

SISTEMA DIGESTÓRIO

Meta

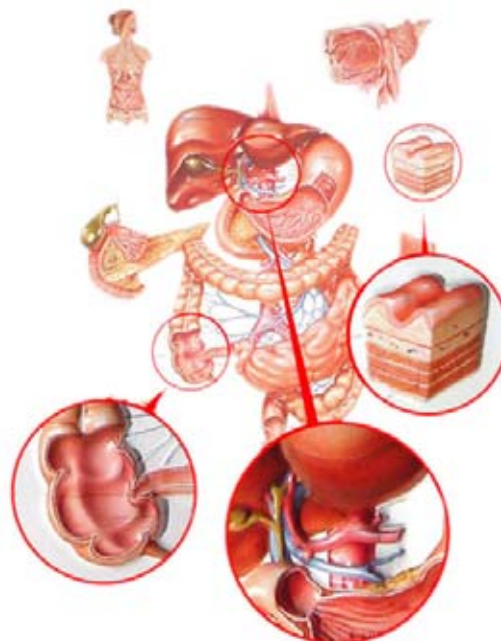
Nesta aula serão apresentadas as principais características e adaptações do sistema digestório dos vertebrados.

Objetivos

Ao final desta aula, o aluno deverá:
identificar as estruturas que formam o sistema digestório dos vertebrados, e entender suas principais adaptações.

Pré-requisitos

É importante que o aluno tenha entendido os termos utilizados em Anatomia que foram revisados na primeira aula. Algumas informações fornecidas nas aulas referentes aos sistemas muscular, respiratório e circulatório ajudarão também no entendimento do sistema responsável pela quebra do alimento (digestão) nos vertebrados.



(Fonte: www.lautz.com.br)

INTRODUÇÃO

Não adianta nada para um organismo ter sistemas de troca de gases e de transporte eficientes, se outros elementos importantes à sobrevivência não estiverem presentes. Estes elementos são provenientes do alimento, que fornece energia, essencial à manutenção das funções corporais, e a matéria prima para o crescimento e para a reprodução.

Os seres vivos podem ser divididos em autotróficos, aqueles capazes de sintetizar seu próprio alimento, e em heterotróficos, os que obtêm a energia de que precisam de substâncias orgânicas produzidas por outros organismos. Todos os animais são heterotróficos, sendo que os herbívoros alimentam-se de produtos vegetais, os carnívoros de outros animais ou produtos de origem animal, e os onívoros apresentam uma dieta mista.

Em geral os animais necessitam dos mesmos nutrientes básicos (minerais, vitaminas, glicídios, lipídios e proteínas), presentes nos alimentos. Só que estes, normalmente, não se encontram em uma forma utilizável quando chegam ao corpo, precisando ser convertidos em frações menores por meio da digestão para serem aproveitados. A todo conjunto de processos envolvidos desde a ingestão dos alimentos até a sua utilização final nas células, dá-se o nome de nutrição. Neste processo estão incluídas as seguintes etapas: 1) a ingestão, onde o alimento é captado e introduzido no corpo, por meios variados, dependendo do animal; 2) digestão, que envolve a quebra do alimento até proporções utilizáveis; 3) absorção, em que as moléculas resultantes da digestão devem atravessar a membrana dos órgãos digestivos e chegar até os locais de utilização, normalmente levadas pelo sangue; 4) eliminação dos resíduos da digestão.

O sistema responsável pelas funções anteriormente relatadas é conhecido por sistema digestório, o qual é formado por um longo tubo musculoso, onde estão associados órgãos e glândulas que participam da digestão. Apresenta as seguintes regiões; boca, faringe, esôfago, estômago, intestino delgado, intestino grosso e ânus ou cloaca. Nos tópicos seguintes serão discutidas as principais estruturas que formam o sistema digestório dos vertebrados, bem como suas adaptações ao processamento do alimento utilizado.



A Sucuri pertence à família das constritoras (mata suas presas por constricção). Sua digestão é longa, podendo durar semanas e até meses. A fotografia mostra uma Sucuri de 5 metros, capturada após ter engolido um bezerro na cidade de Água Comprida/MG. (Fonte: <http://2.bp.blogspot.com>)

ALIMENTAÇÃO - UM PROCESSO DE MÚLTIPLOS FATORES

Os itens utilizados como alimento pelos vertebrados podem variar em muitos aspectos. Por exemplo em relação ao tamanho, podendo ser de microscópico a grande porte; em termos de atividade, indo desde presas sedentárias a muito ativas; ou mesmo pelo retorno energético, com itens variando de baixo a alto valor nutritivo. As presas podem possuir mecanismos de defesa (e.g. espinhos, toxinas, rigidez dos tecidos) que dificultam a sua obtenção e processamento, ou serem de ocorrência sazonal ou constante no ambiente. Quando falamos de adaptações a alimentação, em animais, devemos também considerar as relações intra e interespecíficas, que muitas vezes constituem fortes pressões seletivas que podem direcionar mudanças nos comportamentos e/ou aparatos tróficos (alimentares).

