anexos protegendo o embrião, e casca porosa que favorece as trocas gasosas entre o embrião e o meio ambiente.

b) Pele recoberta por escamas ou placas queratinizadas e eliminação de resíduos sob a forma de ureia, protegendo contra a perda de água; muda esporádica da pele favorecendo o crescimento do animal; dependência de mecanismos externos para regulação da temperatura corpórea; ovo amniótico seus anexos protegendo o embrião, e casca porosa que favorece as trocas gasosas entre o embrião e o meio ambiente.

c) Pele recoberta por penas e eliminação de resíduos sob a forma de ácido úrico, proporcionando a perda de água; muda regular da pele favorecendo o crescimento do animal; dependência de mecanismos externos para regulação da temperatura corpórea; ovo anamniótico sem anexos protegendo o embrião, e casca sem poros que favorece as trocas gasosas entre o embrião e o meio ambiente.

d) Pele recoberta por escamas ou placas queratinizadas e eliminação de resíduos sob a forma de ureia, protegendo contra a perda de água; muda esporádica da pele favorecendo o crescimento do animal; dependência

de mecanismos internos para regulação da temperatura corpórea; ovo amniótico seus anexos protegendo o embrião, e casca sem poros que favorece as trocas gasosas entre o embrião e o meio ambiente.

e) Pele recoberta por escamas ou placas queratinizadas e eliminação de resíduos sob a forma ácido úrico, protegendo contra a perda de água; muda regular da pele favorecendo o crescimento do animal; dependência de mecanismos externos para regulação da temperatura corpórea; ovo amniótico seus anexos protegendo o embrião, e casca porosa que favorece as trocas gasosas entre o embrião e o meio ambiente.

Seção 3.2

Peixes

Diálogo aberto

Caro aluno, gostaria de convidá-lo a conhecer um pouco mais sobre os peixes. Na seção anterior, acompanhamos a Gisele na elaboração de um quadro informativo sobre os répteis e aves. Em seu estágio no museu, Gisele foi avisada que sua próxima tarefa será a organização do acervo dos peixes. Diante da diversidade de espécies, decidiu rever alguns conteúdos antes de iniciar os trabalhos propriamente ditos. Para que consiga organizar o acervo da melhor forma possível para apresentá-lo aos alunos, decidiu elaborar uma rápida apresentação multimídia, com as características principais dos diversos tipos de peixes. Vamos ajudar a Gisele nessa nova tarefa? Quais características morfológicas você considera importante para os peixes? Como o habitat dos peixes influenciou em sua evolução? Você se lembra de alguns espécimes de peixes?

Não pode faltar

Os peixes são vertebrados aquáticos que possuem nadadeiras e respiram através de brânquias. Pertencem a uma linhagem antiga cujo ancestral era um protocordado livre-natante.

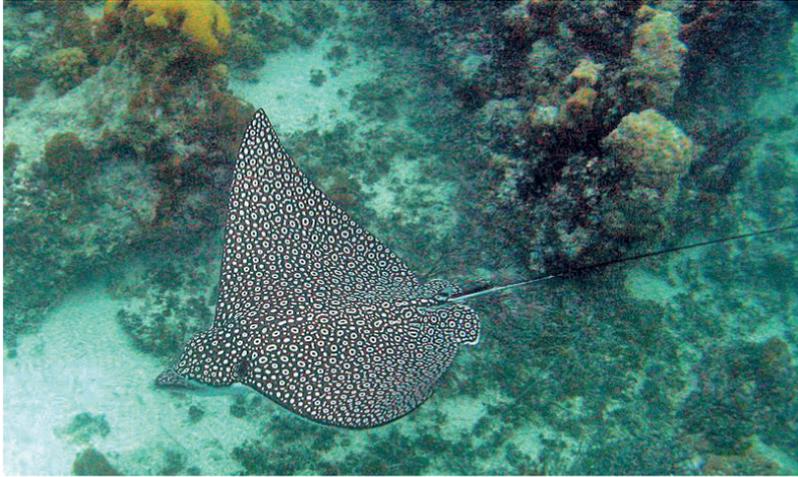
Os primeiros vertebrados pertenciam a um grupo de peixes agnatos, sem maxilas, incluindo os ostracodermes que, posteriormente, originaram os gnatostomados, peixes com maxilas. Os gnatostomados são representados pelos placodermes (extintos), peixes cartilagosos, acantódios (extintos) e os peixes ósseos.

Classificação, distribuição, morfologia externa e morfologia interna dos peixes cartilagosos

Os peixes cartilagosos pertencem ao reino *Animalia*, filo *Chordata*, infrafilo *Gnathostomata*, Subfilo *Vertebrata*, classe *Chondrichthyes*, que se dividem em duas subclasses ou subclasses: *Elasmobranchii*,

representada pelos tubarões e raias, e *Holocephali*, cujos representantes são as quimeras. Os *Elasmobranchii* compreendem a superordem *Bathoidea*, representada pelas raias e a superordem *Selachimorpha*, que tem os tubarões como representantes.

Figura 3.9 | *Aetobatus narinari* (raia-pintada), representante da subclasse *Elasmobranchii*



Fonte: <<https://goo.gl/6QidXn>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

Atualmente, existem cerca de 970 espécies atuais de peixes cartilaginosos, que geralmente habitam os oceanos. Os elasmobrânquios compreendem cerca de 937 espécies e os holocéfalos possuem cerca de 33 espécies.

Figura 3.10 | *Carcharias taurus* (tubarão-cinza), representante da ordem *Selachimorpha*, subclasse *Elasmobranchii*



Fonte: <<https://goo.gl/y4ghP8>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

Os tubarões do período Devoniano, em sua maioria, habitavam a água doce, e ainda hoje algumas espécies também o fazem. Mas, atualmente, a maior parte dos tubarões modernos ocorrem nos oceanos. As raias modernas ocorrem nos mares tropicais e são habitantes de fundo.

Os holocéfalos, cujos representantes recentes são as quimeras, animais exclusivamente marinhos que derivaram de uma linhagem dos tubarões a cerca de 380 milhões de anos.

Figura 3.11 | *Hydrolagus colliei* (quimera), representante da subclasse *Holocephali*

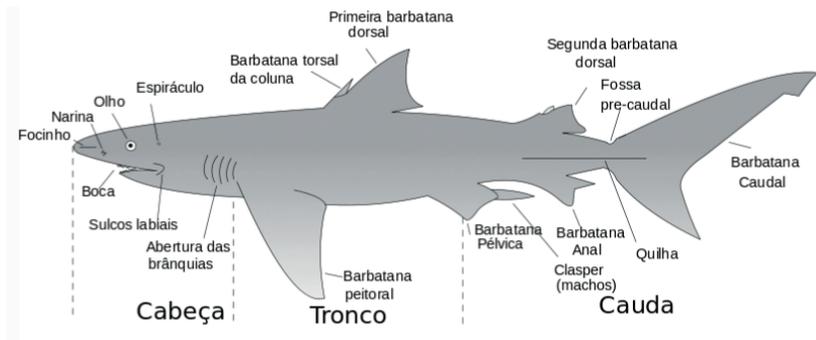


Fonte: <<https://goo.gl/Bq1Nfa>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

Morfologia externa dos Chondrichthyes

Os peixes cartilaginosos são geralmente grandes medindo cerca de 2 m, possuem corpo fusiforme ou achatado dorsoventralmente, apresentam uma nadadeira caudal heterocerca, exceto em quimeras cuja nadadeira caudal é dificerca. Possui nadadeiras pares, peitorais e pélvicas, além de ou duas nadadeiras dorsais. A boca está situada ventralmente; pele com presença de escamas placoides (que se parecem com dentes) ou pele nua. Sistema de linha lateral presente, fendas branquiais expostas, de cinco a sete pares em elasmobrânquios – as quimeras possuem quatro pares de brânquias cobertas por opérculo. Os orifícios das narinas e ampolas de Lorenzini são visíveis.

Figura 3.12 | Morfologia externa do tubarão (peixe cartilaginoso)



Fonte: <<https://goo.gl/cLCFN1>> . Acesso em: 14 dezembro 2017.

Morfologia interna dos Chondrichthyes

Os peixes cartilagosos possuem endoesqueleto inteiramente cartilaginoso, com notocorda reduzida e vértebras completas e separadas. O sistema digestório é composto por estômago em formato da letra "J"; ausência de estômago nas quimeras. O intestino possui uma válvula espiral, e um fígado que contém óleo, que auxilia na flutuação. O sistema circulatório apresenta vários pares de vasos aórticos. Circulação simples, o coração apresenta seio venoso, átrio, ventrículo e cone arterial. A respiração se dá por meio de cinco a sete pares de fendas branquiais. Ausência de bexiga natatória ou pulmão e presença de rim opistonéfrico, glândula retal.

O sangue dos peixes cartilagosos apresenta alta concentração de ureia e óxido de trimetilamina, tornando-o hiperosmótico em relação à água do mar. O sistema nervoso se caracteriza pela presença do encéfalo com dois lobos olfatórios, dois hemisférios cerebrais, dois lobos ópticos, cerebelo, bulbo e 10 pares de nervos cranianos. Possuem também, três pares de canais semicirculares: sentido do olfato, sistema da linha lateral com função de recepção de vibrações, visão e eletrorrecepção bem desenvolvidas.

Morfologia dos órgãos reprodutores de peixes cartilagosos

Os *Chondrichthyes* são dioicos e possuem reprodução sexuada com fecundação interna e desenvolvimento direto. O aparelho reprodutor do macho se caracteriza pela presença de dois testículos, ductos eferentes e seio urogenital. Além disso, nos machos

as nadadeiras pélvicas se modificam e dão origem aos órgãos copuladores denominados cláspes.

As fêmeas apresentam dois ovários pareados (elasmobrânquios), mas algumas espécies podem apresentar apenas um ovário. O oviduto é diferenciado, apresentando quatro regiões, funil, glândula da casca, istmo e útero. Os ovidutos dos condrictes se abrem na cloaca, com exceção das quimeras que possuem aberturas urogenital e anal separadas.

Figura 3.13 | Morfologia dos órgãos copuladores (cláspes) dos peixes cartilaginosos



Legenda: Imagem da nadadeira pélvica vista de baixo. À esquerda um macho, com o clássper em destaque, e à direita uma fêmea.

Fonte: <<https://goo.gl/vQcqTw>>. Acesso em: 17 dezembro 2017.

Classificação, distribuição, morfologia externa e morfologia interna dos peixes ósseos

Osteichthyes são peixes ósseos que pertencem ao reino *Animalia*, filo *Chordata*, infrafilo *Gnathostomata*, subfilo *Vertebrata* e superclasse *Osteichthyes*, que se dividem em duas classes ou clados: *Actinopterygii*, representada pelos peixes de nadadeiras raiadas e, *Sarcopterygii*, cujos representantes são os peixes de nadadeiras lobadas.

Morfologia externa dos peixes ósseos

Os peixes ósseos se caracterizam pelo corpo coberto por escamas ósseas, que não são substituídas quando perdidas. Existem espécies que não possuem escamas e outras com placas ósseas. As escamas podem ser do tipo ganoide em forma de diamantes justapostos, escamas cicloides ou cteneoides; são delgadas, flexíveis e se dispõem

em fileiras sobrepostas. Nadadeira caudal homocerca, na maioria dos peixes, nadadeira caudal dificerca em peixes pulmonados. Nadadeiras pares e ímpares, dorsal, peitoral, pélvica e anal, sustentadas por lepidotríquia (longos raios dérmicos). Diversidade de formas e posição do aparato bucal, proporcionando diferentes hábitos alimentares. O formato do corpo é variável, podendo se apresentar totalmente achatado dorso-ventralmente, mais hidrodinâmicos e fusiformes e, achatados lateralmente. Coloração diversificada, encontrados desde indivíduos transparentes até muito coloridos, que podem ser aposemáticos, camuflados. Muitos possuem coloração vermelha, mas não são aposemáticos.



Refleta

Caro aluno, conforme descrito anteriormente, os peixes ósseos possuem formatos do corpo e cores diversas. Você sabe qual a importância desses animais apresentarem essa diversidade na coloração corpórea?

Assim como outros espécimes de animais, alguns peixes são aposemáticos, ou seja, apresentam o aposematismo ou coloração de advertência, que nada mais é do que uma adaptação de defesa desenvolvida por certas espécies ao longo de seu processo evolutivo. Apresenta cores vivas que chamam a atenção no intuito de advertir os possíveis predadores sobre um possível gosto não-palatável ou toxicidade. Cores vibrantes como vermelho, amarelo, verde e azul são muito utilizadas, cobrindo o corpo de maneira uniforme ou combinadas entre si.

Morfologia interna dos peixes ósseos

O endoesqueleto ósseo tem origem endocondral, bexiga natatória que auxilia na flutuação, e pode ser utilizada na respiração por alguns espécimes. Presença de brânquias cobertas por opérculo. O sistema circulatório é adaptado, nos actinoptérigeos a circulação é simples, o coração consiste em um átrio e um ventrículo, quatro seios aórticos. As hemácias são nucleadas. Nos sarcopterígeos, o coração possui um seio venoso, dois átrios, um ventrículo parcialmente dividido e um cone arterial; a circulação é dupla com circuitos sistêmico e pulmonar, cinco arcos aórticos. Sistema nervoso com encéfalo pequeno, 10

pares de nervos cranianos. Presença de três canais semicirculares, relacionados com o equilíbrio corpóreo.

Nos sarcopterígeos, os sexos são separados e a fecundação é externa ou interna. Nos actinopterígeos os sexos são geralmente separados, a fecundação de modo geral é externa e, as formas larvais podem diferir muito das formas adultas.



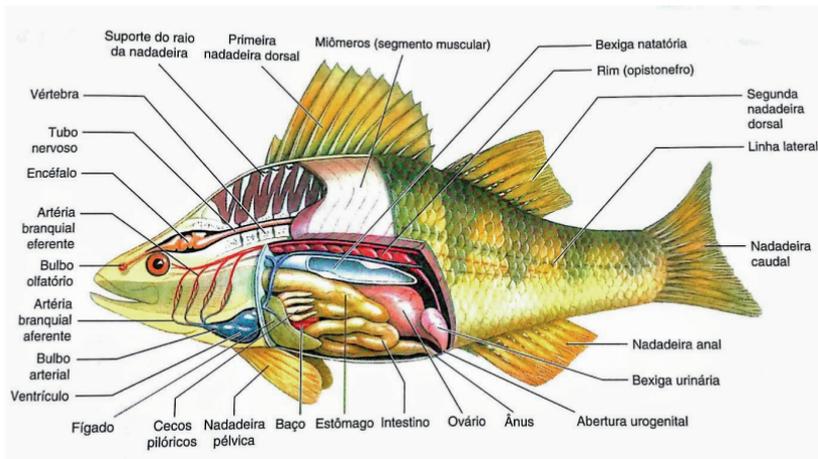
Assimile

Osteichthes: do grego *osteos* = osso, *ichthys* = peixe, são denominados peixes ósseos.

Actinopterygii: do grego *aktis*, = raio, *pteryx* = barbatana, asa, constituem os peixes de nadadeiras raiadas.

Sarcopterygii: do grego *sarkos* = carne, *pteryx* = barbatana, asa, constituem os peixes de nadadeiras lobadas.

Figura 3.14 | Morfologia externa e interna dos peixes ósseos



Fonte: Hickman et al. (2013, p. 555).

Classificação e distribuição de peixes de nadadeiras raiadas e lobadas

Os *Actinopterygii* constituem o grupo mais diversificado e o que reúne o maior número de espécies de vertebrados, 27 mil espécies presentes em todos os ambientes aquáticos. Os actinopterígeos compreendem as subclasses: cladistia, composta pelos bichires,

Chondrostei, representada pelos peixes-espátula e esturjões e *Neopterygii*, composta pelos *Lepisosteus*, *Amia* e teleósteos.

Figura 3.15 | *Tetraodon mbu* (baiacu-gigante), um actinoptérigeo



Fonte: <<https://goo.gl/mg15GD>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

Os *Sarcopterygii* compreendem as subclasses *Actinistia*, também chamada *Coelacanthimorpha*, e *Dipnoi*, que possuem espécies viventes. As subclasses *Onychodontida*, *Porolepiformes* *Rhipidistia* e *Tetrapodomorpha* estão extintas.

A subclasse *Coelacanthimorpha* é representada pela ordem *Coelacanthiformes*, que possui três famílias, sendo duas extintas (*Coelacanthidae* e *Mawsoniidae*) e apenas uma vivente, a *Latimeriidae*, que abrange o gênero *Latimeria* com duas espécies popularmente chamados de celacantos, a *Latimeria chalumnae* e a *Latimeria mendoensis*.

Os sarcopterígeos constituem um grupo pequeno e possuem atualmente oito espécies viventes. Pensava-se que os celacantos estivessem extintos, mas foram encontrados em 1938, no Hemisfério Sul (Oceano Índico), mais especificamente na costa da África. Em 1998, na Indonésia, foi descoberta uma nova espécie de celacanto, a *Latimeria mendoensis*.

Os peixes pulmonados da subclasse *Dipnoi* abrangem duas ordens, a *Ceratodontiformes*, com um único espécime vivente: o *Neoceratodus fosteri*, encontrado na Austrália. A ordem *Lepidosireniformes* é constituída por duas famílias, a *Lepidosirenidae*, representada pela espécie *Lepidosiren paradoxa*, popularmente

denominada pirambóia, peixe pulmonado característico da América do Sul. A família *Protopteridae* é constituída pelo gênero *Protopterus*, composta por quatro espécies características do continente africano.



Exemplificando

Os *Osteichthyes* são divididos em:

- *Actinopterygii*: composta pelas subclasses *Cladistia*, *Condrostei* e *Neopterygii*. Têm como representantes os bicheres, esturjões e teleósteos.
- *Sarcopterygii*: composta pelas subclasses *Coelacanthimorpha* e *Dipnoi*. Têm como representantes os celacantos, piramboia, *Neoceratodus* e *Protopterus*.