“Comer” não é algo tão simples assim, este processo envolve diversas ações e estruturas de vários sistemas. Um animal, quando sai à busca do alimento, precisa inicialmente localizar suas presas, entrando em ação todo um conjunto de órgãos dos sentidos e o próprio sistema nervoso, que vai receber e decodificar estes sinais e enviar comandos para que o próximo passo, a captura, aconteça. Para capturar uma presa muitas vezes um predador faz uso de corridas, dentes, garras, bicos, entre outras estruturas, ou seja, lança mão de ações e elementos dos sistemas muscular, esquelético e tegumentar. Necessita também de um suprimento extra de oxigênio, capturado pelo sistema respiratório e levado pelo sangue (sistema circulatório) até os músculos, onde será utilizado. E não para por aí, o alimento tem ainda um longo caminho a ser percorrido, no qual é processado e convertido em uma forma utilizável pelos organismos.

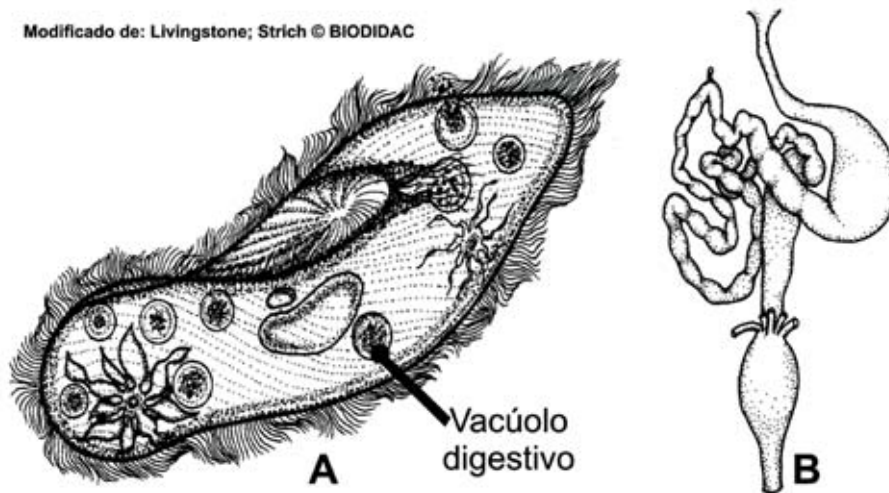
Reforçando um pouco mais o que foi comentado, o sistema digestório tem por funções: receber o alimento, armazená-lo temporariamente, reduzi-lo fisicamente, reduzi-lo ainda mais quimicamente, absorver os produtos da digestão, reter temporariamente os restos não digeridos e depois eliminá-los.

DIGESTÃO E TRATOS DIGESTÓRIOS

Digestão é o processo pelo qual grandes e complexas moléculas são quebradas em subprodutos absorvíveis e utilizáveis pelo corpo. Neste processo estão envolvidas várias enzimas, as quais aceleram o processo de degradação do alimento, agindo como um catalisador destas reações. Duas formas básicas de digestão podem ocorrer, a intracelular e a extracelular. A primeira ocorre no interior da célula em vacúolos digestivos, como observado em protozoários. Já a segunda, acontece externamente à célula, sendo esta a forma encontrada na maioria dos animais pluricelulares. A vantagem da segunda forma é a ampliação da capacidade de ingestão de

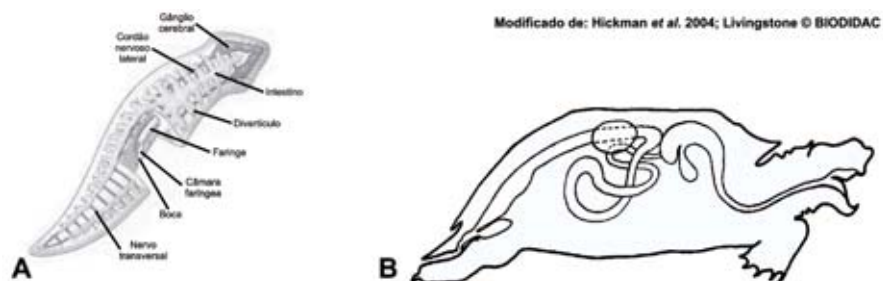
Cordados I

grandes pedaços de alimento. A digestão extracelular está normalmente associada a um trato digestório bem desenvolvido, necessário para uma melhor ação das enzimas.



Vacúolos digestivos de um organismo unicelular (A) e trato digestório de um vertebrado (B).