Figura 3.16 – Réplica do celacanto *Latimeria chalumnae*



Fonte: <<https://goo.gl/4vyTEp>>. Acesso em: 18 dez. 2017.



Pesquise mais

Para conhecer mais acerca da classificação dos peixes, consulte a bibliografia:

HICKMAN Jr, C. P. et al. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 570.

Adaptações morfofuncionais dos peixes (adaptações de órgãos de locomoção, adaptações do sistema respiratório dos peixes)

A locomoção dos peixes se dá através de um mecanismo propulsor da musculatura do tronco e cauda, que é constituída por miômeros, com os músculos arranjados em “W” ou zigue-zague. Esse arranjo da musculatura com a coluna vertebral propicia a execução

de um movimento natatório ondulado, forte e controlado. Células mucosas presentes na pele produzem muco que auxiliam na redução do atrito com a água. Em contrapartida, a água suporta o peso do animal, com isso ocorre menos gasto de energia para neutralizar a força gravitacional.

Os peixes são mais pesados que a água, tendendo a afundar com facilidade, mas não o fazem devido à presença da bexiga natatória, que regula o volume de gás, ajudando na flutuação, sem esforço muscular. Na locomoção, além do mecanismo propulsor da musculatura, as nadadeiras auxiliam na manutenção da posição e direcionamento do movimento. Já a respiração ocorre com auxílio das brânquias, estruturas eficientes na extração de oxigênio do ambiente, cobertas e protegidas pelo opérculo, que atua como um sistema bombeador da água da cavidade oral em direção às brânquias. A ação de bombeamento nas cavidades oral e opercular cria uma pressão positiva através das brânquias movendo a água para o meio externo.

Para obterem água e suprirem a alta demanda de oxigênio, alguns peixes pelágicos, tais como atum, cavala e tubarões, precisam nadar continuamente, com a boca aberta, criando uma ventilação forçada pelas brânquias, processo denominado ventilação hidráulica.

Os peixes de água doce são reguladores hiperosmóticos, pois realizam a regulação osmótica da seguinte forma: a água é mais diluída que o sangue dos peixes e, com isso, ela entra no corpo dos peixes através de osmose e os sais são liberados para o meio externo através das brânquias por difusão. O ganho e perda de água, são regulados através de mecanismos de defesa, o excesso de água é eliminado pelos rins que produzem urina diluída em grande quantidade e para reposição do sal perdido por difusão, o epitélio branquial possui células que absorvem sal.

Nos peixes marinhos, que são os reguladores hiposmóticos, a água é menos diluída, ou seja, é mais concentrada que o sangue desses animais. Dessa forma, na regulação osmótica, a água tende a sair por osmose e os sais tendem a entrar através das brânquias. Como mecanismo de compensação, os peixes bebem água do mar e eliminam o excesso de sais por intermédio das células secretoras de sais presentes no epitélio branquial, excretado através das fezes e urina concentrada.

Os peixes constituem o grupo mais numeroso e diversificado dos vertebrados. O sucesso de toda essa diversidade se deve às diferentes formas de adaptações morfofuncionais apresentadas, tais como locomoção, fluabilidade e respiração, que os possibilita explorar e viver em todos os ambientes aquáticos.

Nossa próxima jornada fará uma escala no mundo dos anfíbios, outro interessante grupo dos vertebrados. Então, nos vemos na próxima seção, até logo!



Pesquise mais

Para complementar seus conhecimentos sobre os peixes, consulte as bibliografias:

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. p. 101-117.

POUGH, F.H.; JANIS, C.M.; HEISER, J.B. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. p. 118-155.

Sem medo de errar

Caro aluno, tendo como base os conceitos adquiridos nessa seção, vamos retomar a situação-problema descrita no item Diálogo Aberto em que Gisele, em seu estágio no museu, foi incumbida de organizar o acervo dos peixes. Por conta da diversidade de espécies existentes de peixes, Gisele decidiu rever alguns conceitos antes de iniciar os trabalhos. Vale lembrar que a organização do acervo é importante, pois toda semana o museu recebe excursões de colégios do ensino fundamental e médio. Para que consiga organizar o acervo da melhor forma possível para apresentá-lo aos alunos, optou por elaborar uma rápida apresentação multimídia, com as características principais dos diversos tipos de peixes. Vamos auxiliar a Gisele em sua nova tarefa?

Para que possamos auxiliar Gisele e responder aos questionamentos, precisamos rever alguns aspectos dos peixes tais como, classificação e as principais características morfológicas desses espécimes. Os peixes cartilaginosos são denominados *Chondrichthyes*, divididos em

dois subclados: *Elasmobranchii* representada pelos tubarões e raias, e *Holocephali* composta pelas quimeras.

As principais características dos condrictes são: presença do endoesqueleto inteiramente cartilaginoso, ausência de bexiga natatória ou pulmões, sistema sensorial (audição, visão e recepção de vibrações) bem desenvolvido. Seu corpo é fusiforme ou achatado ventralmente; tegumento com escamas placoides ou pele nua, fendas brânquias expostas ou cobertas por opérculo, nadadeira caudal heterocerca, exceto em quimeras (nadadeira homocerca). Nadadeiras dorsais, peitorais e pélvicas, pares ou ímpares; nos machos as nadadeiras pélvicas se modificam em órgãos copuladores (cláspes).

Os *Chondrichthyes* possuem sexos separados e a reprodução é sexuada com fertilização interna e desenvolvimento direto. Os peixes ósseos (ou *Osteichthyes*) são vertebrados gnatóstomados que se dividem em duas classes: *Actinopterygii*, representada pelos peixes de nadadeiras raiadas, e *Sarcopterygii*, cujos representantes são os peixes de nadadeiras lobadas. Possuem ampla distribuição em todos os ambientes aquáticos e perfazem o grupo mais diversificado dentre os vertebrados.

Os osteictes se caracterizam por apresentarem formatos corpóreos variados, com escamas ósseas e cores diferenciadas. A nadadeira caudal normalmente é do tipo homocerca, com exceção dos peixes pulmonados, em que nadadeira caudal é difercerca. Nadadeiras pares e ímpares (dorsal, peitoral, pélvica e anal) sustentadas por lepdotríquia. Endoesqueleto ósseo de origem endocondral, bexiga natatória para a flutuação e brânquias cobertas por opérculo. Sistema circulatório adaptado, circulação simples em actinopterygeos e dupla em sarcopterygeos, hemácias nucleadas. Três canais semicirculares relacionados com o equilíbrio do corpo, com sexos geralmente separados, fecundação externa ou interna (em alguns espécimes).

Os *Actinopterygii* possuem cerca de 27 mil espécies presentes em todos os ambientes aquáticos; os *Sarcopterygii* constituem um grupo pequeno com 8 espécies viventes. Os actinopterygeos compreendem as subclasses: *Cladistia*, composta pelos bichires, *Chondrostei*, representada pelos peixes-espátula e esturjões, e *Neopterygii*, composta pelos *Lepisosteus*, *Amia* e teleósteos.

Os sarcopterygeos compreendem as subclasses *Coelacanthimorpha*, representada pelos celacantos (*Latimeria*), e *Dipnoi*, representada pelos

peixes pulmonados, como a piramboia (*Lepidosiren*), *Neoceratodus* e *Protopterus*.

Além desses conceitos, não podemos nos esquecer das adaptações morfofuncionais dos peixes, que possuem mecanismo de propulsão da musculatura disposta em "W" promovendo a locomoção, forte e controlada. A pele possui células mucosas produtoras de muco que ajudam a reduzir o atrito com a água, suportando o peso do animal e, com isso, ocorre menos gasto de energia para neutralizar a força da gravidade.

Presença de bexiga natatória que auxilia na flutuação. A locomoção também é auxiliada pelas nadadeiras que ajudam na manutenção da posição e direção do movimento.

A respiração ocorre com auxílio das brânquias, cobertas e protegidas pelo opérculo, que atua como um sistema bombeador da água da cavidade oral em direção às brânquias.

Nos peixes a regulação da pressão osmótica se dá através da osmose e difusão de água e sais, através das brânquias. Os peixes de água doce são hiperosmóticos e peixes marinhos são hiposmóticos.

Com base nos conceitos abordados, tanto Gisele como você, caro aluno, estão aptos a responder aos questionamentos e elaborar a apresentação multimídia que os auxiliará a explicar as principais características dos peixes, ressaltando as diferenças entre peixes cartilagosos e peixes ósseos.

Faça valer a pena

1. O grupo dos peixes é considerado o mais numeroso e diversificado dos vertebrados, sendo composto pelos peixes cartilagosos e pelos peixes ósseos.

Os *Chondrichthyes* são os peixes cartilagosos que se dividem em duas subclasses, *Elasmobranchii* e *Holocephali*.

Escolha a alternativa que apresenta os nomes dos representantes dos *Elasmobranchii* e dos *Holocephali*.

- a) *Elasmobranchii*: quimeras e raias; *Holocephali*: tubarões.
- b) *Elasmobranchii*: tubarões e quimeras; *Holocephali*: raias.
- c) *Elasmobranchii*: tubarões e raias; *Holocephali*: quimeras.
- d) *Elasmobranchii*: tubarões; *Holocephali*: raias e quimeras.
- e) *Elasmobranchii*: raias; *Holocephali*: tubarões e quimeras.

2. *Osteichthyes* são peixes que apresentam endoesqueleto ósseo, de origem endocondral. Possuem ampla distribuição em todos os ambientes aquáticos e perfazem o grupo mais diversificado dentre os vertebrados gnatostomados. Os peixes ósseos são divididos em dois clados, os *Actinopterygii* e os *Sarcopterygii*.

Assinale a alternativa que apresenta as subclasses do actinoptérgios e dos sarcoptérgios.

- a) *Actinopterygii*: *Cladistia*, *Coelacanthimorpha* e *Neopterygii*; *Sarcopterygii*: *Condrostei* e *Dipnoi*.
- b) *Actinopterygii*: *Cladistia*, *Condrostei* e *Dipnoi*; *Sarcopterygii*: *Coelacanthimorpha* e *Neopterygii*.
- c) *Actinopterygii*: *Cladistia*, *Neopterygii* e *Dipnoi*; *Sarcopterygii*: *Coelacanthimorpha* e *Condrostei*.
- d) *Actinopterygii*: *Coelacanthimorpha*, *Condrostei* e *Neopterygii*; *Sarcopterygii*: *Cladistia* e *Dipnoi*.
- e) *Actinopterygii*: *Cladistia*, *Condrostei* e *Neopterygii*; *Sarcopterygii*: *Coelacanthimorpha* e *Dipnoi*.

3. Os peixes constituem o grupo mais numeroso e diversificado dos vertebrados gnatostomados. Essa diversidade de formas e adaptações morfofuncionais apresentadas lhes proporcionou sucesso que os possibilita explorar e viver em todos os ambientes aquáticos.

Quais são as adaptações morfofuncionais presentes nos peixes?

- a) Mecanismo de propulsão da musculatura para promoção da locomoção, bexiga natatória que auxilia na flutuação, respiração através de sistema bombeador de água do opérculo em direção às brânquias, regulação osmótica por meio de osmose e difusão de água e sais.
- b) Mecanismo de retração da musculatura para promoção da locomoção, bexiga natatória que auxilia na flutuação, respiração através de sistema sugador de água do opérculo em direção às brânquias, regulação osmótica por meio de transporte ativo de água e sais.
- c) Mecanismo de propulsão da musculatura para promoção da locomoção, bexiga natatória que auxilia na flutuação, respiração através de sistema sugador de água do opérculo em direção às brânquias, desregulação osmótica por meio de osmose e difusão de água e sais.
- d) Mecanismo de retração da musculatura para promoção de repouso, bexiga natatória que auxilia na flutuação, respiração através de sistema bombeador de água do opérculo em direção às brânquias, regulação osmótica por meio de transporte ativo de água e sais.
- e) Mecanismo de retração da musculatura para promoção de repouso, bexiga natatória que auxilia na flutuação, respiração através de sistema bombeador de água do opérculo em direção às brânquias, regulação osmótica por meio de transporte ativo de água e sais.

Seção 3.3

Anfíbios

Diálogo aberto

Caro aluno! Seja bem-vindo à mais uma etapa da nossa jornada ao mundo dos vertebrados! Antes de iniciarmos nosso interessante aprendizado, vamos retomar a situação hipotética apresentada no convite ao estudo. No museu, Gisele teve contato com o acervo dos anfíbios, que incluíam fotos, gravuras e animais empalhados. Para explicar os aspectos mais importantes aos alunos, ela decidiu elaborar um roteiro de aula com as explicações, além de mostrar-lhes o acervo. Vamos auxiliá-la nessa tarefa? Quais são as características mais importantes sobre os anfíbios que devem ser abordadas? Como futuro professor, como você faria essa abordagem enquanto elabora o roteiro de aula? Quais são as linhagens distintas dos anfíbios? Sugira locais em que os anfíbios podem ser encontrados facilmente.

Não pode faltar

Origem dos anfíbios

Derivado do grego *amphi* (ambos) e *bio* (vida), o termo anfíbio significa vida em ambos os meios, aquática e terrestre. Registros fósseis e estudos sugerem que os anfíbios tenham surgido há cerca de 400 milhões de anos no período Devoniano, dando origem aos *Temnospondyli*, anfíbios primitivos que se diversificaram, sendo os primeiros vertebrados a transitar pelo ambiente terrestre. No período Carbonífero surgiram os *Lissamphibia*, que se diversificaram e, posteriormente no Triássico Superior, originando os ancestrais dos três grandes grupos atuais dos anfíbios que compreendem os sapos, rãs, pererecas, salamandras e as cecílias.

Existem cerca de 7.782 espécies de anfíbios que estão distribuídas nas três ordens de anfíbios atuais. De acordo com a classificação científica, os anfíbios pertencem ao reino *Animalia*, filo *Chordata*, superclasse *Tetrapoda*, classe *Amphibia*, que possui duas subclasses: *Temnospondyli* (anfíbios primitivos; extintos) e *Lissamphibia* (anfíbios

modernos). A subclasse *Lissamphibia* compreende três ordens: *Gymnophiona*, *Urodela* e *Anura*.

- **Ordem *Gymnophiona*:** do grego *gymnos* (nu) e *ophineos* (cobra), possuem corpo alongado. Pela ausência de patas, o grupo foi também chamado de Apoda. Os espécimes de *Gymnophionas* são chamados de cecílias, por possuírem corpo alongado e pele segmentada e fossoriais, em muitos locais são também confundidas com cobras-cegas e minhocas gigantes. A ordem é dividida taxonomicamente em 10 famílias, sendo conhecidas cerca de 207 espécies.

Figura 3.16 | *Siphonops annulatus*



Legenda: espécie de cecília mais encontrada na América do Sul, inclusive no Brasil.

Fonte: <<https://goo.gl/5eUgMh>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

- **Ordem *Urodela*:** do grego *oura* (cauda) e *delos* (evidente), também chamada Caudata, pela presença da cauda bem evidente. Abrange cerca de 10 famílias e 709 espécies, representados pelas salamandras. Em 2013 foram descobertas três novas espécies de salamandras na Amazônia brasileira, que se juntam às duas espécies catalogadas anteriormente: *Bolitoglossa parensis* e *Bolitoglossa altamazonica*. As novas salamandras descobertas foram batizadas como *Bolitoglossa caldwellae*, *Bolitoglossa madeira* e *Bolitoglossa tapajonica*.

Figura 3.17 | *Bolitoglossa caldwellae* (salamandra amazônica)



Fonte: <<https://goo.gl/617F3F>>. Acesso em: 1 nov. 2017.

- **Ordem Anura:** do grego *an* (sem) e *oura* (*cauda*). A ordem Anura é mais abrangente dos anfíbios, sendo constituída por aproximadamente 55 famílias e 6866 espécies. Os anuros são representados por sapos, rãs e pererecas.

Figura 3.18 | Sapo-boi (*Rhinella schneideri*)



Legenda: foto tirada em Entre-Rios (MG).

Fonte: <<https://goo.gl/Aw3QN2>>. Acesso em: 31 nov. 2017.

Entre 2015 e 2017 foram descobertas 8 novas espécies de rãs em território brasileiro. A maioria são endêmicas, encontradas apenas na região da Mata Atlântica (Brasil), e são pequenas – medem de 9 a 13 mm.

Figura 3.19 | *Brachycephalus verrucosus*



Legenda: uma das rãs descobertas em solo brasileiro.

Fonte: <<https://goo.gl/RQguvJ>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

Pesquisas atuais, incluindo pesquisadores brasileiros, têm identificado novas espécies de pererecas. Recentemente foi identificada a primeira perereca fluorescente do mundo, a *Hypsiboas punctatus*. Essa espécie de perereca já havia sido identificada, mas nada se sabia acerca da sua fluorescência. A *Hypsiboas* é uma perereca arborícola típica da América do Sul, podendo ser encontrada no Pantanal brasileiro.

Figura 3.20 | *Hypsiboas punctatus* (perereca fluorescente)



Fonte: <<https://goo.gl/Fa79RY>>. Acesso em: 2 nov. 2017.

Há pouco tempo outra perereca foi descoberta e recebeu o nome de *Scinax onca* (perereca-onça) por apresentar o dorso marrom claro com manchas e pontos escuros que se assemelham à onça pintada (*Panthera onca*), considerado o maior predador da América do Sul, muito frequente na região na Floresta Amazônica. Outra característica desse anuro recém-descoberto é o fato de o padrão de manchas presentes no adulto, também estarem presentes e bem visíveis nos girinos.



Exemplificando

Os anfíbios pertencem à classe *amphibia* que compreende duas subclasses: *Temnospondyli*, representada pelos anfíbios primitivos (extintos), e *Lissamphibia*, cujos representantes são os anfíbios atuais.

A subclasse *Lissamphibia* possui três ordens: *Gymnophiona*, representada pelas cecílias, *Urodela* composta pelas salamandras e *Anura* constituída por sapos, rãs e pererecas.

Evolução dos anfíbios

A evolução dos anfíbios está diretamente relacionada à transição da água para a terra. A conquista do ambiente terrestre levou milhões de anos, adquirindo importância significativa pelo fato da conquista de um ambiente totalmente desconhecido e inóspito. A transição de animais aquáticos para terrestres exigiu alterações de quase todos os órgãos, envolvendo a disponibilidade de oxigênio, mais abundante no ar do que na água. Para obtenção do oxigênio, pulmões e estruturas respiratórias sofreram as adaptações necessárias.

Devido ao fato de o ar ser menos resistente que a água, os animais tiveram que desenvolver membros fortes e esqueleto com estrutura adequada para suportar a ação da gravidade e se sustentarem em terra. Para suportar as constantes variações de temperatura e intempéries, os animais terrestres desenvolveram estratégias de proteção contra as quedas bruscas de temperatura, possuindo assim um sistema de termorregulação.

Além de proporcionar maior diversidade de habitats, desde florestas tropicais, boreais e temperadas a desertos e regiões polares, o ambiente terrestre também oferece maior proteção para os ovos e filhotes que ficam mais vulneráveis nos ambientes aquáticos.

Registros fósseis do período Devoniano, há 400 milhões de anos, dão evidências da evolução dos anfíbios a partir dos peixes pulmonados, que passaram por adaptações, como a aquisição de vesícula de ar cuja função era parecida à da bexiga natatória e narinas internas pares. O processo evolutivo prossegue e surgem os primeiros tetrápodes, o *Acanthostega* e o *Ichthyostega*, cujas adaptações foram a presença de membros articulados com elementos ósseos evidentes, cintura pélvica e escapular bem desenvolvidas, costelas reforçadas e direcionadas na parte ventral do corpo e modificações craniais. Essas adaptações levaram ao surgimento dos anfíbios primitivos, denominados *Temnospondyli*, caracterizados pela presença de membros posteriores com quatro dígitos. Estes, por sua vez, diferenciaram-se e deram origem à três linhagens de anfíbios: *Labirynthodontia*, *Lepospondyli* (ambos extintos) e *Lissamphibia* (anfíbios modernos).

Uma característica evolutiva dos anfíbios é a menor dependência da água tal como os peixes, mas, não são espécimes terrestres verdadeiros visto que necessitam viver em locais úmidos mesmo quando adultos, tanto para a reprodução quanto para evitar o ressecamento da pele e baixar a temperatura corpórea – já que são animais ectotérmicos.

Os primeiros anfíbios derivados dos *Lissamphibia* surgiram há cerca de 250 milhões de anos. Na ilha de Madagascar foram encontrados sedimentos fósseis datados do Período Triássico, cerca de 220 milhões de anos, de um anfíbio que apresentava a forma atual dos anuros, o *Triadobatrachus*.

Figura 3.21 | Fóssil de *Triadobatrachus*



Fonte: <<https://goo.gl/GJ6jQo>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Características dos anfíbios atuais

Os anfíbios atuais caracterizam-se pelo esqueleto quase totalmente ossificado, vértebras com número variável, costelas presentes, ausentes ou fusionadas. Existe grande variabilidade de formas do corpo entre as espécies; normalmente, as salamandras possuem cabeça, pescoço, tronco e cauda bem definidos. O corpo dos sapos é comprimido, com cabeça e tronco fusionados, pescoço sem distinção entre a cabeça e o tronco. Já o corpo das cecílias é longo e esguio, possuem vértebras, costelas e ânus terminal.

Os anfíbios possuem quatro apêndices organizados em dois pares: os apêndices anteriores, associados à cintura escapular, e os apêndices posteriores, associados à cintura pélvica. Alguns espécimes possuem apenas um único par de membros, enquanto que em outros os apêndices estão ausentes. Membranas interdigitais geralmente presentes, ausência de unhas ou garras verdadeiras. Geralmente, os membros anteriores apresentam quatro dedos, às vezes cinco ou menos.

O coração apresenta um seio venoso, com dois átrios, um ventrículo e um cone arterial. As veias e artérias pulmonares irrigam os pulmões (desde que estejam presentes) e retornam sangue oxigenado ao coração, caracterizando uma circulação dupla, num sistema fechado. A pele dos anfíbios é lisa, úmida e granular; o tegumento sofreu modificações para respiração cutânea. Presença de células pigmentares, denominadas cromatóforos que são comuns e consideravelmente variáveis. O tegumento também apresenta glândulas granulares que estão associadas à secreção de compostos de defesa. Alguns espécimes são aposemáticos e outros são miméticos.

A respiração é cutânea, podendo ser branquial e/ou pulmonar em algumas formas. De acordo com o estágio de desenvolvimento, a presença de brânquias e pulmões é variável entre as espécies. Durante o processo de metamorfose, alguns representantes de sapos com larvas perdem as brânquias. Em muitas salamandras, as brânquias permanecem e vivem num habitat aquático ao longo de toda a vida.

Os anfíbios têm como uma das principais características a capacidade de realizar metamorfose, que possibilita a transição desses espécimes de um meio aquático (que é o habitat dos girinos)

para o ambiente predominantemente terrestre (que é o habitat dos sapos, salamandras e cecílias).

A transformação do girino para o indivíduo adulto apresenta alterações morfológicas evidentes, como o desaparecimento da cauda e das brânquias e o surgimento dos apêndices. No ciclo de vida dos anuros, a fase larval é composta por três períodos: **pré-metamorfose**, em que os girinos aumentam de tamanho, mas ocorrem poucas mudanças na forma; **pró-metamorfose**, em que ocorrem o surgimento dos apêndices posteriores e, ritmo mais lento do crescimento corporal; e **clímax metamórfico**, quando ocorre o surgimento dos apêndices anteriores e regressão da cauda.

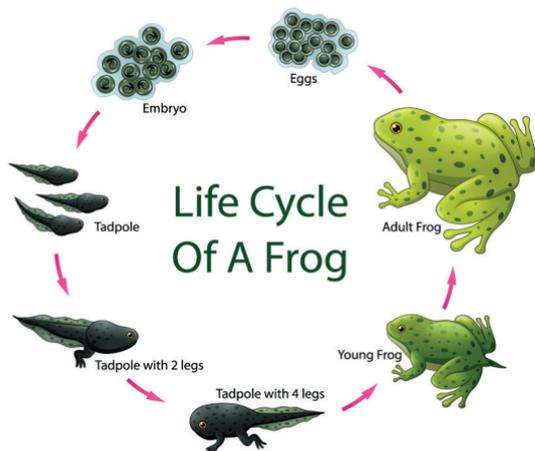
A hipófise produz o hormônio estimulador da tireóide que produz e libera tiroxina que controla as alterações que ocorrem nos anuros durante a metamorfose. Além das mudanças citadas anteriormente, também ocorrem mudanças na posição dos olhos, tamanhos da boca e do intestino.



Assimile

Metamorfose: do grego *metamórphosis*, que significa transformação, sendo *meta* (mudar) e *morfo* (forma).

Figura 3.22 | Ciclo de vida dos anuros



Legenda: *eggs* = ovos, *tadpole* = girino, *tadpole with 2 legs* = girino com dois apêndices, *tadpole with 4 legs* = girino com quatro apêndices, *young frog* = sapo jovem e *adult frog* = sapo adulto.

Fonte: iStock.

Outra característica presente nos anfíbios é a presença da ectotermia, ou seja, a temperatura corpórea depende da temperatura ambiental, não sendo controlada por calor proveniente de reações metabólicas. Um par de rins mesonéfricos ou opistonéfricos compõem o sistema excretor, que elimina ureia como excreta nitrogenado. O ouvido possui membrana timpânica e columela (osso correspondente ao estribo), importantes na transmissão de vibrações à orelha interna.

Os anfíbios possuem visão bem desenvolvida, com exceção das cecílias que têm visão deficiente ou são totalmente cegas. A principal superfície de refração da luz em meio aéreo é a pálpebra e não o cristalino. Os olhos apresentam pálpebras e glândulas lacrimais, com funções de proteção e lubrificação. Pequenos dentes compõem as maxilas ou apenas a maxila superior, com a boca grande em comparação com a do girino. A porção anterior da boca forma a cavidade nasal, onde se abrem duas narinas revestidas por epitélio olfativo e auxiliam na respiração dos espécimes que possuem pulmões funcionais.

Os anfíbios possuem sexos separados; na maioria dos sapos ocorre fertilização externa, e nas salamandras e cecílias a fertilização é interna – maioria ovíparos, mas também com indivíduos ovovivíparos ou vivíparos.

Habitats dos anfíbios atuais

Os espécimes de *Amphibia* habitam os mais variados ambientes, seja em florestas úmidas ou locais próximos da/na água. Os representantes de *Gymnophiona* são fossoriais ou aquáticos, e vivem em tocas (abaixo do solo), onde escavam e preparam os seus ninhos. Já as salamandras possuem espécimes que habitam o ambiente terrestre, principalmente sob rochas e tocos de bosques e, também possuem espécimes aquáticas.

Os anuros são os anfíbios mais diversificados em termos de habitat, podendo viver em locais próximos da água e úmidos, como pântanos, lagos e riachos. Os espécimes da ordem Anura apresentam adaptações morfológicas de acordo com os hábitos que possuem, seja terrestre, aquático, arborícola ou bromelícola (que depositam os ovos em bromélias).

Figura 3.23 | *Proceratophrys moratoi* (sapo-da-terra)



Legenda: endêmico da região de Botucatu (SP), essa espécie habita áreas abertas e brejosas.

Fonte: <<https://goo.gl/mccPQf>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Distribuição dos anfíbios atuais

Por apresentarem uma grande variedade de formas e hábitos desenvolvidos ao longo de sua evolução, os anfíbios possuem ampla distribuição geográfica (continental e cosmopolita), exceto em regiões de temperatura muito baixas e em ecossistemas marinhos. As cecílias, por exemplo, vivem em florestas tropicais da América do Sul onde predominam, mas também são encontradas na África, Índia e sudeste da Ásia.

As salamandras, por sua vez, são encontradas em praticamente todas as regiões temperadas do Hemisfério Norte, Europa, regiões central e sudeste da Ásia, com abundância na América do Norte (Estados Unidos e México), ocorrendo também em regiões tropicais como América Central e região norte da América do Sul, incluindo a Floresta Amazônica.

Os sapos, rãs e pererecas têm ampla distribuição, encontrados em regiões temperadas e tropicais do mundo todo, principalmente nas florestas tropicais.

Das 7.782 espécies de anfíbios, a ordem Anura abrange a maioria

das espécies catalogadas, incluindo cerca de 6866 espécies, a ordem Urodela (*Caudata*) possui cerca de 709 espécies e a ordem *Gymnophiona* compreende cerca de 207 espécies.

O Brasil possui a anfíbiofauna mais rica do planeta, com cerca de 1.080 espécies; os anuros brasileiros compreendem cerca de 1.039 espécies, 90 gêneros e 20 famílias, seguidos pelas cecílias com 36 espécies, 12 gêneros e 4 famílias, e por fim, as salamandras representadas por 5 espécies, que integram uma única família e gênero.

Apesar das constantes descobertas de novas espécies de anfíbios, muitas espécies estão enfrentando um declínio alarmante em várias partes do mundo. Espécies recém-descobertas já estão em risco de extinção, muitas delas, são extintas antes mesmo de serem catalogadas.



Refleta

Caro aluno, você faz ideia de qual ou quais causas têm levado as populações dos anfíbios ao declínio?

De que forma isso pode afetar a espécie humana?

Estudos sugerem que o declínio tem a contribuição de quatro fatores: aquecimento global, chuva ácida, aumento da radiação-ultravioleta e doenças como as causadas por vírus e por fungos.

Os anfíbios possuem um importante papel como bioindicadores de ambientes saudáveis, sendo afetados pela poluição cada vez mais abrangente devido ao aumento das áreas urbanas relacionado ao desmatamento desenfreado, comprometendo consideravelmente o habitat e a vida desses animais.

Prezado aluno, nessa seção você conheceu a origem e evolução dos anfíbios, bem como as características, os habitats e a distribuição dos anfíbios atuais. Estes se destacam entre os vertebrados, visto que foram os primeiros vertebrados a ocupar o ambiente terrestre, distribuindo-se amplamente pelos dois hemisférios, em ambientes aquático e terrestre.

Na próxima unidade daremos continuidade a nossa viagem exploratória ao fascinante mundo dos vertebrados e abordaremos aspectos relacionados aos mamíferos. Até breve!



Pesquise mais

Para aprofundar seus conhecimentos acerca dos anfíbios, consulte a bibliografia:

HICKMAN Jr., C. P. et al. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 573-593.

Sem medo de errar

Mediante os conceitos adquiridos na seção, podemos retomar a situação-problema exposta no item Diálogo Aberto, em que Gisele teve contato com o acervo dos anfíbios, que incluíam fotos, gravuras e animais empalhados. Para explicar os aspectos mais importantes aos alunos, Gisele decidiu elaborar um roteiro de aula com as explicações, além de mostrar-lhes o acervo.

Caro aluno, como futuro professor, quais são as características mais importantes sobre os anfíbios que devem ser abordadas? Quais são as linhagens distintas dos anfíbios? Sugira locais em que os anfíbios podem ser encontrados facilmente.

Para a solução dessa situação-problema é válido recordar os conceitos referentes à origem e evolução dos anfíbios. Você também deverá rever os conteúdos referentes às características dos anfíbios atuais, e ainda os habitats e distribuição dos mesmos.

Com base nos conceitos abordados, tanto Gisele como você, prezado aluno, estão aptos a elaborar um roteiro que os auxiliará a explicar as principais características dos anfíbios. Então, mãos à obra e bom estudo!

Faça valer a pena

1. Os anfíbios surgiram no período Devoniano, há aproximadamente 400 milhões de anos, dando origem aos anfíbios primitivos (*Temnospondyli*), estes se diversificaram e fizeram a transição para o ambiente terrestre. No período Carbonífero surgiram os *Lissamphibia*, que se diversificaram e posteriormente no Triássico Superior, deu origem aos ancestrais dos três grandes grupos atuais dos anfíbios.

A subclasse *Lissamphibia* é constituída por três ordens. Escolha a alternativa que indica os nomes das três ordens que constituem os anfíbios modernos.

- a) Anura, Testudinata, *Gymnophiona*.
- b) Urodela, Sphenodonta, *Gymnophiona*.
- c) Anura, Urodela, Testudinata.
- d)) Anura, Urodela, *Gymnophiona*.
- e) Anura, Urodela, *Gymnotiformes*.

2. As ordens Anura, Urodela (Caudata) e *Gymnophiona* constituem a subclasse *Lissamphibia*, que deu origem aos anfíbios atuais. A ordem Anura é a mais abrangente, com cerca de 6.866 espécies; a ordem Urodela possui cerca de 709 espécies e a ordem *Gymnophiona* é constituída por cerca de 209 espécies.

Indique a alternativa que apresenta os representantes das ordens Anura, Urodela e *Gymnophiona*, respectivamente.

- a) Anura: cecílias; Urodela: salamandras; *Gymnophiona*: sapos, rãs e pererecas.
- b) Anura: sapos, rãs e pererecas; Urodela: cecílias; *Gymnophiona*: salamandras.
- c) Anura: sapos, rãs e pererecas; Urodela: salamandras; *Gymnophiona*: cecílias.
- d) Anura: salamandras; Urodela: sapos, rãs e pererecas; *Gymnophiona*: cecílias.
- e) Anura: salamandras; Urodela: cecílias; *Gymnophiona*: sapos, rãs e pererecas.

3. Uma das principais características dos anfíbios é a capacidade de realizar metamorfose, que possibilita a transição desses espécimes de um meio aquático, que é o habitat dos girinos, para o ambiente terrestre, que é o habitat dos sapos, salamandras e cecílias.

Escolha a alternativa que indica, respectivamente, as três fases larvais da metamorfose dos anuros.

- a) Pré-metamorfose; metamorfose tardia, clímax metamórfico.
- b) Pré-metamorfose, pró-metamorfose e clímax metamórfico.
- c) Pró-metamorfose, metamorfose tardia e clímax metamórfico.
- d) Pré-metamorfose, pró-metamorfose e metamorfose tardia.
- e) Metamorfose, pró-metamorfose e metamorfose avançada.

Referências

- AMPHIBIAWEB. Amphibian species list. University of California. 2017. Disponível em: <<https://amphibiaweb.org/lists/index.shtml>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- DYSON, M. Novas espécies de rãs descobertas no Brasil são do tamanho de uma bala. **Galileu**, [online], jun. 2015. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2015/06/novas-especies-de-ras-descobertas-no-brasil-sao-do-tamanho-de-uma-bala.html>>. Acesso em: 6 dez. 2017.
- FROST, D. R.; AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY. Amphibian species of the world: an online reference. 2017. Disponível em: <<http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- GUIMARÃES, M. Anfíbio noturno brilha no escuro: fluorescência era considerada inexistente em vertebrados terrestres. **Pesquisa FAPESP**, [online], mar. 2017. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/03/13/anfibiо-noturno-brilha-no-escuro/>>. Acesso em: 7 dez. 2017.
- HICKMAN Jr., C. P. et al. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- KARDONG, K. V. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. São Paulo: Roca, 2010.
- POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.
- SEGALLA, M. V. et al. Brazilian amphibians: list of species. **Herpetologia Brasileira**, v. 5, n. 2, jul. 2016. Disponível em: <https://issuu.com/herpetologiabrasileirasbh/docs/hb_2016-02-g>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- VERDADE, V. K.; DIXO, M.; CURCIO, F. F. Os riscos de extinção de sapos, rãs e pererecas em decorrência das alterações ambientais. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 161-172, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/14pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2017.
- ZAKOS, E. Nova perereca é descoberta em rodovia abandonada no Brasil. **National Geographic Brasil**, [online], nov. 2017. Disponível em: <<http://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2017/11/nova-perereca-e-descoberta-em-rodovia-abandonada-no-brasil>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Biologia de Mammalia

Convite ao estudo

Caro aluno! Nesta unidade findamos os nossos estudos em zoologia dos vertebrados. Se relembrarmos as unidades anteriores, veremos que você passou pelo estudo da biologia dos Cordados, Amniotas, *Agnathas*, *Gnathostomatas*, Peixes, Répteis, Aves e Anfíbios, desde a origem, passando por aspectos morfofuncionais e evolutivos de todos esses animais vertebrados até nos depararmos com os mamíferos. Para fecharmos com chave de ouro, nesta unidade abordaremos os aspectos relacionados às características gerais dos *Mammalia*, tais como fundamentos da classificação, filogenia, organização, biogeografia, etologia e estratégias adaptativas morfofuncionais.