Os tratos digestórios podem ser classificados em incompletos (celenterados, platelmintos e ofiuroides) e completos (e.g. anelídeos, moluscos, vertebrados). No primeiro tipo, a entrada do alimento e a eliminação dos resíduos provenientes da digestão ocorrem pela mesma abertura. Em alguns casos, como em platelmintos (e.g. planária), a cavidade gastrovascular apresenta-se amplamente ramificada, servindo tanto para digestão como para o transporte dos nutrientes até os tecidos. No sistema digestório completo, a ingestão pode continuar de forma ininterrupta, enquanto ocorre a digestão e a passagem pelo trato digestório, uma vez que os locais de entrada de alimento (boca) e saída de resíduos (ânus ou cloaca) são distintos.



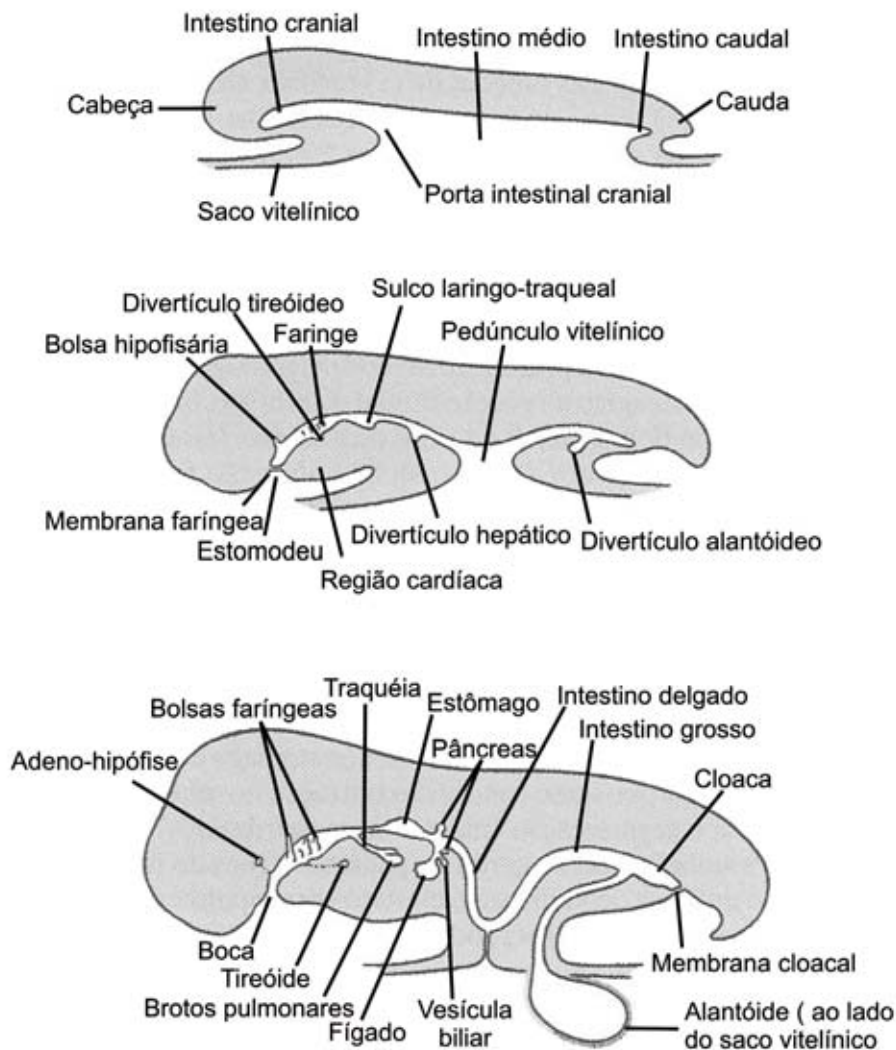
Exemplos de tratos digestórios incompleto (A) e completo (B).

DESENVOLVIMENTO DO TUBO DIGESTÓRIO

Durante a **gastrulação** ocorre a formação de uma camada germinativa interna, o endoderma, que é empurrado para fora conforme o embrião vai se alongando, resultando em um tubo. Nas extremidades, o tubo inicial é interrompido pelo ectoderma, originando assim as aberturas oral e anal. Deste tubo, deriva o revestimento interno do intestino. O tubo digestório embrionário logo se dobra e enrola, e evaginações se formam, e destas se originam o revestimento e as células secretoras dos órgãos anexos.

Gastrulação

É o processo de formação de dois dos três folhetos embrionários (ectoderme e endoderme)



Modificado de: Hildebrand & Goslow JR, 2006

Estágios de desenvolvimento do tubo digestório de um vertebrado.

EVOLUÇÃO DO SISTEMA DIGESTÓRIO

Os vertebrados possuem métodos de aquisição e ingestão de alimentos variados. Porém em termos evolutivos, para serem bem sucedidos é necessário que haja um balanço entre a quantidade e a qualidade do alimento consumido. Dessa forma o que vemos hoje de morfologia, fisiologia ou mesmo de comportamento é resultado da seleção natural que favorece a aquisição efetiva de energia do alimento, mas ao mesmo tempo tenta evitar que eles próprios se tornem presas de outros animais.