Ao final da unidade, tendo como base os aspectos abordados, estaremos aptos a conhecer: a origem e evolução dos mamíferos, a classificação e características gerais, os principais grupos de mamíferos, a sistemática de espécies, bem como, conhecer as adaptações quanto à regulação da temperatura, locomoção e coordenação, sistemas metabólicos e evolução da endotermia. Além disso, também conheceremos a classificação, características gerais dos monotremados, marsupiais e eutérios.

Para tornar o estudo dinâmico e estimulante, vamos analisar uma situação que irá te aproximar da realidade profissional. Gisele está aproveitando ao máximo o seu estágio no museu; de todos os setores pelos quais passou, se interessou pelos mamíferos, principalmente pela diversidade de espécies. Como seu estágio no museu está terminando, ela está pensando em solicitar um estágio em algum zoológico, mas para conseguir

a vaga, precisa se preparar e rever alguns conceitos tais como: quais as características que diferem os mamíferos de outros vertebrados? Quais aspectos evolutivos foram importantes para que os mamíferos obtivessem sucesso e conseguissem se manter vivos até os dias atuais? Vamos auxiliar a Gisele nessa interessante descoberta!

Tendo como base os conhecimentos sobre os Répteis, Aves, Peixes e Anfíbios, e os conhecimentos sobre os Mamíferos, ao final dessa unidade, você caro aluno, estará apto a elaborar, um catálogo destacando a morfologia e aspectos evolutivos dos Répteis, Aves, Peixes, Anfíbios e Mamíferos. Então, bons estudos!

Seção 4.1

Mamíferos

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo! Para que possamos dar continuidade à nossa fantástica jornada ao mundo dos vertebrados, retomaremos a situação hipotética apresentada no convite ao estudo em que Gisele, para conseguir uma vaga como estagiária no zoológico, deverá ter noções sobre manejo de animais de pequeno e grande porte, informações sobre hábitos alimentares, higiene e cuidados básicos. Para dar o pontapé inicial, Gisele resolveu se inscrever num curso de extensão on-line, sobre os mamíferos. Tendo como base seus conhecimentos em zoologia dos vertebrados e, supondo que você fosse o professor do curso on-line, como você explicaria aos seus alunos do curso a origem e evolução dos mamíferos? Qual a classificação e principais características dos mamíferos? Quais os principais grupos de mamíferos a serem abordados nesse curso de extensão?

Não pode faltar

Origem dos mamíferos

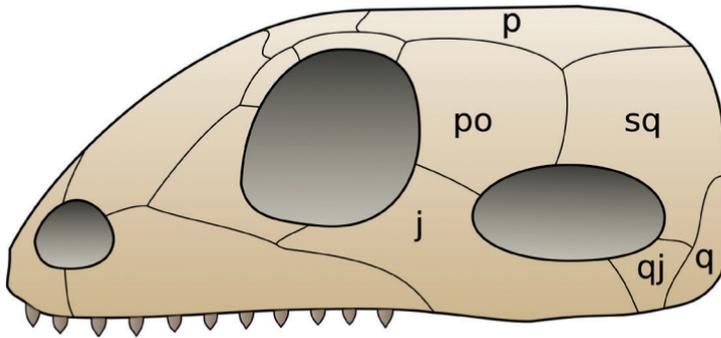
Olá, caro aluno! Passaremos agora a conhecer um pouco mais sobre os mamíferos, animais vertebrados que apesar de não constituírem o grupo mais numeroso em espécies, é considerado o mais complexo e interessante pela sua diversidade corpórea e caracteres adaptativos desenvolvidos. Os mamíferos descendem dos *Synapsida*, grupo amniota que surgiu no período Carbonífero Superior da Era Paleozóica, e foram os primeiros amniotas a se diversificarem amplamente no ambiente terrestre.



Lembre-se

Synapsida: caracterizam-se por apresentarem um único par de fenestras temporais no crânio, compreendem os mamíferos e seus ancestrais.

Figura 4.1 | Padrão de fenestração temporal dos sinapsídeos



Legenda: j: osso jugal, p: osso parietal, po: osso pós-orbital, q: osso quadrado, qj: osso quadrado jugal, sq: osso esquamosal.

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skull_synapsida_1.svg>. Acesso em: 1 nov. 2017.

Os primeiros sinapsídeos deram origem aos pelicossauros, que originaram o único grupo dos sinapsídeos a sobreviver após a Era Paleozóica, os terapsídeos, que se diversificaram em vários grupos, dentre eles o dos cinodontes.

Os cinodontes representam a transição entre os sinapsídeos não-mamíferos e os mamíferos. São observados vários caracteres mamalianos nos cinodontes mais especificamente nos tritelodontídeos, colocando-os como possíveis ancestrais dos mamíferos.

Descobertas recentes de fósseis, inclusive na região Sul do Brasil, possibilitaram novas pesquisas acerca da ancestralidade dos mamíferos. Fósseis de dois cinodontes do Triássico Superior foram encontrados na região de Santa Maria (RS), e demonstraram que os espécimes apresentavam características anatômicas que podem classificá-los, através de mais estudos, como ancestrais mais próximos dos mamíferos primordiais. A princípio, os pequenos cinodontes foram denominados *Brasiléterio* e *Brasilodonte*, e são considerados grupo-irmão dos mamíferos. Os fósseis achados no Brasil são importantes, pois ajudam os pesquisadores a entenderem melhor o processo de transição dos sinapsídeos em direção aos mamíferos.

Figura 4.2 | *Brasilitherium riograndensis* – cinodonte pertencente ao grupo-irmão dos mamíferos



Fonte: <<https://goo.gl/NwhG7z>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

No período Triássico apareceram os primeiros mamíferos, que possuíam tamanho pequeno e se assemelhavam a camundongos ou musaranhos, e diversificaram-se amplamente a partir do período Cretáceo e da Era Cenozóica.

Figura 4.3 | *Morganucodon watsoni* – mamífero do início do período Jurássico

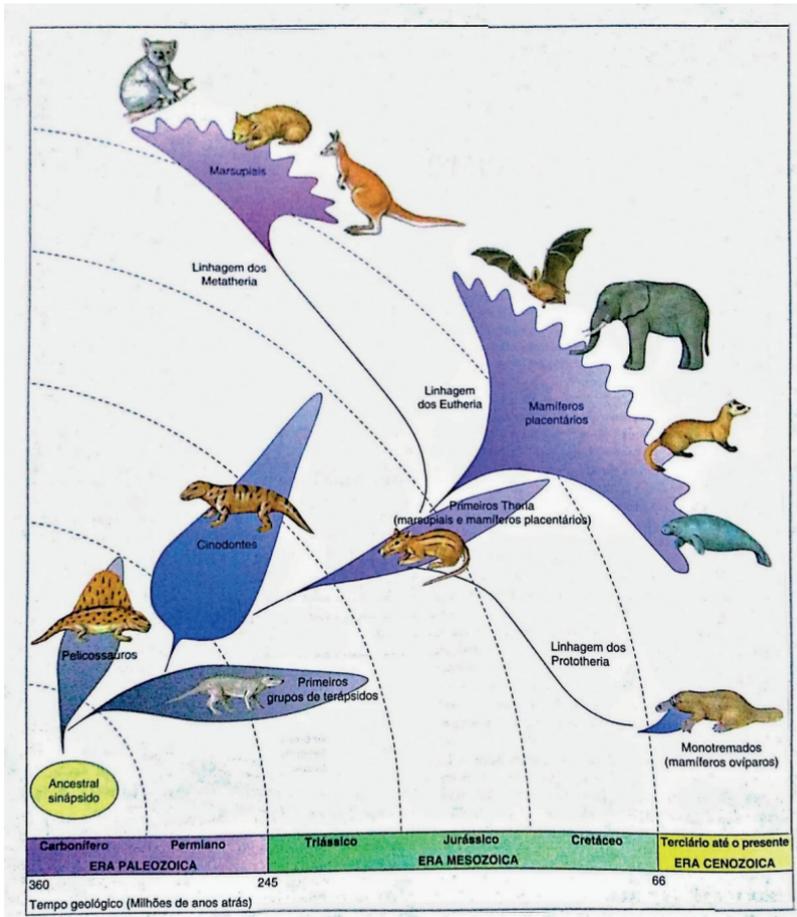


Fonte: <<https://goo.gl/3mLyji>>. Acesso em> 15 nov. 2017.

A Era Mesozóica apresentou dois grandes períodos em que houve a diversificação dos mamíferos, a primeira radiação se deu no final do período Jurássico até o início do Cretáceo, que deu origem às formas de transição do réptil para o mamífero, chamadas por alguns pesquisadores de mamaliformes, cujos representantes não sobreviveram além da Era Mesozóica.

A segunda radiação ocorreu no início do período Cretáceo, abrangendo os mamíferos mais derivados, que incluíam os mamíferos verdadeiros ou térios.

Figura 4.4 | Origem evolutiva dos principais grupos de sinapsídeos até os grupos de mamíferos atuais



Fonte: Hickman (2013, p. 648).

Evolução dos mamíferos

O processo evolutivo dos mamíferos, a partir dos cinodontes aos primeiros mamíferos do período Triássico Superior, está relacionado às diversas adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais que deram origem aos mamíferos atuais.

A presença de glândulas mamárias nas fêmeas que secretam leite, e que serve de alimento aos filhotes, além do cuidado parental que pode perdurar por longo período, deram nome ao grupo, e são caracteres evolutivos exclusivos do grupo dos mamíferos.

O tegumento dos mamíferos evoluiu de acordo com o modo de vida do animal. A pele é composta por epiderme e derme, possui anexos, dentre os quais os pelos que podem recobrir ou não todo o corpo dos mamíferos e têm função de isolante térmico, proteção mecânica, coloração e impermeabilização à água. Além das glândulas mamárias, a pele dos mamíferos também apresenta glândulas sudoríparas que têm função de resfriar o corpo através da eliminação do suor por evaporação e glândulas odoríferas utilizadas nas interações sociais como por exemplo, determinação de território ou atração do sexo oposto durante o período de acasalamento, glândulas sebáceas cuja secreção oleosa serve para lubrificar a pele.

Dentre as adaptações observadas destacam-se também a evolução da articulação das maxilas e dos ossos da orelha média, na orelha média os ossos, quadrado e articular, sem função na articulação das maxilas, passando a transmitir vibrações sonoras na orelha média, diferenciando-se nos ossos bigorna e martelo, respectivamente.



Refleta

Caro aluno, você faz ideia de como os diferentes hábitos alimentares podem estar relacionados com a evolução dos mamíferos?

Nos mamíferos a mandíbula é composta por um único osso denominado osso dentário. O padrão de dentição também sofreu alteração passando a difiodonte em que os dentes são trocados apenas uma vez. Os dentes são heterodontes, ou seja, são diferenciados quanto ao formato e funções que executam, sendo observados quatro tipos de dentes: incisivos, caninos, pré-molares e molares.

Os mamíferos também apresentam especializações alimentares que evoluíram de acordo com os seus hábitos alimentares, que são diversos por conta da exploração da enorme variedade de fontes de alimentos, em diversos ambientes. Os hábitos alimentares têm influência direta na forma e fisiologia corpórea dos mamíferos, que

são divididos em quatro categorias tróficas. Os insetívoros possuem dentes pontiagudos que auxiliam a perfurar o exoesqueleto de insetos e outros invertebrados de pequeno porte. Os dentes dos herbívoros são especializados em triturar celulose e plantas ricas em sílica, o trato digestório desses mamíferos possui regiões especializadas que servem de abrigo para microrganismos capazes de digerir celulose. As adaptações dos mamíferos carnívoros incluem especializações dos músculos maxilares e dos dentes, que têm função no abate e processamento das presas – principalmente em animais herbívoros. Mamíferos onívoros são animais que se alimentam tanto de plantas quanto de animais e apresentam variedade de tipos de dentes.

Outra característica evolutiva dos mamíferos é a presença da endotermia que, junto com os pelos, auxilia na termorregulação.



Assimile

Mamíferos apresentam especializações alimentares de acordo com os hábitos alimentares. Possuem quatro categorias tróficas:

- Insetívoros.
- Herbívoros.
- Carnívoros.
- Onívoros.

Os primeiros mamíferos eram pequenos e desenvolveram hábitos noturnos, como forma de proteção, visto que dividiam o ambiente terrestre com os sauropsídeos, mais especificamente os dinossauros que dominaram o período Cretáceo. Com a extinção de vários grupos de diápsídeos no final do Cretáceo, os mamíferos se diversificaram rapidamente, ocupando os mais variados habitats. Se atribui à essa diversificação a agilidade a endotermia, a capacidade adaptativa, a viviparidade e o cuidado parental, este proporcionando proteção e alimento ao filhote e, com isso, afastando a vulnerabilidade, como em outros espécimes de ovos em ninhos.

Classificação dos mamíferos

Segundo a classificação científica atual são reconhecidas

cerca de 5.488 espécies que compreendem 412 subespécies. O número de espécies sofre alteração constante, visto que a cada ano são descobertas novas espécies. Estudos moleculares, mais especificamente análise filogenética das sequências de DNA, têm corroborado nas alterações da classificação das ordens de mamíferos atuais.

O Brasil é o segundo maior país em diversidade de espécies de mamíferos vivos, com cerca de 648 espécies catalogadas, ficando atrás apenas da Indonésia, que possui 670 espécies de mamíferos.

Os mamíferos vivos estão classificados, de forma simplificada, em Reino *Animalia*, filo *Chordata*, subfilo *Vertebrata*, superclasse *Tetrapoda*, classe *Mammalia* que possui duas subclasses: a *Protheria*, que compreende a ordem *Monotremata*, e a *Theria*. Esta, por sua vez, possui duas infraclasses: a *Metatheria*, que abrange as ordens *Didelphimorphia*, *Paucituberculata*, *Microbiotheria*, *Dasyuromorphia*, *Peramelemorphia*, *Notoryctemorphia* e *Diprotodontia*, e a infraclasse *Eutheria*. Esta última é composta por quatro superordens: a superordem *Afrotheria*, composta pelas ordens **Afrosoricida**, *Macroscelidea*, *Tubulidentata*, *Proboscidea*, *Hyracoidea* e *Sirenia*, a superordem *Xenarthra* (antigamente denominada *Edentata*) que abrange as ordens *Cingulata* e *Pilosa*, a superordem *Euarchontoglires* (também chamados *Suprprimates*) composta pelas ordens *Dermoptera*, *Scandentia*, *Primates*, *Lagomorpha* e *Rodentia*. Superordem *Laurasiatheria*, constituída pelas ordens *Soricomorpha*, *Erinaceomorpha*, *Chiroptera*, *Pholidota*, *Carnivora*, *Perissodactyla*, *Artiodactyla* e *Cetacea*.



Pesquise mais

Para conhecer mais sobre a classificação dos mamíferos, consulte a bibliografia:

HICKMAN Jr, C. P. *et al.* Mamíferos. In: **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

Características gerais dos mamíferos

Os mamíferos se caracterizam geralmente por apresentarem corpo coberto por pelos em grande parte, mas alguns espécimes

apresentam quantidade reduzida de pelos. O tegumento possui glândulas sudoríparas, odoríferas, sebáceas e mamárias, além de uma camada subcutânea de tecido adiposo.

O crânio apresenta dois côndilos occipitais e palato secundário; entre os ossos esqueléticos há articulação das maxilas. A orelha média é composta por três ossículos, o martelo, a bigorna e o estribo. Os mamíferos possuem sete vértebras cervicais, com exceção das preguiças e dos peixes-boi; os ossos pélvicos são fusionados.

A dentição dos mamíferos é difiodonte, ou seja, os dentes de leite ou decíduos são substituídos por uma dentição permanente. Normalmente, os mamíferos também apresentam dentição heterodonte, os dentes variam quanto à estrutura e função, exceto em alguns animais, como os tamanduás, animais desprovidos de dentes. A maxila inferior é constituída por um único osso, chamado osso dentário.

As pálpebras são móveis e as orelhas são carnudas. O sistema circulatório se caracteriza pela presença de um coração com quatro câmaras, sendo dois átrios e dois ventrículos; o arco aórtico persiste, e o sangue possui hemácias bicôncavas e anucleadas.

Pulmões com alvéolos e laringe constituem o sistema respiratório. A passagem do ar e do alimento é separada pelo palato secundário, formado pela porção anterior óssea, dura e continuação posterior mole (palato mole). Presença do músculo diafragma que separa as cavidades torácica e abdominal durante respiração; o ar inspirado é umidificado e aquecido pelos ossos turbinados situados na cavidade nasal.

Rins metanéfricos e ureteres que geralmente desembocam numa bexiga, constituem o sistema excretor dos mamíferos.