Outro fato interessante é que, possuir formas anatômicas diferenciadas, adaptadas a distintos tipos de alimento, pode favorecer a coexistência de várias espécies em uma mesma área. Isso ocorre devido à redução das pressões competitivas que uma espécie exerceria sobre a outra caso tivesse, por exemplo, formas, tamanhos e preferências alimentares semelhantes.

Para facilitar o entendimento das estruturas e adaptações do sistema digestório dos vertebrados, iremos dividi-lo em regiões:

- tubo digestório cefálico – responsável pela recepção e algumas vezes processamento inicial do alimento;
- tubo digestório proximal: condução, armazenamento e digestão do alimento;
- trato digestório médio: digestão química e absorção;
- intestino distal: absorção de água e de íons e defecação.



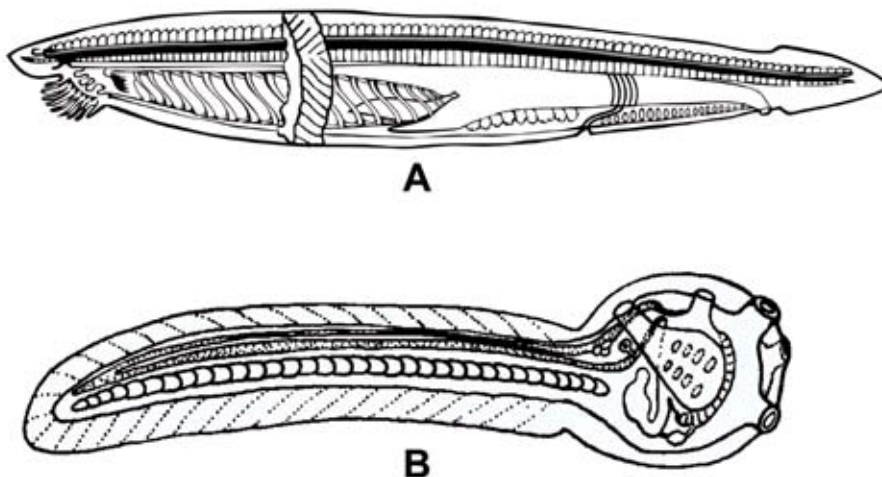
Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Regiões do tubo digestório de um homem.

TUBO DIGESTÓRIO CEFÁLICO

O tubo digestório cefálico corresponde à região da boca, faringe e estruturas associadas como dentes, bicos, língua e glândulas salivares. Estas estruturas podem auxiliar na apreensão, ingestão e digestão mecânica e química do alimento. A língua por exemplo, pode ser utilizada na captura e apreensão do alimento, na quimiorrecepção, além de auxiliar na deglutição. Já as glândulas salivares podem em alguns casos se modificar e produzir além do tradicional lubrificante, enzimas digestivas, substâncias tóxicas ou mesmo de ação anticoagulante, úteis na captura do alimento e algumas vezes na defesa do organismo.

Os primeiros vertebrados foram provavelmente organismos filtradores, de boca pequena, com quase nenhuma cavidade oral e uma grande faringe adaptada a remover partículas microscópicas de alimento presentes na água. Estas características são semelhantes às observadas hoje em anfióxos e nas larvas de lampreias.



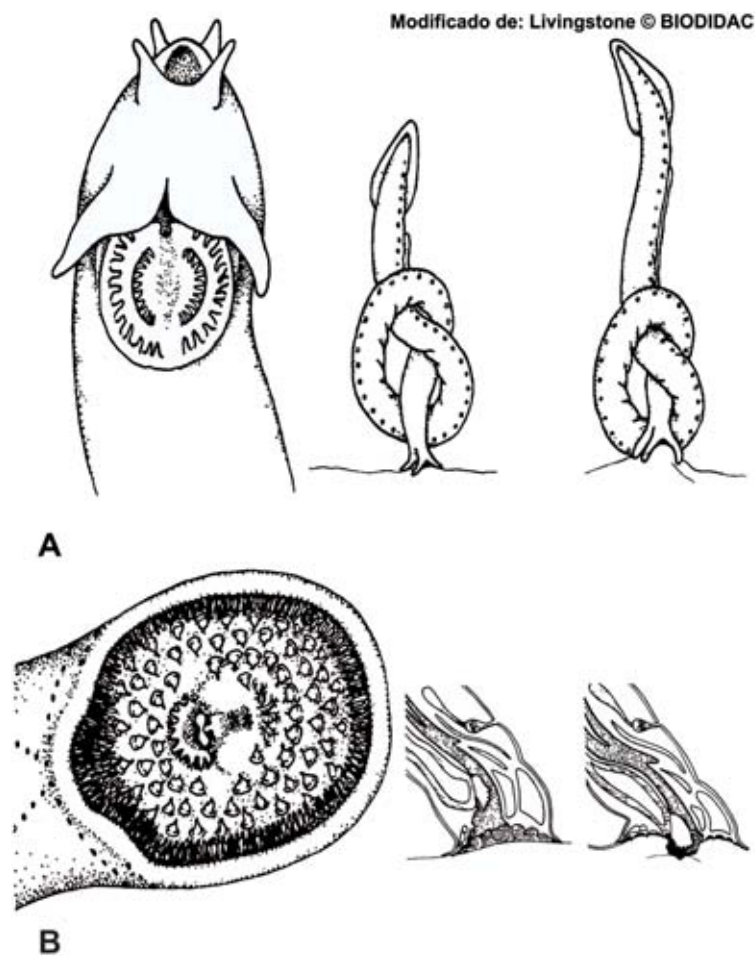
Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Exemplos de organismos filtradores: anfióxico (A) e larva de uma lampreia (B).