O sistema nervoso constitui-se de um encéfalo altamente desenvolvido, principalmente a região do córtex cerebral. Também estão presentes 12 pares de nervos cranianos. O sentido do olfato nos mamíferos também é muito desenvolvido. Os mamíferos também se caracterizam pela endotermia e homeotermia.

Outra característica presente nos mamíferos é a presença de sexos separados; os órgãos reprodutores são constituídos normalmente por pênis, testículos, ovários, ovidutos e útero. A determinação sexual se dá por cromossomos distintos, X e Y,

em que a heterogamia é característica do macho que apresenta cromossomos XY e a fêmea é homogamética XX.

Nos mamíferos a fertilização é interna, com desenvolvimento dos embriões no útero através de ligação placentária, com exceção dos monotremados; membranas extraembrionárias (âmnio, córion e alantoide) também estão presentes. O leite produzido pelas glândulas mamárias serve de alimento aos filhotes.

Principais grupos de Mamíferos

Os mamíferos atuais se dividem em duas subclasses: *Prototheria* e *Theria*. Os prototérios compreendem os monotremados, mamíferos que põem ovos. Seus representantes são os ornitorrincos e as equidnas.

Figura 4.5 | *Ornithorhynchus anatinus*



Legenda: ornitorrinco pertencente à ordem Monotremata, da subclasse *Prototheria*.

Fonte: <<https://goo.gl/xekpu7>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

Os térios compreendem os metatérios ou marsupiais, sendo representados pelos gambás, cuícas, musaranhos, monito-del-monte, diabos-da-tasmânia, lobos-da-tasmânia (extintos), *bandicoots*, toupeiras-marsupiais, coalas, vombates, cangurus.

Figura 4.6 | *Didelphis albiventris*



Legenda:gambá-de-orelha-branca, um marsupial pertencente à ordem *Didelphimorphia*, da subclasse *Theria*.

Fonte: <<https://goo.gl/PbZmfU>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

Os eutérios (ou mamíferos placentários) compreendem os tenrecos, toupeiras-douradas, musaranhos-elefante, *aardvark* (porco-da-terra), elefantes, hírax, peixes-boi, dugongos, tatus, bichos-preguiça, tamanduás, lêmures-voadores ou colugos, tupaia ou musaranhos-arborícolas, prossímios, macacos, grandes macacos, humanos, lêmures, coelhos, lebres, pikas, esquilos, ratos, marmotas, hamster, lêmingues, castores, ouriços, musaranhos, toupeiras, morcegos, pangolim, cães, lobos, raposas, coiotes, gatos, leões, tigres, pumas, lincas, onças, ursos, doninhas, focas, leões-marinhos, morsas, guaxinins, martas, cangambás, texugos. Além dos cavalos, asnos, zebras, antas, rinocerontes, porcos, catetos, camelos, veados, girafas, hipopótamos, antílopes, bois, carneiros, cabras, baleias, golfinhos e toninhas.



Legenda: sagui-imperador pertencente à ordem Primates, da infraclasse *Eutheria*.

Fonte: <<https://goo.gl/MXWYUD>>. Acesso em: 22 dez. 2017.



Exemplificando

Atualmente, os mamíferos se dividem em dois subclados:

- *Prototheria*: constituída pelos monotremados.
- *Theria*: constituída pelos marsupiais e mamíferos placentários (eutérios).

Caro aluno, nesta seção foram abordados conceitos referentes à origem, evolução e classificação dos mamíferos, bem como as características gerais e os principais grupos dos mamíferos atuais. Na próxima seção iremos aprofundar nossos conhecimentos acerca dos mamíferos, mais especificamente sobre suas características adaptativas. Até breve!

Sem medo de errar

Caro aluno, após a exposição dos conceitos gerais sobre os mamíferos, podemos retomar a situação-problema em que Gisele visando a vaga de estagiária no zoológico, se inscreve num curso de extensão online sobre mamíferos, visto que no estágio ela deverá

ter noções sobre manejo de animais de pequeno e grande porte, informações sobre hábitos alimentares, higiene e cuidados básicos. Supondo que você fosse o professor do curso e baseando-se em seus conhecimentos em zoologia dos vertebrados, como você explicaria aos alunos do curso a origem e evolução dos mamíferos? Quais os principais grupos de mamíferos a serem abordados nesse curso de extensão?

Para a solução dessa situação-problema é válido recordar os conceitos sobre a origem e evolução dos mamíferos. Os mamíferos são derivados dos sinapsídeos e foram os primeiros amniotas a se diversificar de forma ampla pelo ambiente terrestre.

Os primeiros sinapsídeos deram origem aos terapsídeos, que por sua vez, originaram os cinodontes, representantes da transição entre os sinapsídeos não-mamíferos e os mamíferos, e são considerados como possíveis ancestrais dos mamíferos.

Registros fósseis mostram que os térios, primeiros mamíferos surgiram no período Triássico e, possuíam tamanho pequeno e semelhantes a camundongos ou musaranhos, podemos citar o *Morganucodon*, um mamífero primitivo do início do período Jurássico.

Dentre as diversas adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais que originaram os mamíferos atuais que estão relacionadas com seu processo evolutivo dos mesmos, podemos destacar pele recoberta total ou parcialmente por pelos, presença de glândulas, dentre elas as glândulas mamárias, cuidado parental, evolução das maxilas e dos ossos da orelha média. Dentição difiodonte e heterodonte, associada à diversificação dos hábitos alimentares, proporcionando a aquisição de especializações alimentares dividindo os mamíferos em insetívoros, herbívoros, carnívoros e onívoros. A endotermia está associada aos pelos e atua na termorregulação.

Vale lembrar que os mamíferos possuem como características gerais pelos recobrando o corpo, glândulas mamárias, pulmões com alvéolos, coração com quatro câmaras, encéfalo desenvolvido, endotermia e homeotermia, sexos separados, fertilização interna, desenvolvimento embrionário intrauterino, exceto em monotremados, placenta e membranas extraembrionárias (âmnio, córion e alantoide).

Atualmente, são reconhecidas aproximadamente 5.488 espécies

catalogadas de mamíferos, com 412 subespécies. Esse número sofre alteração constantemente, pois novas espécies são descobertas a cada ano. Além disso, estudos moleculares tais como análise filogenética das sequências de DNA têm contribuído nas alterações da classificação das ordens de mamíferos atuais.

A classe *Mammalia* atualmente encontra-se dividida em dois subclados: *Prototheria*, constituída pela ordem *Monotremata* e *Theria*, constituída pelas subclasses *Methateria* e *Eutheria*.

Os monotremados são representados pelos ornitorrincos e equidnas, e os térios têm como representantes os metatérios ou marsupiais, tais como gambás, cuícas, coalas, vombates, cangurus, entre outros. Os eutérios são representados pelos mamíferos placentários, dentre eles podemos citar os elefantes *aardvark*, peixes-boi, tatus, tamanduás, bichos-preguiça, lêmures, macacos, homem, saguis, gorilas, coelhos, esquilos, morcegos, cães, gatos, cavalos, baleias, dentre outros.

Com base nos conceitos abordados, você como futuro professor estará apto a explicar tanto para a Gisele como para os demais alunos, a origem e evolução dos mamíferos, bem como os principais grupos de mamíferos a serem abordados no curso, ou seja, os prototérios (monotremados) e os térios (metatérios ou marsupiais e, os eutérios ou placentários).

Faça valer a pena

1. De acordo com classificação científica, atualmente existem em torno de 5.488 espécies catalogadas de mamíferos. Esse número sofre constante alteração, devido ao fato de a cada ano novas espécies serem descobertas com o auxílio de estudos moleculares, como por exemplo, a análise das seqüências de DNA.

Escolha a alternativa que expressa, de forma simplificada, a classificação atual dos mamíferos.

- a) A classe *Mammalia* é dividida em duas subclasses, *Prototheria* constituída pelos monotremados e *Theria*, constituída pelos eutérios e holotérios.
- b) A classe *Mammalia* é dividida em duas subclasses, *Prototheria* constituída pelos monotremados e *Theria*, constituída pelos prototérios e eutérios.
- c) A classe *Mammalia* é dividida em duas subclasses, *Prototheria* constituída

pelos eutérios e *Theria*, constituída pelos metatérios e monotremados.

d) A classe *Mammalia* é dividida em duas subclasses, *Prototheria* constituída pelos metatérios e *Theria*, constituída pelos monotremados e eutérios.

e) A classe *Mammalia* é dividida em duas subclasses, *Prototheria* constituída pelos monotremados e *Theria*, constituída pelos metatérios e eutérios.

2. A evolução dos mamíferos no período Triássico Superior, a partir dos cinodontes até os primeiros mamíferos, está relacionada com diversas adaptações morfológica, fisiológicas e comportamentais que originaram os mamíferos. Essas adaptações, por sua vez, expressam características visíveis nos mamíferos atuais.

Escolha a alternativa que indica algumas das características gerais dos mamíferos.

a) Pelos, glândulas mamárias, pulmões sem alvéolos, coração com três câmaras, fertilização externa, entre outras.

b) Pelos, glândulas mamárias, pulmões sem alvéolos, coração com duas câmaras, fertilização interna, entre outras.

c) Pelos, glândulas mamárias, pulmões com alvéolos, coração com quatro câmaras, fertilização interna, entre outras.

d) Ausência de pelos, glândulas mamárias, pulmões com alvéolos, coração com quatro câmaras, fertilização interna, entre outras.

e) Pelos, ausência de glândulas, pulmões com alvéolos, coração com três câmaras, fertilização interna, entre outras.

3. Durante o processo evolutivo, os mamíferos também apresentaram especializações alimentares, relacionadas à diversidade de hábitos alimentares, estes têm influência direta na forma e fisiologia corpórea dos mamíferos e foram adquiridos por conta da exploração de novos habitats.

Indique a alternativa que expressa os níveis tróficos dos mamíferos.

a) Insetívoros, veganos, carnívoros e saprófitos.

b) Insetívoros, herbívoros, carnívoros e onívoros.

c) Zooplânctônicos, herbívoros, carnívoros e onívoros.

d) Insetívoros, fitoplânctônicos, carnívoros e onívoros.

e) Insetívoros, saprófitos, carnívoros e onívoros.

Seção 4.2

Características adaptativas dos mamíferos

Diálogo aberto

Olá, caro aluno! Seja bem-vindo! Antes de iniciarmos nosso aprendizado sobre as características adaptativas dos mamíferos, vamos retomar a situação hipotética apresentada no convite ao estudo.

Gisele concluiu o curso de extensão em mamíferos e com os conhecimentos adquiridos, pleiteou uma vaga como estagiária no zoológico de uma cidade próxima. Passadas algumas semanas, ela finalmente foi aprovada e agora é a nova estagiária do Zoológico Municipal. Assim como no museu, o zoológico recebe excursões de colégios de ensino fundamental e médio e cursos de ensino superior, pelo menos três vezes por semana. Como Gisele é comunicativa, foi designada a recepcionar os alunos e explicarlhes os aspectos adaptativos dos mamíferos. Para concluir a tarefa com êxito, decidiu elaborar seu roteiro de aula no qual se depara com alguns questionamentos: quais as características principais dos mamíferos relacionados aos aspectos sociais, adaptações, locomoção e coordenação? Como se dá a regulação dos sistemas metabólicos e a evolução da endotermia nos mamíferos? Vamos ajudá-la a elaborar o roteiro da aula?

Não pode faltar

Sistemática de espécies de mamíferos

A sistemática de espécies de mamíferos atuais tem passado por alterações constantes, desde os primeiros modelos de classificação propostos por pesquisadores no século XVIII que dividiam os *Mammalia* em dois grandes grupos que compreendiam os mamíferos aquáticos e terrestres. No século XIX, com a descoberta dos monotremados, o grupo foi novamente dividido em *Prototheria* abrangendo os monotremados e *Theria*, compreendida pelos metatérios e eutérios, essa classificação foi aceita até o século XX.

Dois fatores têm contribuído para as alterações da classificação

dos mamíferos atuais, a mudança da filosofia de classificação para a sistemática filogenética e o avanço dos estudos moleculares, principalmente do sequenciamento de DNA nuclear ou mitocondrial que têm propiciado a obtenção de dados e consensos sobre os arranjos taxonômicos da classificação.



Assimile

Sistemática: é o campo da biologia que se dedica ao inventário, descrição, classificação e estudo das relações filogenéticas entre as espécies que compõem nossa biodiversidade. A sistemática se divide em duas grandes áreas, a taxonomia e a filogenética.

Taxonomia: é uma disciplina da biologia que define os grupos biológicos, baseando-se nas características comuns, nomeando esses grupos. A taxonomia se preocupa com o desenvolvimento dos métodos e com a prática da classificação, bem como com as regras de nomenclatura biológica.

Relações filogenéticas: relações "evolutivas" entre espécies e grupos de espécies, definidas pelo compartilhamento de espécies ancestrais.

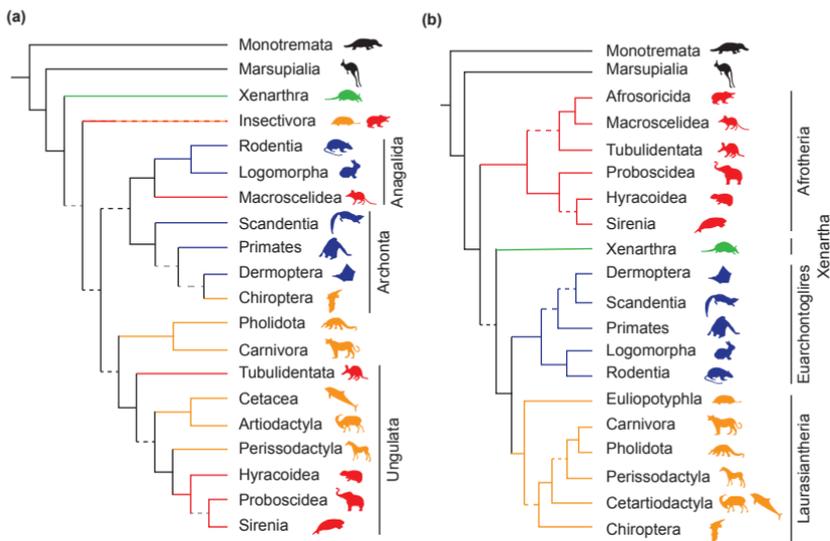
A proposta mais recente de classificação se baseia em estudos moleculares apresentando quatro grupos ou linhagens de mamíferos placentários que possuíam um ancestral comum. De acordo com a IUCN (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*), atualmente são reconhecidas cerca de 5.500 espécies de mamíferos, sendo que em 2008 haviam cerca de 5.488 espécies, com aproximadamente 412 subespécies catalogadas. A cada ano novas espécies são descobertas e dados obtidos em estudos moleculares são confrontados com dados morfológicos para que uma nova classificação seja estabelecida. Além disso, achados fósseis de novas espécies também são importantes para implementar e inferir dados adicionais aos estudos.

A classificação atual apresenta 29 ordens reconhecidas, incluindo uma ordem de monotremados, sete ordens de marsupiais e 21 ordens de placentários ou eutérios, conforme a Figura 4.1.

Importante ressaltar três considerações acerca dessa nova classificação: através dos estudos moleculares foi demonstrado que a

antiga ordem *Insectivora* é polifilética, ocasionando com isso a inserção de seus membros em outras três ordens: *Afrosoricida*, *Erinaceomorpha* e *Soricomorpha*. A antiga ordem *Edentada* foi elevada a superordem sendo também chamada de *Xenarthra*, sendo composta pelas ordens *Cingulata* e *Pilosa*. Alguns pesquisadores agrupam as ordens *Artiodactyla* e *Cetácea* numa única ordem, a *Cetartiodactyla*.

Figura 4.8 | Filogenias das ordens de mamíferos viventes



Legenda:(a) cladograma a partir de informações morfológicas e (b) cladograma a partir de informações moleculares.

Fonte: Springer et al. (2004).

Adaptações de mamíferos – regulação da temperatura (resistência ao calor)

Em oposição aos répteis, que não possuem condições de manter a temperatura do corpo constante durante a noite, os mamíferos têm capacidade de produzir calor internamente e conseguem manter a temperatura corporal constante, seja durante o dia ou a noite, sendo chamados de endotérmicos.

Os mamíferos possuem tanto hábitos diurnos como noturnos, e muitas espécies conseguem explorar e sobreviver em regiões frias, ao contrário dos animais ectotérmicos, que perdem calor para

o meio ambiente e precisam de uma temperatura favorável para sua sobrevivência.

A temperatura dos mamíferos atuais é regulada por mecanismos bem conhecidos, e o alto nível metabólico permite a produção do calor internamente. Para reduzir a perda do calor, os mamíferos possuem uma camada subcutânea de tecido adiposo e pelos que formam uma camada de isolamento.

A perda de calor pode se dar através do aumento na quantidade do fluxo sanguíneo e resfriamento provocado pela evaporação do suor produzido pelas glândulas sudoríparas ou pela respiração ofegante. A evaporação da água por meio das vias respiratórias ou respiração ofegante é um importante mecanismo de resfriamento em mamíferos com pele espessa, que possuem poucas glândulas sudoríparas e, em alguns roedores, cujas glândulas sudoríparas estão ausentes.

Fazendo uso dos mecanismos de termorregulação, os *Mammalia* podem manter a temperatura corporal mais alta do que a temperatura ambiente em torno de 10 °C, sem consumo adicional de oxigênio, caracterizando a zona térmica neutra que é limitada pelas temperaturas críticas inferior e superior. A temperatura corporal pode ser mantida, além da temperatura crítica, através de gasto metabólico maior. Em temperatura crítica inferior, o aumento do consumo de oxigênio demanda uma produção de calor além da necessária para a manutenção da temperatura corpórea. O calafrio, produzido pela atividade involuntária dos músculos superficiais, é um mecanismo que aumenta a produção de calor, a atividade metabólica também aumenta em muitas partes do corpo. Em temperatura crítica superior o aumento no consumo de oxigênio também requer um trabalho metabólico adicional, que se faz necessário na dissipação do calor. Ocorre aumento das frequências cardíaca e circulatória na pele, em alguns mamíferos se observa o aumento da sudação e em outros, a respiração ofegante.