Os adultos dos peixes agnatas deixaram de utilizar a filtração como modo de obtenção do alimento. Como não possuem maxilas e dentes verdadeiros, tiveram que optar pela ingestão de alimentos pequenos e macios. Estes organismos se alimentam de fluidos corpóreos (lampreia) de outros vertebrados ou mesmo de tecidos (feiticeiras) de animais moribundos ou mortos. A cavidade oral destes animais é relativamente pequena. Possuem adaptações para morder, se afixar a um hospedeiro e para raspar sua carne. Na boca das feiticeiras existem duas placas com estruturas agudas, córneas (queratinizadas), semelhantes a dentes. Estas placas estão localiza-

Cordados I

das uma de cada lado de uma língua prostrátil e se afastam entre si quando a língua está protraída. Quando a língua é retraída, as placas se dobram de forma a unir seus “dentes” numa ação similar a de uma pinça. Já a boca das lampreias possui um aspecto de funil, e em suas paredes são observados vários espinhos cônicos córneos. Associado ao “funil oral” existe uma estrutura prostrátil semelhante a uma língua, que é recoberta com espinhos. Todo o conjunto permite as lampreias uma firme fixação e rápida abrasão do tegumento do hospedeiro. Na boca destes animais existe também uma glândula que secreta anticoagulante que impede a coagulação do sangue da vítima, permitindo uma alimentação contínua, enquanto a lampreia se encontra fixa a seu hospedeiro.



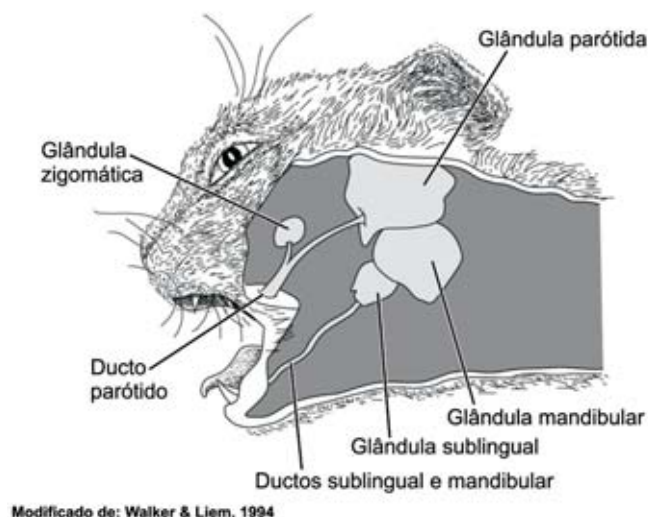
Aparatos tróficos (alimentares) e formas de fixação de uma feiticeira (A) e de uma lampreia (B).

Os demais grupos de peixes (ósseos e cartilagosos) possuem bocas e cavidades orais muito variadas. As partes bucais podem ser altamente prostráteis e especializadas e a cavidade oral e a faringe normalmente são distensíveis. Filtros alimentares, estruturas trituradoras ou dentes podem

estar associados às barras branquiais. A língua é firmemente fixa e de pouca mobilidade, podendo também haver presença de dentes. As glândulas orais, úteis na lubrificação do alimento nos animais terrestres, em geral estão ausentes ou restritas a células mucosas esparsas nestes animais.

Com a saída da água para a terra, os tetrápodes tiveram que desenvolver mecanismos mais eficientes para aumentar a lubrificação oral, de modo a facilitar a passagem do alimento. Neste grupo, a cavidade oral e estruturas associadas desempenham também papel importante na digestão física e química, embora seja um pouco limitada. As cavidades orais variam de tamanhos moderados a grandes, dependendo do hábito alimentar do animal. Suas línguas são agora carnosas, e em geral bastante móveis, sendo sustentadas por derivados do segundo, terceiro, e às vezes do quarto arco visceral. Além das funções relatadas em trechos anteriores, a língua também pode estar envolvida no controle dos sons em certos animais.

As glândulas salivares dos tetrápodes são normalmente multicelulares, compostas, lobuladas e providas de ductos. Os nomes dados a essas glândulas são na maioria das vezes relacionados à posição ocupada (e.g. labial, lingual, palatina, nasal). Porém o número, a distribuição e a estrutura detalhada podem variar entre os grupos. Em alguns mamíferos as substâncias produzidas nas glândulas salivares podem participar da digestão do amido. Em certas espécies de serpentes, lagartos e no mussaranho, as glândulas salivares são convertidas em glândulas de peçonha, e nos morcegos hematófagos produzem anticoagulantes. Outro caso interessante, e que será discutido com maior detalhe na aula sobre sistema urogenital, é o das glândulas nasais de alguns répteis e aves marinhos que se modificam especializando-se na excreção de sais.



Glândulas salivares de um gato.

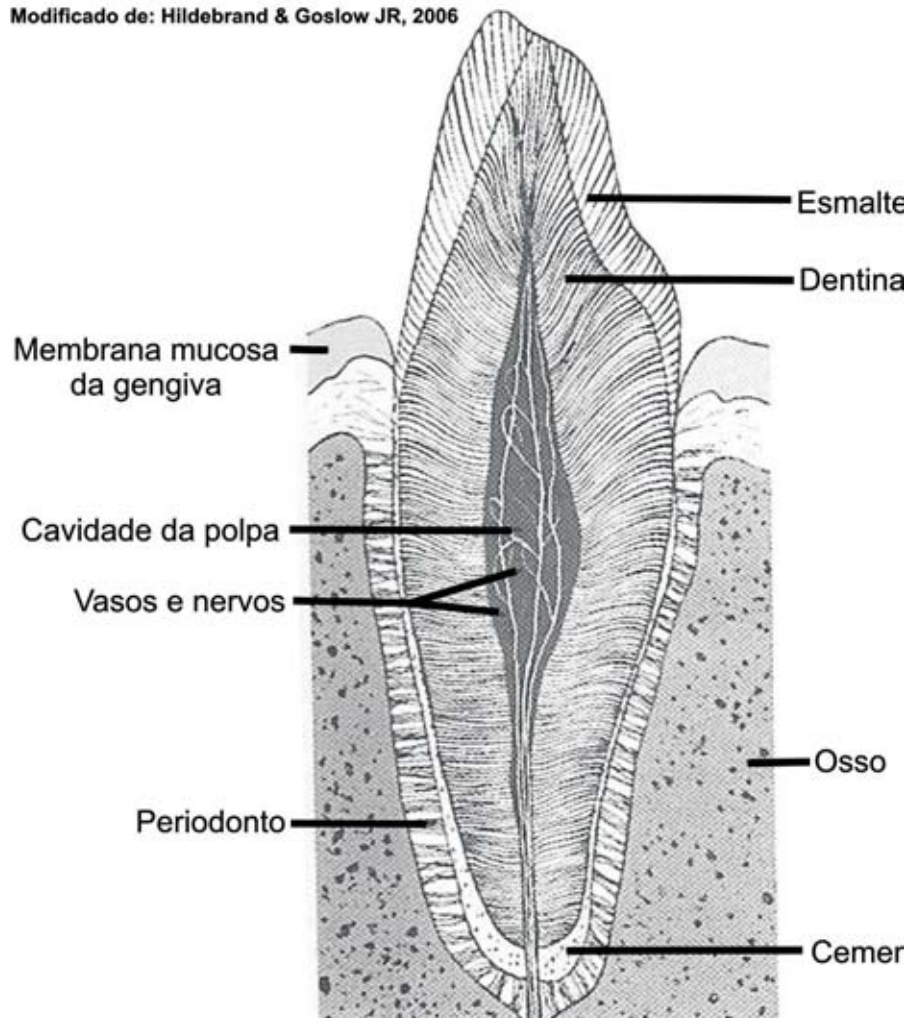
Antes de passar para a região proximal do sistema digestório, gostaria de abrir um parêntese para falar sobre os dentes. Os dentes são de grande importância para estudos relacionados à evolução e à sistemática. São estruturas de grande durabilidade, amplamente adaptadas às dietas dos animais, e compõem também uma parte significativa dos registros fósseis. Os dentes evoluíram possivelmente de dentículos das antigas carapaças dos ostracodermos, em regiões próximas às margens da boca.

Um dente típico é formado por uma coroa, porção do dente maduro sobre a raiz e que é sujeita ao desgaste, e uma raiz que se encontra oculta sob a gengiva e é normalmente ancorada nas maxilas. Internamente existe a cavidade da polpa que abriga vasos sanguíneos e nervos. A maior parte do dente é formada por dentina, podendo ser recoberta em sua região exposta por esmalte, nos dentes sem desgaste. A raiz dos dentes fica inserida no interior de cavidades revestidas por **cemento**.