Os mamíferos possuem receptores térmicos na pele que indicam modificações na temperatura ambiental, fazendo com que ocorram ajustes parciais por mudanças no comportamento. O hipotálamo, principal centro de controle, responde a pequenas mudanças na temperatura sanguínea e dá início às trocas necessárias ao ajuste da perda de calor e à produção do mesmo para o contexto ambiental.



Endotermia: capacidade de gerar calor internamente por meio de reações metabólicas e contrações musculares.

Homeotermia: capacidade de conservar a temperatura corpórea estável, não importando a temperatura ambiente.

A manutenção da homeotermia se deve à alta taxa metabólica gerada pela intensa combustão de alimento energético nas células ou às trocas de calor com o ambiente. Vale ressaltar que, a maioria dos animais homeotérmicos são também endotérmicos e vice-versa.

Adaptações para resistência ao frio

Adaptações que complementam a regulação térmica foram desenvolvidas por mamíferos que vivem em áreas onde as condições ambientais são rigorosas, como as regiões frias. Para a manutenção da homeotermia, os *Mammalia*s utilizam dois mecanismos: diminuição da condutividade em que a perda de calor se dá através do aumento da eficácia do isolamento, e aumento da produção de calor.

A diminuição da condutividade ocorre através das mudas dos pelos, que aumentam em torno de 50% no inverno, tornando-se mais espessos e formando a principal camada de isolamento. Apesar do corpo possuir boa cobertura, os membros e extremidades do corpo não possuem bom isolamento possuindo uma temperatura que pode ficar abaixo da temperatura interna do corpo. Para que as extremidades não se congelem e não haja perda de calor, os mamíferos possuem um mecanismo de troca de calor contracorrente entre o sangue arterial, quente que vai para a periferia do corpo, e o sangue frio, venoso que retorna evitando a perda de calor.

Além da troca de calor contracorrente, os mamíferos que vivem em regiões muito frias podem produzir mais calor por meio do aumento da atividade muscular, seja através de exercícios ou tremores. Outra fonte de calor se dá através da termogênese sem tremores, em que o calor é obtido pela oxidação dos alimentos principalmente dos estoques de gordura marrom.

Alguns mamíferos de pequeno porte como morcegos e roedores mantém a temperatura corporal alta enquanto estão ativos, mas quando estão dormindo ou estão inativos, diminuem profundamente

a temperatura corpórea. Esse mecanismo é denominado **torpor diário**, uma hipotermia adaptativa que permite enorme economia de energia.

Nas regiões árticas e temperadas, muitos mamíferos de pequeno e médio porte conseguem se adaptar ao inverno entrando num estágio de dormência prolongada e controlada, chamada hibernação.



Refleta

Caro aluno, você tem ideia de como a hibernação atua no processo de regulação da temperatura nos mamíferos?

Durante a **hibernação** o metabolismo é bem reduzido, sendo suficiente apenas para a manutenção da vida e evitar o congelamento do corpo. A hibernação traz vantagens para os pequenos mamíferos endotérmicos, visto que apresentam atividade metabólica mais intensa do que animais de grande porte. Pelo tamanho diminuto, esses pequenos mamíferos perdem grande quantidade de calor através da superfície corporal e, com isso, precisam consumir mais alimento para manutenção da temperatura corpórea.



Atenção

Alguns mamíferos como os ursos, texugos, guaxinins e gambás não hibernam verdadeiramente. Eles entram em um estado de sono prolongado no inverno, quando a temperatura corpórea pode permanecer constante, com pouca ou nenhuma diminuição da temperatura.

Durante o inverno, em muitas regiões, o alimento se torna escasso havendo necessidade de adequação da temperatura corporal através da diminuição das reservas alimentares ou migrando para regiões com clima mais quente. Pequenos mamíferos como roedores conseguem permanecer ativos durante todo o inverno vivendo abaixo da neve, em túneis protegendo-os e evitando o frio da superfície que pode atingir temperaturas bem menores do que no microclima abaixo da neve.

Alguns mamíferos de grande porte migram sazonalmente para regiões com clima mais favorável.

Figura 4.9 | *Marmota flaviventris* – roedor endotérmico com capacidade de hibernação



Fonte: <<https://goo.gl/iS5Dxu>>. Acesso em: 8 jan. 2018.

Adaptações para resistência ao calor

Os mamíferos que vivem em regiões desérticas também apresentam adaptações especiais que auxiliam na manutenção da temperatura corporal mais baixa, evitando com isso a perda excessiva da água do corpo. Os pequenos mamíferos, como os ratos do deserto, são notívagos e fossoriais vivendo num micro-habitat fresco, úmido e a alimentação se baseia em alimentos ricos em gordura cuja oxidação produz água metabólica em quantidade considerável.



Vocabulário

Notívago: animal que possui hábito noturno, ou seja, é ativo durante a noite.

Fossorial: animal que tem hábito de escavar e viver em tocas, abaixo do solo.

Mamíferos de grande porte, como os elefantes, possuem uma grande superfície corpórea que fornece alguma estabilidade térmica, as orelhas grandes e com poucos pelos atuam como radiadores e auxiliam na dissipação do calor. Os camelos são os mamíferos do deserto mais adaptados ao clima, pois desenvolveram diversas

maneiras de conservar água. Além disso, conseguem tolerar temperatura corpórea de 41 °C durante o dia, fato esse que não exige que percam muita água na manutenção da temperatura corporal mais baixa. Durante a noite a queda da temperatura ambiental auxilia no resfriamento do corpo. Somente quando o corpo atinge a temperatura de 41 °C, o aumento de temperatura é controlado pelo resfriamento por evaporação através da transpiração e respiração ofegante. Além desses mecanismos de controle de temperatura, os grandes mamíferos do deserto minimizam a perda de água através da eliminação de excretas com grandes concentrações de ureia e sais minerais – alguns animais possuem fezes praticamente secas. A pelagem normalmente é clara e brilhante, refletindo a luz e constituindo um ótimo isolamento de resistência ao calor.

Outra adaptação apresentada por alguns mamíferos é a capacidade de entrar em dormência durante o verão, também conhecida por **estivação** ou sono do verão, em que as taxas respiratórias e o metabolismo diminuem quando a temperatura atinge picos muito elevados, havendo escassez de alimento e risco de desidratação.

Figura 4.10 | *Camelus dromedarius* – mamífero endotérmico do deserto



Fonte: <<https://goo.gl/3Kp9FG>>. Acesso em: 8 jan. 2018.



Quando os recursos estão escassos, os mamíferos endotérmicos possuem mecanismos de depressão metabólica para a economia de energia.

Torpor: também chamado de hipotermia adaptativa, a temperatura corporal é reduzida profundamente e o animal fica inerte.

Hibernação: no inverno rigoroso, o metabolismo é bem reduzido, sendo suficiente apenas para a manutenção da vida e evitar que o congelamento corpóreo.

Estivação: capacidade de entrar em dormência durante o verão, havendo diminuição das taxas respiratórias e metabólicas.

Locomoção e coordenação

A endotermia torna possível o aumento de atividade que está relacionado intimamente com as mudanças que ocorrem em todos os sistemas de órgãos. O sistema esquelético apresenta maior atividade e agilidade, mesmo em mamíferos primitivos do período Triássico.

Mamíferos quadrúpedes se caracterizam pela inclinação posterior das apófises das vértebras torácicas e inclinação das apófises das vértebras lombares, que estão relacionadas ao abandono das ondulações laterais do tronco durante a locomoção. O tronco possui os cotovelos e os joelhos que se moveram mais para perto de forma que as patas se estenderam para baixo, na região mais inferior do corpo, proporcionando melhor sustentação mecânica, maior potencial para um balanço mais longo dos apêndices, aumento do tamanho do passo e maior velocidade. Os mamíferos primitivos possuíam postura plantígrada, ou seja, andavam sobre as plantas dos pés.

A maioria dos mamíferos possui três vértebras sacrais que proporcionam o fortalecimento da articulação entre a cintura pélvica e a coluna vertebral. Algumas espécies possuem cauda que é utilizada pelos arborícolas para balançar e, no caso dos mamíferos aquáticos como a baleia, a cauda atua na propulsão do corpo. Na maioria das espécies de mamíferos, a cauda perdeu a função primitiva de locomoção e normalmente tem tamanho reduzido ou está ausente.

Os diferentes modos de vida deram origem a muitos padrões especializados de locomoção que se desenvolveram durante a radiação adaptativa dos mamíferos. Esses padrões mais complexos de locomoção, tais como o comportamento mais explorador e ágil, necessitam de uma musculatura mais complexa e sistemas sensitivo e nervoso mais desenvolvidos. Supõe-se que os mamíferos primitivos apresentavam olfato e audição bem aguçados.

O crânio passou por modificações ao se expandir para alojar a cóclea do ouvido através do desvio da articulação mandibular para os ossos dentários e escamosos, e especialização dos ossos da articulação da mandíbula dos primeiros reptilianos em ossos martelo e bigorna, que são ossos da audição.

Espécies ancestrais noturnas não tinham uma visão muito eficiente, mas espécies diurnas tinham olhos bem desenvolvidos.

O cérebro é grande, extraordinariamente desenvolvido, o córtex cinza possui centros que se associam aos receptores sensoriais dos órgãos dos sentidos e a importantes centros motores. A coordenação motora é mais complexa devido ao cerebelo mais desenvolvido.

Sistemas metabólicos

A manutenção do alto nível metabólico, requer dos mamíferos obtenção de grandes quantidades de suprimentos de alimento e oxigênio, eliminação de grande volume de produtos residuais e transporte eficaz de substâncias através do corpo.

Os mamíferos possuem dentição melhor adaptada do que a dos répteis para o processamento de diversos tipos de alimentos. Os dentes são mais especializados, a dentição é heterodonte. Os dentes incisivos estão situados na parte anterior da mandíbula e são usados para cortar, os caninos são longos e utilizados para atacar, ferir presas ou como defesa. Os pré-molares e molares têm função de dilacerar, cortar e triturar o alimento.

Mamíferos jovens nascem sem dentes e são amamentados, quando o animal começa a se alimentar sozinho uma dentição de leite ou decídua se desenvolve. Conforme a mandíbula aumenta de tamanho, os dentes de leite são substituídos gradualmente pelos dentes permanentes maiores e surgimento dos molares, havendo melhor oclusão.

Durante a mastigação os alimentos são misturados com a saliva, produzida pelas glândulas salivares, que lubrificam os alimentos e contém uma enzima digestiva (a amilase) que inicia a digestão dos carboidratos. O processo de digestão prossegue no estômago e posteriormente no intestino delgado que, possui grande quantidade de microvilosidades intestinais que aumentam a superfície de contato importante para a absorção dos nutrientes.

O desenvolvimento dos alvéolos pulmonares possibilita as trocas gasosas entre oxigênio e dióxido de carbono, e aumentam consideravelmente a superfície respiratória dos pulmões. O desenvolvimento do músculo diafragma aumenta a eficácia da ventilação.

O palato secundário separa as vias aéreas e digestórias na cavidade bucal e na faringe, permitindo uma respiração quase contínua, esta é essencial para os organismos com alto nível metabólico, o alimento pode ser manipulado na boca sem prejuízo da respiração.

O sistema de transporte interno de substâncias é bem desenvolvido nos *Mammalia*, principalmente no que se refere à entrada, utilização e excreção. O coração dos mamíferos é completamente dividido, possuindo quatro câmaras que impedem a mistura do sangue venoso e arterial. A circulação mais rápida e eficiente se deve ao aumento da pressão sanguínea.

O sistema excretor nos mamíferos é bem desenvolvido, pois a perda de água é mínima, ou seja, aproximadamente 99% da água que desce para os túbulos renais são absorvidos posteriormente. As grandes quantidades de resíduos a serem eliminados se devem ao alto nível metabólico dos mamíferos.

Evolução da endotermia

A evolução dos mamíferos endotérmicos, supõe-se que tenha ocorrido em duas etapas: primeiramente os mamíferos se tornaram termorreguladores noturnos; posteriormente passaram a termorreguladores diurnos.

Pesquisadores sugerem que os mamíferos mais primitivos que viveram nos períodos Triássico superior e Jurássico inferior eram pequeno, se assemelhando a um rato. A dentição desses espécimes era adaptada para essa alimentação insetívora, baseada

na ingestão de insetos noturnos. A região coclear do ouvido e dos órgãos olfatórios localizada no crânio era muito elaborada, pois estes sentidos são particularmente importantes para os mamíferos noturnos.

Para que pudessem ser ativos durante a noite, em temperaturas ambientais de 25 a 30 °C, acredita-se que os mamíferos primitivos produzissem calor interno a fim de evitar sua perda por intermédio de camadas isolantes de gordura subcutânea e pele. É bem provável que eles não consigam manter a temperatura corpórea muito mais alta do que as temperaturas dos ambientes em que vivem.

Como exemplo de insetívoro noturno contemporâneo, podemos citar o porco-espinho europeu, um ouriço denominado *Erinaceus europaeus* que mantém a temperatura corporal apenas poucos graus abaixo da temperatura ambiental noturna.

Figura 4.11 | *Erinaceus europaeus*, porco-espinho europeu



Fonte: <<https://www.istockphoto.com/br/foto/o-ouri%C3%A7o-corre-ao-longo-do-caminho-verde-gm810533478-131145389>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

Quando se tornaram diurnos alguns mamíferos primitivos tiveram que adaptar suas atividades a temperaturas diurnas altas, necessitando de um resfriamento considerável por evaporação e perda de água, para que pudessem manter a temperatura corporal tão baixa quanto a dos seus ancestrais noturnos, ou seja, em torno de

25 a 30 °C. Mamíferos diurnos possuem uma temperatura corpórea mais alta, cerca de 35 a 40 °C. A manutenção da temperatura em períodos mais frios demanda mais gasto de energia, quando seu metabolismo chega a ser três a quatro vezes mais intenso do que em répteis de tamanho similar, sob condições semelhantes.

Caro aluno, nessa seção pudemos conhecer um pouco mais sobre as características adaptativas dos mamíferos, tais como a sistemáticas de espécies, termorregulação, locomoção e coordenação, sistemas metabólicos e evolução da endotermia.

Na próxima seção, nossa viagem ao mundo dos vertebrados fará sua última escala em que poderemos conhecer um pouco mais sobre os monotremados, marsupiais e eutérios. Então, nos vemos em breve. Até logo!



Pesquise mais

Para aprofundar seus conhecimentos acerca da endotermia, consulte a seguinte bibliografia:

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Endotermia: uma abordagem dos processos vitais de alta energia. In: _____. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. p. 578-604.

Sem medo de errar

Tendo como base os conceitos adquiridos nessa seção, vamos retomar a situação-problema descrita no Diálogo Aberto, no qual Gisele finalizou o curso de extensão em mamíferos e com os conhecimentos adquiridos, pleiteou uma vaga como estagiária no zoológico de uma cidade próxima. Algumas semanas depois, ela finalmente foi aprovada, e agora é a nova estagiária do Zoológico Municipal que também recebe excursões de colégios de ensino fundamental e médio e cursos de ensino superior, pelo menos três vezes por semana. Gisele é comunicativa e irá recepcionar os alunos e explicar-lhes os aspectos adaptativos dos mamíferos. Para obter êxito nessa tarefa, decidiu elaborar seu roteiro de aula, mas se depara com alguns questionamentos: quais as características principais dos mamíferos relacionados aos aspectos sociais, adaptações, locomoção e coordenação? Como se dá a regulação dos sistemas metabólicos e a evolução da endotermia nos mamíferos? Vamos

ajudá-la a elaborar o roteiro da aula?

Para resolver essa situação-problema tanto você quanto Gisele terão que revisar os conceitos referentes à sistemática de espécies de mamíferos, atentando aos novos modelos de classificação que têm utilizado estudos moleculares como sequenciamento de DNA e cujos dados têm sido de grande importância na descoberta de novas espécies. Além disso, vocês também deverão focar nas adaptações dos mamíferos frente à regulação da temperatura, resistência a calor, e também dos mecanismos de locomoção, coordenação e sistemas metabólicos que são importantes para a evolução e manutenção da endotermia.

Com base nos conceitos abordados, tanto a Gisele como você estão aptos a elaborar o roteiro de aula, levando os alunos a refletirem sobre a importância desses conceitos no processo de evolução dos mamíferos.

Faça valer a pena

1. Nas regiões árticas e temperadas quando as condições ambientais estão extremas, levando a escassez de alimento, muitos mamíferos de pequeno e médio porte fazem uso de recursos adaptativos para conseguirem se ajustar ao inverno e sobreviver entrando num estágio denominado hibernação.

Escolha a alternativa que define a hibernação nos mamíferos.

- a) Durante a hibernação o metabolismo é bem aumentado, sendo suficiente apenas para a manutenção da vida e evitar que o congelamento do corpo.
- b) Durante a hibernação o metabolismo é bem reduzido, sendo suficiente apenas para a manutenção da vida, entretanto, não evita o congelamento do corpo.
- c) Durante a hibernação o metabolismo é bem reduzido, sendo suficiente apenas para a manutenção da vida e evitar o congelamento do corpo.
- d) Durante a hibernação o metabolismo é bem aumentado, não sendo suficiente para a manutenção da vida e favorecendo o congelamento do corpo.
- e) Durante a hibernação o metabolismo se mantém constante, havendo a manutenção da vida e o aumento considerável da temperatura corporal.

2. A temperatura dos mamíferos atuais é regulada por mecanismos bem conhecidos, o alto nível metabólico permite a produção do calor internamente. Apesar da endotermia ser uma adaptação de alto custo

metabólico, ela também apresenta vantagens que são importantes no processo evolutivo dos mamíferos.

Indique a alternativa que retrata as principais vantagens da endotermia.

- a) Manutenção de altas temperaturas quando a energia solar está disponível, atividade noturna, atividade na primavera, atividade em ambientes muito frios, hipotermia não-adaptativa.
- b) Manutenção de baixas temperaturas quando a energia solar está disponível, atividade noturna, atividade no outono, atividade em ambientes muito frios, hipotermia adaptativa.
- c) Manutenção de altas temperaturas quando a energia solar não está disponível, atividade noturna, atividade no inverno, atividade em ambientes muito quentes, hipertermia adaptativa.
- d) Manutenção de altas temperaturas quando a energia solar não está disponível, atividade noturna, atividade no inverno, atividade em ambientes muito frios, hipotermia adaptativa.
- e) Manutenção de baixas temperaturas quando a energia solar não está disponível, atividade noturna, atividade no verão, atividade em ambientes muitos frios, hipertermia não-adaptativa.

3. A manutenção do alto nível metabólico, requer dos mamíferos a obtenção de grandes quantidades de suprimentos de alimento e oxigênio, a eliminação de grande volume de produtos residuais e o transporte eficaz de substâncias através do corpo.

Escolha a alternativa que expressa a importância do desenvolvimento do palato secundário nos mamíferos.

- a) O palato secundário separa as vias aéreas e digestórias permite uma respiração pausada, permitindo que o alimento possa ser manipulado na boca com prejuízo da respiração.
- b) O palato secundário separa as vias aéreas e digestórias, permite uma respiração quase contínua, permitindo que o alimento possa ser manipulado na boca sem prejuízo da respiração.
- c) O palato secundário separa as vias aéreas e digestórias, permite uma respiração quase contínua, impedindo que o alimento seja manipulado na boca sem prejuízo da respiração.
- d) O palato secundário une as vias aéreas e digestórias, e permite uma respiração quase contínua, impedindo que o alimento seja manipulado na boca sem prejuízo da respiração.
- e) O palato secundário separa as vias aéreas e digestórias, permite uma respiração pausada, mas impedindo que o alimento seja manipulado na boca acarretando em prejuízo da respiração.

Seção 4.3

Ordens: Monotremata, Marsupialia e infraclasse Eutheria

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo! Estamos finalizando mais uma unidade e com ela, a nossa disciplina. Nessa unidade, você estudou sobre a origem, evolução, classificação, características gerais e os principais grupos de mamíferos, bem como suas características adaptativas.

Para fecharmos nossas discussões sobre os mamíferos, vamos retomar nossa situação hipotética. O estágio no zoológico tem sido muito proveitoso e Gisele tem aprendido muito, principalmente desenvolvendo a prática como “professora”, visto que recebe semanalmente excursões de colégios e faculdades. Dessa vez, Gisele recebeu como visitantes sua turma do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, juntamente com o professor responsável pela disciplina de Zoologia. Gisele levou os colegas para conhecer o zoológico, e, nesse tour, aproveitou e expôs aos colegas algumas adaptações e especializações dos mamíferos e abordou aspectos sobre os Marsupiais, Monotremados e sobre os Eutérios. No final, Gisele solicitou aos alunos que elaborem um catálogo destacando a morfologia e os aspectos evolutivos dos vertebrados observados durante a visita. Para executar tal tarefa, seus colegas deverão observar atentamente os animais para que consigam reproduzi-los no catálogo. Além disso devem atentar para todas as informações e explicações dadas pelo professor e por Gisele. Os alunos, mais do que depressa, pegam seus blocos de apontamentos e ficam à espera de orientações, pois serão de grande valia não só para elaborar o catálogo dos animais, mas também para lapidar seus conhecimentos sobre os vertebrados. Você pode auxiliar a Gisele e seus colegas na elaboração do material?

Para concluir a tarefa solicitada, você poderá fazer uso dos conteúdos obtidos nesta seção acerca da classificação, características gerais e distribuição dos *Monotremata* e *Marsupialia*. Além disso, ainda falaremos sobre a classificação, características gerais, morfologias interna e externa, e ciclo de vida dos *Eutheria*.

Com a aquisição desses conhecimentos, você estará pronto para auxiliar a Gisele e sua turma a elaborar um catálogo destacando a morfologia e aspectos evolutivos dos répteis, aves, peixes, anfíbios e mamíferos. Vamos lá?



Dica

Caro aluno, estamos prestes a encerrar nossa disciplina. Mas, antes de concluirmos o nosso estudo com sucesso, caso você tenha alguma dúvida, revise os conteúdos das seções anteriores. Bons estudos!

Não pode faltar

A classe *Mammalia* se apresenta dividida em duas subclasses com espécimes vivos: a subclasse *Prototheria*, que inclui os monotremados, e a subclasse *Theria*. Esta compreende a infraclasse *Metatheria*, composta pelos marsupiais e a infraclasse *Eutheria* composta pelos eutérios ou mamíferos placentários.

Classificação, características gerais e distribuição da Ordem Monotremata

De acordo com a classificação científica atual, os monotremados são classificados da seguinte forma: Reino *Animalia* - Filo *Chordata* - Subfilo *Vertebrata* – Superclasse *Tetrapoda* – Classe *Mammalia* – Subclasse *Prototheria* – Infraclasse *Ornithodelphia* – Ordem *Monotremata*.

A ordem *Monotremata* (do grego mono = um, trema = buraco, nesse caso se referindo à presença da cloaca) compreende duas famílias, a *Ornithorhynchidae* (do grego *rhyncus* = bico), cujos representantes são os ornitorrincos, animais semi-aquáticos e semi-fossoriais, cuja alimentação é baseada na ingestão de invertebrados aquáticos. A família *Tachyglossidae* (do grego *tachy* = rápido, *glossa* = língua) é representada por dois tipos de equidnas, a equidna-de-nariz curto da Austrália, animal que se alimenta principalmente de cupins e formigas e, a equidna-de-focinho longo ou equidna-de-bico longo da Nova Guiné, cuja alimentação se baseia na ingestão de vermes terrestres. Os Monotrematas compreendem duas famílias, três gêneros e cinco espécies viventes.

Figura 4.12 | *Ornithorhynchus anatinus* (ornitorrinco) - pertencente à ordem *Monotremata*, infraclasse *Prototheria*



Fonte: iStock. Acesso em: 11 jan. 2018.

Os monotremados são mamíferos mais primitivos que se assemelham tanto aos répteis quanto às aves, e se caracterizam por não possuírem útero, são ovíparos, seus ovos possuem grande quantidade de vitelo, importante para a nutrição dos embriões. Como as glândulas mamárias não possuem mamilos, os filhotes sugam a secreção leitosa que é depositada no ventre coberto de pelos.

Os monotremados apresentam especializações para o nado ou para escavar. Os ornitorrincos possuem membranas interdigitais nos pés, que auxiliam na natação, esses espécimes passam a maior parte do tempo na água. As equidnas possuem grandes garras nos pés, que servem para cavar buracos. Apresentam também especializações únicas: tanto os ornitorrincos quanto as equidnas não possuem dentes quando adultos, e apresentam um bico couriáceo (com consistência de couro, ao invés de córneo). O bico contém receptores sensoriais utilizados para percepção eletromagnética de outros animais, e para o reconhecimento de presas, sob a água ou um ninho de cupins. Os espécimes machos de ornitorrincos possuem um espinho no membro pélvico que serve para envenenar rivais e predadores. As equidnas possuem um focinho longo, que é adaptado para a ingestão de formigas ou cupins, o corpo é coberto

por pelos, sendo que muitos deles são modificados em espinhos, semelhantes ao ouriço. Outra característica é a ausência dos ossos frontais e lacrimais no crânio.

Figura 4.13 | *Tachyglossus aculeatus* – equidna pertencente à ordem *Monotremata* da subclasse *Prototheria*



Fonte: <<https://goo.gl/goWd9d>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

Os *Monotremata* tiveram origem provavelmente no período Mesozoico e, atualmente, se distribuem restritamente pela Austrália, Tasmânia e Nova Guiné.



Assimile

Os monotremados são mamíferos ovíparos, ou seja, põem ovos.

Pertencem à subclasse *Prototheria*, infraclasse *Ornithodelphia*, ordem *Monotremata*, e possuem duas famílias, a *Ornithorhynchidae*, cujos representantes são os ornitorrincos, e a família *Tachyglossidae*, representada pelas equidnas-de-nariz curto e equidnas-de-focinho longo.

Classificação, características gerais e distribuição da ordem Marsupialia

De acordo com a classificação científica atual, os marsupiais são classificados da seguinte forma: pertencem ao Reino *Animalia*, Filo *Chordata*, Subfilo *Vertebrata*, Superclasse *Tetrapoda*, Classe *Mammalia*, Subclasse *Theria*, Infraclasse *Metatheria* ou *Marsupialia*.

Aqui, uma ressalva deve ser efetuada: muitos pesquisadores

consideram *Marsupialia* como sendo uma única ordem, mas atualmente muitos pesquisadores preferem o termo *Metatheria*, por ser mais abrangente incluindo os marsupiais primitivos. Compreendem 7 ordens: *Didelphimorphia* (do grego *di* = dois, *delphi* = útero, *morph* = forma), representada pelos gambás e cuícas das Américas, tem aproximadamente 95 espécies; *Paucituberculata* (do latim *pauci* = poucos, *tuberculum* = protuberância), representada pelos musaranhos marsupiais, espécimes diminutos que ocorrem no Oeste da América do Sul, com seis espécies; *Microbiotheria* (do grego *micro* = pequeno, *bio* = vida, *thér* = animal selvagem), tem como único representante o “monito del monte” ou colocolo, um marsupial sul-americano cujo tamanho se aproxima ao de um camundongo. A ordem *Dasyuromorphia* (do grego *dasy* = peludo, *morph* = forma), é constituída pelos mamíferos carnívoros australianos, grandes marsupiais e vários “camundongos marsupiais”, restritos à Austrália, Tasmânia e Nova Guiné, com 74 espécies; ordem *Peramelemorphia* (do grego *per* = bolsa, *mel* = texugo, *morph* = forma), representada pelos “bandicoots”, animais onívoros restritos à Austrália, Tasmânia e Nova Guiné, com 22 espécies conhecidas. Ordem *Notoryctemorphia* (do grego *not* = atrás, *oryct* = escavador, *morph* = forma), marsupiais semi-fossoriais que se assemelham a toupeira, com duas espécies que habitam a Austrália. Ordem *Diprotodontia* (do grego *di* = dois, *pro* = frente, *odont* = dentes), representada pelos coalas, vombates, gambás, cangurus, possui cerca de 146 espécies.

Figura 4.14 | *Phascolarctos cinereus* – coala pertence à ordem *Diprotodontia*, da infraclasse *Metatheria* (*Marsupialia*)



Fonte: <<https://goo.gl/Rwfyz4>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

Os marsupiais possuem como característica principal a presença de uma bolsa de pele no ventre das fêmeas, denominada marsúpio. Entretanto, não são todas as espécies que possuem o marsúpio.

O desenvolvimento embrionário dos marsupiais ocorre inicialmente no interior do útero materno, em oposição ao desenvolvimento embrionário dos monotremados, que se dá fora do útero materno. Após a fecundação, o blastocisto (embrião) é envolto inicialmente pela placenta coriovitelina (membrana coriônica relacionada à circulação fetal através dos vasos vitelinos), e permanece livremente no fluido uterino por vários dias. O período gestacional é muito curto, cerca de 8 a 43 dias, e sofre variações de acordo com a espécie, podendo ser menor ou igual à duração do ciclo estral relacionado às alterações fisiológicas que sofrem influência dos hormônios reprodutivos. Os filhotes são então, ejetados ao final do ciclo estral na maioria das espécies. Os embriões da maioria dos marsupiais não se implantam no útero, mas se alojam em depressões rasas na parede do útero, onde absorvem secreções nutritivas da mucosa através do saco vitelino vascularizado. O desenvolvimento intrauterino é breve, o filhote nasce após algumas semanas e, ainda imaturo, se desloca para o marsúpio, agarrando-se aos mamilos e iniciando a lactação para completar o desenvolvimento.

Outra característica dos marsupiais se verifica no sistema reprodutor das fêmeas, ocorre a presença de duas vaginas laterais unidas na porção superior e, a partir dessa região, os dois úteros separados divergem. Marsupiais machos possuem um único pênis com a ponta bifurcada para se encaixar nas duas vaginas laterais das fêmeas. Durante o primeiro parto se desenvolve um canal pseudo-vaginal, por onde os filhotes saem. Esse canal pode ou não permanecer aberto.

Figura 4.15 | Neonato de canguru no marsúpio da mãe



Fonte: <<https://goo.gl/sijCno>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

Quanto aos hábitos alimentares os marsupiais podem ser classificados em: herbívoros, carnívoros, insetívoros, onívoros e nectarívoros. Além disso, também podem ser divididos em diurnos, noturnos ou crepusculares, de acordo com os hábitos e atividades que executam.

Algumas espécies são arborícolas, terrícolas, fossoriais ou semi-aquáticas. Apesar de muitas espécies hibernarem, muitas permanecem ativas o ano todo. Alguns metatérios são sociais, e outros são solitários. O cérebro dos marsupiais é menor e mais simples em relação aos demais mamíferos placentários que possuem tamanho semelhante e, está alojado numa caixa craniana pequena e estreita. Marsupiais possuem um maior número de dentes incisivos e molares e menor quantidade de pré-molares, em relação aos eutérios. Os marsupiais possuem ossos epipúbicos que agem conjuntamente com os músculos do abdômen e da coxa dando suporte ao torso e resistindo ao dobramento do tronco enquanto se locomove.

Atualmente, os metatérios são encontrados em todo o continente americano; na América Central e América do Sul que abrange o maior número de espécies. A América do Norte possui uma única espécie, o *Didelphis virginiana*, popularmente chamado de gambá-da-Virgínia. Na Oceania, a maioria das espécies vivem no continente australiano e na Nova Guiné, mas alguns espécimes podem ser encontrados nas ilhas adjacentes. É observada a ocorrência de marsupiais em variados tipos de habitats, que abrangem desde florestas tropicais úmidas situadas na América do Sul e regiões desérticas da Austrália.

Figura 4.16 | *Vombatus ursinus* – marsupial da Ilha Maria na Tasmânia



Fonte: <<https://goo.gl/1jAqVh>>. Acesso em: 20 dez. 2017.



Para complementar seus conhecimentos, assista ao vídeo "Fecundação e desenvolvimento do marsupial" (da Natgeotv.com).

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=tSMc--bLRxI>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

Classificação da infraclasse *Eutheria*

A classificação científica da infraclasse *Eutheria* tem sofrido constantes alterações com a descoberta de novas espécies e com o avanço dos estudos moleculares. Atualmente, é aceita a seguinte classificação: Reino *Animalia* - Filo *Chordata* - Subfilo *Vertebrata* – Superclasse *Tetrapoda* – Classe *Mammalia* – Subclasse *Theria* – Infraclasse *Eutheria* ou *Placentalia*.

Os eutérios possuem quatro superordens e 21 ordens que seguem: superordem *Afrotheria* que inclui as ordens *Afrosoricida*, representada pelos tenrecos e toupeiras-douradas, tem aproximadamente 54 espécies; *Macroscelidea*, constituída pelos musaranhos-elefantes tem cerca de 16 espécies; *Tubulidentata*, cujos representantes são os *ardvark* (porco-da-terra ou porco-formigueiro), possui uma espécie; *Proboscidea*, representada pelos elefantes, possui duas espécies; *Hyracoidea*, constituída pelo hírax, com seis espécies conhecidas; *Sirenia*, compreende os peixes-boi e dugongos, possui 5 espécies.

Superordem *Xenarthra* (antigamente denominada *Edentata*) que compreende duas ordens: *Cingulata*, composta pelos tatus, com 21 espécies, e *Pilosa*, representada pelos bichos-preguiça e tamanduás, com 10 espécies.

Figura 4.17 | *Tolypeutes tricinctus* – tatu-bola, pertencente à Ordem *Cingulata* da Infraclasse *Eutheria*



Foto: Lilian Mira Mendes

Fonte: <<https://goo.gl/Ygv13K>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

Superordem *Euarchontoglires* (também chamados *Supraprimates*) composta pelas ordens *Dermoptera*, cujos representantes são os colugos e os lêmures-voadores, possui duas espécies; *Scandentia*, que abrange as tupaia ou musaranhos-arborícolas, tem 20 espécies; *Primates*, cujos representantes são os prossímios, macacos, grandes macacos, humanos, lêmures, chimpanzé possui 414 espécies; *Lagomorpha*, que compreende os coelhos, lebres, lebres-assobiadoras e pikas, com 93 espécies e *Rodentia*, representada pelos esquilos, ratos e marmotas, possui 2.255 espécies.

Superordem *Laurasiatheria*, que compreende as ordens *Soricomorpha*, cujos representantes são os musaranhos e toupeiras, com 428 espécies, *Erinaceomorpha*, composta pelos ouriços e gimnuros (se assemelham aos musaranhos, mas são maiores e vivem no Sudeste Asiático), tem 24 espécies, *Chiroptera*, representada pelos morcegos, que são os únicos mamíferos que voam verdadeiramente, possui 1.1150 espécies; *Pholidota*, composta pelos pangolins, tem 8 espécies conhecidas; *Carnivora*, representada pelos cães, lobos, gatos, ursos, doninhas, focas, leões-marinhos, morsas, com 285 espécies; *Perissodactyla*, cujos representantes são mamíferos ungulados com número ímpar de dedos, compreende os cavalos, asnos, zebras, antas e rinocerontes, com 16 espécies; *Artiodactyla*, abrange os mamíferos ungulados com número par de dedos, composta pelos suínos, camelos, veados, girafas, hipopótamos, antílopes, bois, carneiros e cabras, possui 240 espécies e *Cetacea*, representada pelas baleias, golfinhos e toninhas, com 84 espécies.