Cemento

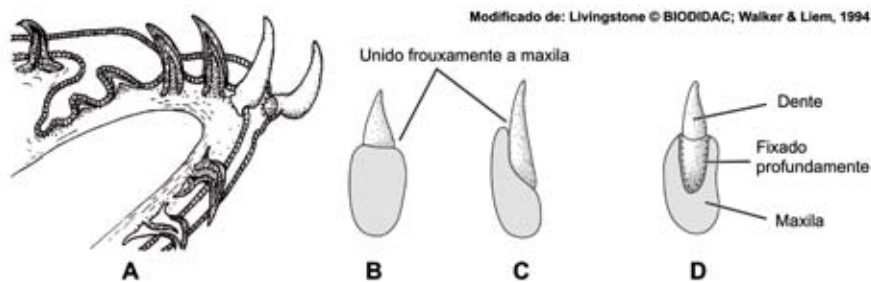
É um tipo de osso não vascularizado, sem ósteons e geralmente acelular. Ele é rico em fibras de colágeno e mais mole do que a dentina

Modificado de: Hildebrand & Goslow JR, 2006



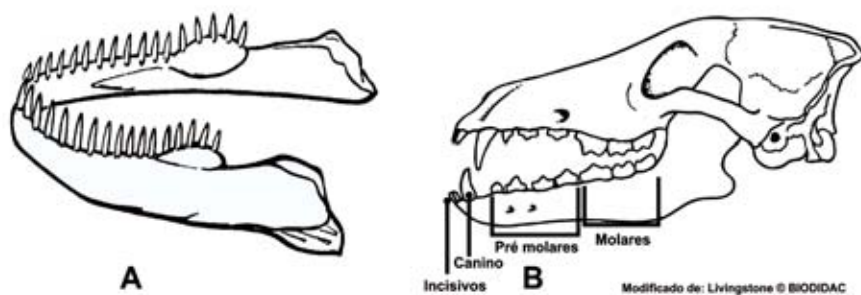
Estrutura geral de um dente.

Diferentes tipos de implantação dos dentes podem ser observadas. Os peixes cartilagosos possuem seus dentes fixos à pele por meio de fibras colágenas, formando uma “espiral de dentes” que fica sobre as maxilas. Porém, a maior parte dos vertebrados possui dentes ancorados nos ossos das maxilas. Os dentes associados a esses ossos podem ser divididos em: 1) Pleurodonte, que se fixa lateralmente às maxilas; 2) Acrodonte, praticamente não têm raízes, ficando assentados sobre a margem dos ossos das maxilas, aos quais se prendem por um contínuo de tecidos duros; 3) tecodonte, dente com raiz, que fica no interior de cavidades nos ossos que formam as maxilas.



Tipos de dentes de alguns vertebrados: em espiral (A), acrodonte (B), pleurodonte (C) e tecodonte (D).

Com relação à substituição dos dentes, duas situações são possíveis: os animais podem ser polifiodontes, ocorrendo várias trocas de dentes ao longo de sua vida, ou podem ser difiodontes, onde apenas duas trocas são observadas. Este último é típico dos mamíferos. Os dentes podem ainda ser classificados em isodontes (e.g. peixes, lagartos), se forem similares entre si, ou heterodontes (mamíferos), neste caso possuem formas e funções distintas. A heterodontia foi um dos fatores que permitiu aos mamíferos realizar parte do processamento do alimento na boca, por meio da mastigação.



Dentes do tipo isodontes (A) e heterodontes (B).

TUBO DIGESTÓRIO PROXIMAL

Após esta breve explanação sobre os dentes, vamos retornar às regiões e estruturas que formam o sistema digestório. O trecho seguinte à região cranial do tubo digestório é conhecido como tubo digestório proximal, que compreende o esôfago e o estômago. Alguns autores adotam também o termo intestino cranial. Este trecho é responsável pela condução, armazenamento e digestão do alimento.

O esôfago conduz o alimento até as áreas digestivas, estabelecendo então uma ligação entre a faringe e o estômago. Seu revestimento é normalmente muito dobrado e altamente distensível, formado por células tipicamente pavimentosas estratificadas. Em animais que consomem alimento áspero, estas células são cornificadas. Outros tipos de epitélio também são observados, como em vários peixes marinhos que apresentam uma forma colunar e vascularizada e em agnatas e vários outros vertebrados que podem apresentar células ciliadas. No esôfago são encontradas fibras musculares lisas, que como já comentado em outras aulas, possuem ação involuntária. Neste caso esta musculatura contribui com os movimentos peristálticos, responsáveis pela movimentação do alimento no interior deste tubo.