Figura 4.18 | *Panthera onca* – Onça-pintada do Pantanal (MS, Brasil), pertencente à ordem *Carnivora* da infraclasse *Eutheria*



Fonte: <<https://goo.gl/9Q41QR>>. Acesso em 15 dez. 2017.



Através de estudos moleculares, foi demonstrado que a antiga ordem *Insectivora* é polifilética. Com isso, seus espécimes foram inseridos em outras três ordens: *Afrosoricida*, *Erinaceomorpha* e *Soricomorpha*.

A ordem *Edentata* foi elevada à superordem, passando a ser chamada de *Xenarthra*, abrangendo as ordens *Cingulata* e *Pilosa*.

As ordens *Artiodactyla* e Cetácea encontram-se agrupadas na ordem *Cetartiodactyla*.

Apesar da constante descoberta de novas espécies que, juntamente com o avanço dos estudos moleculares que tem corroborado para as alterações na sistemática filogenética, relatórios e dados publicados apontam, para um número considerável de espécies de mamíferos ameaçados de extinção ou extintos.

De acordo com a IUCN (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*), a ordem com maior número de espécies que tem um nível muito superior ao nível médio de ameaças é a dos Primatas. Das 414 espécies conhecidas, 49% são consideradas ameaçadas de extinção. Além disso, segundo a IUCN (*International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*), outras quatro ordens apresentam uma porcentagem alta de espécies ameaçadas ou extintas: *Sirenia* (100%), *Perissodactyla* (81%), *Monotremata* (60%) e *Proboscidea* (50%). No entanto, essas ordens possuem pouquíssimas espécies, sendo cinco, dezesseis, cinco e duas espécies, respectivamente. Outras três ordens, com mais de 100 espécies e com um nível muito superior ao nível médio de ameaças, são *Artiodactyla*, *Cetacea* e *Diprotodontia*.

O Ministério do Meio Ambiente divulgou em dezembro de 2014 a atualização da lista de espécies ameaçadas de extinção em território nacional. Esta pode ser consultada no Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção, de autoria de Machado, Drummond e Paglia (2008). Entre 2010 e 2014, o Instituto Chico Mendes (ICMBio) avaliou 12.256 táxons da fauna brasileira, e concluiu a existência de 1.173 táxons ameaçados no Brasil. Nesse período, foram analisadas 732 espécies de mamíferos, das quais 110 espécies foram consideradas ameaçadas. Os resultados para a

classe *Mammalia* revelaram uma espécie extinta (categoria EX), 12 espécies criticamente em perigo (CR), 43 espécies em perigo (EN) e 55 espécies vulneráveis (VU).



Refleta

Qual a importância dos estudos realizados por instituições governamentais e instituições não-governamentais para a preservação das espécies ameaçadas? Elas realmente são válidas? De que forma, você aluno, poderá auxiliar?

Os eutérios compreendem os maiores grupos de mamíferos, tanto na diversidade quanto em quantidade de espécies, com ampla distribuição geográfica, abrangendo praticamente todos os continentes: África, Ásia, Américas (do Sul, Central e do Norte), Europa, Oceania e as regiões polares. A maioria dos eutérios vivem em habitats terrestres como florestas, bosques, savanas, estepes, desertos e regiões polares. Há também os eutérios aquáticos, encontrados em oceanos e águas continentais.



Pesquise mais

Para dados mais completos sobre as espécies de mamíferos ameaçadas de extinção no Brasil, consulte a lista completa de 2014, elaborada pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes) – MMA (Ministério do Meio Ambiente).

Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/lista-de-especies>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

Características gerais, morfologia interna, morfologia externa da infraclasse *Eutheria*

Os eutérios se caracterizam pela presença de placenta, responsável pelas trocas fisiológicas entre mãe e feto e por serem animais vivíparos, ou seja, o desenvolvimento do feto ocorre dentro do útero materno, que acarreta em uma gestação longa. Possuem glândulas mamárias que desembocam em mamilos.

Eutérios se diferem dos demais mamíferos pela ausência da cloaca, possuem ânus e uma abertura para eliminação dos compostos nitrogenados.

As fêmeas possuem uma única vagina e o útero apresenta diversidade de formas podendo ser duplex (roedores, coelhos e lebres), bipartido (ruminantes e égua), bicornual (cadela, gata e porca) e simplex (maioria dos primatas, alguns morcegos, tamanduás, preguiças, tatu).

O sistema nervoso dos eutérios é bem desenvolvido, o encéfalo apresenta grandes hemisférios cerebrais, conectados pelo corpo caloso.

Eutérios possuem sete vértebras cervicais, com exceção do peixe-boi, preguiça-de-dois-dedos, preguiça-de-três-dedos e tamanduá. Além disso, os ossos epipúbicos estão ausentes, o que sugere uma adaptação evolutiva que favoreceu a locomoção e expansão do abdômen durante a gestação.

A dentição dos mamíferos eutérios é decídua posteriormente substituída por dentição difiodonte (dentes permanentes). Os dentes são heterodontes, quatro tipos de dentes que se modificam conforme a especialização alimentar ou podem estar ausentes, dependendo da espécie.

Externamente, os eutérios apresentam corpo todo coberto por pelos, com exceção de algumas espécies que possuem pelos mais finos em algumas regiões corpóreas e ausentes em outras.

Alguns espécimes como o tatu apresentam o corpo recoberto por uma carapaça formada por escudos ósseos conectados por pele flexível; em roedores, como os ratos, a cauda não possui pelos apresentando escamas semelhantes às dos répteis. Mamíferos aquáticos, como os cetáceos não possuem pelos por todo o corpo, mas desenvolveram uma camada subcutânea bem desenvolvida de tecido adiposo que atua como potente isolante térmico.

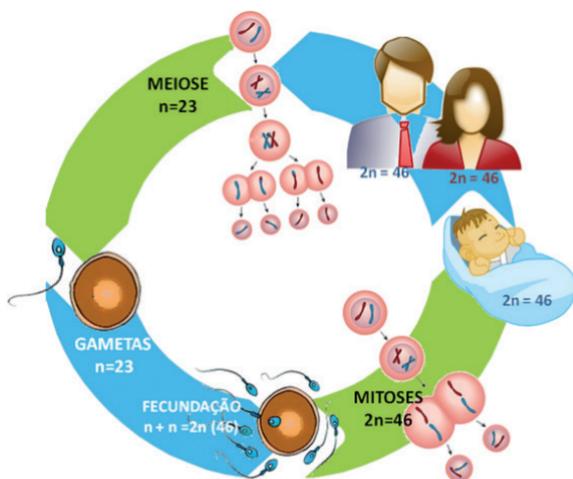
Os eutérios também apresentam modificações nos membros anteriores ou posteriores, para melhor locomoção. Os morcegos possuem os membros anteriores adaptados para o voo, apresentando membranas interdigitais que conferem ao membro o formato de asa. Os cetáceos, como baleias, golfinhos e toninhas possuem os membros anteriores modificados em nadadeiras, os membros posteriores estão ausentes. Macroscelídeos, tais como os musaranhos-elefante, têm os membros posteriores longos e adaptados para locomoção aos saltos, quando se sentem ameaçados.

Ciclo de vida da infraclasse *Eutheria*

As estações de acasalamento nos mamíferos são bem definidas, normalmente no inverno ou na primavera, de modo a proporcionar um período do ano mais favorável para o nascimento e criação dos filhotes. A fertilidade se expressa diferentemente entre machos e fêmeas; muitos machos eutérios são férteis em qualquer época, já nas fêmeas se restringe a um período específico, denominado ciclo estral. A cópula ocorre somente durante um breve período desse ciclo, o cio ou estro, este difere entre as espécies de mamíferos. Cães, raposas e morcegos são animais monoestrals, ou seja, possuem um único estro durante a sua estação reprodutiva. Poliestrais são animais que apresentam recorrência do estro durante a estação reprodutiva, tais como os camundongos, esquilos e muitos eutérios das regiões tropicais. Alguns macacos do Velho Mundo e os seres humanos apresentam ciclo menstrual, em que o período pós-ovulatório é encerrado pela menstruação, em que ocorrem alterações comportamentais e hormonais.

Nos eutérios, a reprodução é sexuada, com fecundação interna, o desenvolvimento é direto, ou seja, o filhote é muito semelhante ao adulto, não ocorrendo metamorfose. O desenvolvimento embrionário é intrauterino, por isso, os mamíferos são também classificados como vivíparos.

Figura 4.19 | Ciclo de vida dos Eutheria



Fonte: <<https://goo.gl/bkgNMW>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

Além da placenta coriovitelina, os mamíferos placentários também possuem uma placenta alantocórica. Nutrientes e gás oxigênio são transportados no sangue materno e encaminhados ao embrião através da placenta, que também tem função de eliminar gás carbônico e excretas.

A gestação dos mamíferos placentários é mais longa e difere da gestação dos marsupiais, pois nestes a lactação é mais prolongada e a gestação é mais curta. Nos eutérios a quantidade da prole e duração da gestação variam de acordo com a espécie. Outro fator que distingue os placentários dos demais mamíferos é o cuidado parental que garante maior sobrevivência aos descendentes.



Exemplificando

Nos mamíferos eutérios também chamados placentários o ciclo de vida se caracteriza por:

- Reprodução sexuada.
- Fecundação interna.
- Desenvolvimento direto.
- Viviparidade, ou seja, desenvolvimento intrauterino.
- Gestação prolongada.
- Amamentação e cuidado parental.

Caro aluno, chegamos ao final desta seção e com isso, finalizamos os conteúdos teóricos em zoologia dos vertebrados. Esperamos que você tenha aproveitado a nossa jornada no interessante mundo dos vertebrados e adquirido conhecimentos sobre a biologia desses animais, e com isso, dar continuidade ao aprendizado de novos saberes. Se certifique que nenhuma dúvida tenha sido deixada para trás, e não se esqueça de realizar as atividades sugeridas tanto no livro didático, bem como no ambiente virtual de aprendizagem. Tais atividades são importantes pois auxiliam na assimilação e memorização dos conteúdos trabalhados. Sucesso e bons estudos!

Sem medo de errar

Para fecharmos nossas discussões sobre os mamíferos, mais especificamente sobre os monotremados, marsupiais e eutérios, vamos retomar nossa situação hipotética em que observamos que Gisele tem aproveitado e aprendido muito no estágio, principalmente, desenvolvendo a prática como “professora”, recebendo excursões semanais de colégios e faculdades. Agora, Gisele recebe sua turma do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas e o professor responsável pela disciplina de zoologia. No tour pelo zoológico, ela expôs aos colegas algumas adaptações e especializações dos mamíferos, abordando aspectos sobre os monotremados, marsupiais e eutérios, e solicita aos colegas a elaboração de um catálogo que deve destacar a morfologia e os aspectos evolutivos dos vertebrados dos vertebrados que foram observados na visita. Você pode auxiliá-los na elaboração do material?

Para a solução dessa situação-problema é válido recordar os conceitos referentes à origem, evolução e distribuição dos répteis, aves, peixes, anfíbios e mamíferos. Caro aluno, você também deverá rever os conteúdos referentes às características dos répteis, aves, peixes, anfíbios e dos mamíferos, incluindo os monotremados, marsupiais e eutérios.

Com base nos conceitos abordados, Gisele, seus colegas e você estarão aptos a elaborar um catálogo que irá destacar a morfologia e os aspectos evolutivos dos répteis, aves, peixes, anfíbios e mamíferos. Então, bom trabalho e bom estudo!

Faça valer a pena

1. Monotremados são mamíferos mais primitivos que não possuem útero e são ovíparos. Seus ovos possuem grande quantidade de vitelo, importante para a nutrição dos embriões. Como as glândulas mamárias não possuem mamilos, os filhotes sugam a secreção leitosa que é depositada no ventre materno coberto de pelos.

Os monotremados pertencem à subclasse *Prototheria*, infraclasse *Ornithodelphia*, ordem *Monotremata*. Esta possui duas famílias.

Escolha a alternativa que indica aos nomes das famílias e dos representantes de monotremados.

- a) Família *Ornithorhynchidae* = ornitorrincos, família *Didelphidae* = gambás.
- b) Família *Ornithorhynchidae* = ornitorrincos, família *Leporidae* = lebres.
- c) Família *Leporidae* = lebres, família *Tachyglossidae* = equidnas.
- d) Família *Ornithorhynchidae* = ornitorrincos, família *Tachyglossidae* = equidnas.
- e) Família *Didelphidae* = gambás, família *Tachyglossidae* = equidnas.

2. Os metatérios, mais conhecidos como marsupiais, são mamíferos que se caracterizam pela presença do marsúpio, uma bolsa de pele localizada no abdome materno e que aloja o filhote até o mesmo completar o seu desenvolvimento. Os marsupiais pertencem à classe *Mammalia*, subclasse *Theria* e infraclasse *Metatheria*. Esta possui sete ordens: *Didelphimorphia*, *Paucituberculata*, *Microbiotheria*, *Dasyuromorphia*, *Peramelemorphia*, *Notoryctemorphia* e *Diprotodontia*.

Escolha a alternativa que indica os nomes dos representantes de cada uma das ordens de *Metatheria*, respectivamente.

- a) Gambás, musaranhos marsupiais, *monito del monte*, camundongos marsupiais, *bandicoots*, toupeiras marsupiais e coalas.
- b) Gambás, musaranhos marsupiais, *monito del monte*, ornitorrincos, *bandicoots*, toupeiras marsupiais e coalas.
- c) Equidnas, musaranhos marsupiais, *monito del monte*, camundongos marsupiais, *bandicoots*, toupeiras marsupiais e coalas.
- d) Gambás, tamanduás, *monito del monte*, camundongos marsupiais, *bandicoots*, toupeiras marsupiais e coalas.
- e) Gambás, musaranhos marsupiais, *monito del monte*, morcegos, *bandicoots*, toupeiras marsupiais e coalas.

3. Nos mamíferos eutérios (ou placentários) a fertilidade se expressa de forma diferente em machos e fêmeas; muitos machos são férteis em qualquer época, mas nas fêmeas a fertilidade se restringe ao ciclo estral, em que a cópula ocorre somente durante o cio ou estro, que difere de espécie para espécie. Alguns espécimes possuem apenas um estro durante a estação reprodutiva, sendo chamados de monoestrais, outras espécies são poliestrais, possuem mais de um estro durante a estação de reprodução. Já os seres humanos apresentam um ciclo reprodutivo diferente, chamado ciclo menstrual, no qual o período pós-ovulatório é encerrado pela menstruação, ocasionando alterações comportamentais e hormonais.

Indique a alternativa que expressa o ciclo de vida dos eutérios.

- a) Reprodução assexuada, fecundação interna, desenvolvimento indireto, viviparidade, gestação prolongada, amamentação e cuidado parental.
- b) Reprodução sexuada, fecundação interna, desenvolvimento indireto, viviparidade, gestação prolongada, amamentação e cuidado parental.
- c) Reprodução sexuada, fecundação interna, desenvolvimento direto, viviparidade, gestação prolongada, amamentação e cuidado parental.
- d) Reprodução sexuada, fecundação externa, desenvolvimento direto, viviparidade, gestação prolongada, amamentação e cuidado parental.
- e) Reprodução assexuada, fecundação interna, desenvolvimento direto, viviparidade, gestação prolongada, amamentação e cuidado parental.

Referências

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia. Instituto Chico Mendes. **Lista Nacional Oficial das Espécies ameaçadas de extinção**. Brasília, 2014. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/lista-de-especies?start=50>. Acesso em: 13 jan. 2018.

HICKMAN Jr, C. P. et al. Mamíferos. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 28, p. 646-677.

_____. Suporte, proteção e movimento. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 29, p. 680-700.

_____. Homeostase: regulação osmótica, excreção e regulação térmica. In: _____. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 30, p. 702-721.

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. An analysis of mammals on the 2008 IUCN red list. Version 3. (May, 2017). **The IUCN red list of threatened species**. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/initiatives/mammals/analysis>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

KARDONG, K. V. A história dos Vertebrados. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. São Paulo: Roca, 2010. cap. 3, p. 145-153.

_____. Sistema Urogenital. In: _____. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. São Paulo: Roca, 2010. cap. 14, p. 663-690.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. v. 2. Brasília: MMA; Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2008. 1420p.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. Os Synapsida e a Evolução dos Mamíferos. In: _____. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 18, p. 487-517.

_____. Características e Diversidade dos Mamíferos. In: _____. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 20, p. 519-551.

_____. Especializações de Mammalia. In: _____. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap. 21, p. 568-572.

_____. Endotermia: uma abordagem dos processos vitais de alta energia. In: _____. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. cap.22, p. 578-604.

REIS, N. R. et al. Sobre os Mamíferos do Brasil. In: REIS, N. R. et al. (Eds). **Mamíferos do Brasil**. Londrina, 2006. cap. 1, p. 17-24. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/biologicas/pages/arquivos/pdf/Livro-completo-Mamíferos-do-Brasil.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

SOARES, M. B. Cinodontes fósseis brasileiros revelam os primeiros passos da evolução dos mamíferos. **Ciência e Cultura** (online), v. 67, n. 4, 2015. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v67n4/v67n4a14.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

SPRINGER, M. S. et al. Molecules consolidate the placental mammal tree. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 19, n. 8, aug./2004. Disponível em: <<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0169534704001429-gr1.jpg>>. Acesso em: 6 jan. 2018.

ISBN 978-85-522-0804-4



9 788552 208044 >