Nos peixes o esôfago normalmente é curto com pregas ou papilas, podendo apresentar-se fundido ao estômago. Já nos anfíbios esta estrutura também é curta, mas com células ciliadas e várias glândulas mucosas. Nos répteis o esôfago se alonga de forma a acompanhar o aumento no comprimento do pescoço. Nestes pode ser ciliado, nas espécies que ingerem alimento mais macio, ou cornificado em algumas tartarugas. O esôfago das aves é longo e normalmente cornificado. Várias espécies apresentam uma dilatação em sua parte caudal, o papo, que funciona como reservatório de alimento para os filhotes ou para si próprio. Columbiformes (pombos, rolinhas e afins) e algumas espécies de pinguins têm a capacidade de produzir no esôfago substâncias nutritivas, para alimentar seus filhotes, conhecidas como “leite do papo”. Na realidade o “leite do papo” consiste de células provenientes do descamamento das paredes do esôfago. Possui composição mais ou menos semelhante ao leite dos mamíferos. Veja no quadro seguinte uma análise comparativa entre os componentes do “leite do papo” das aves e o leite de um mamífero. No caso dos mamíferos, o esôfago é longo, sem cílios e é cornificado nas espécies que ingerem alimentos ásperos.

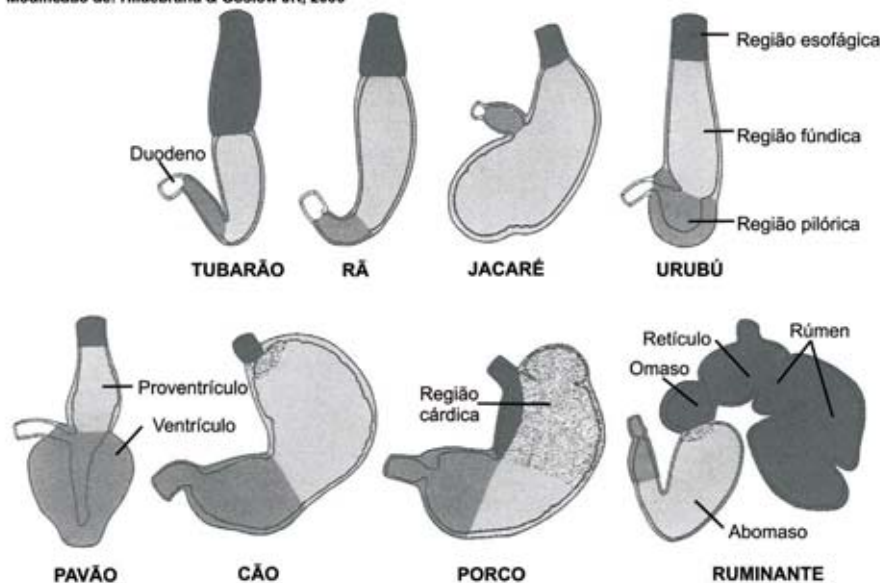
Quadro 1. Análise comparativa entre os componentes do “leite do papo” das aves e o leite dos mamíferos.

Componentes	Pombo	Pingüim	Coelho
Proteína	57,4	59,3	50,6
Lipídeo	34,2	28,3	34,3
Carboidrato	0	7,8	6,4
Mínerais	6,5	4,6	8,4

Fonte: Schmidt-Nielsen. 2002. Fisiologia Animal. Adaptações e Meio Ambiente. Livraria Santos

Outro componente do tubo digestório proximal é o estômago, que com base em sua estrutura microscópica e função desempenhada pode ser dividido em várias regiões. A porção mais cranial do estômago é conhecida por região esofágica, por possuir estrutura microscópica semelhante à do esôfago. Essa região é revestida por epitélio pavimentoso estratificado, responsável pela produção de muco, e apresenta-se mais expandida em animais que ingerem alimentos ásperos. Em mamíferos existe outra porção produtora de muco, a região cárdica, cujo epitélio é formado por células colunares. A parte digestiva do estômago é chamada de região fúndica, representada por uma área de revestimento espessado com densa camada de glândulas gástricas tubulares retas. Essas glândulas são responsáveis pela produção do suco gástrico onde estão presentes principalmente o ácido clorídrico e o pepsinogênio. Este ácido é responsável por manter o pH baixo na luz do estômago, importante para que o pepsinogênio seja convertido na enzima pepsina que vai auxiliar na digestão de proteínas. Na parte mais caudal do estômago temos a região pilórica, que possui glândulas tubulares enoveladas que também produzem muco. Entre o esôfago e o estômago encontramos o esfíncter cárdico e entre o estômago e o intestino, o esfíncter pilórico, ambos formados por fibras circulares. Essas estruturas são responsáveis pelo controle da passagem ou permanência do alimento, em digestão, nas partes do tubo digestório anteriormente discutidas.

Modificado de: Hildebrand & Goslow JR, 2006

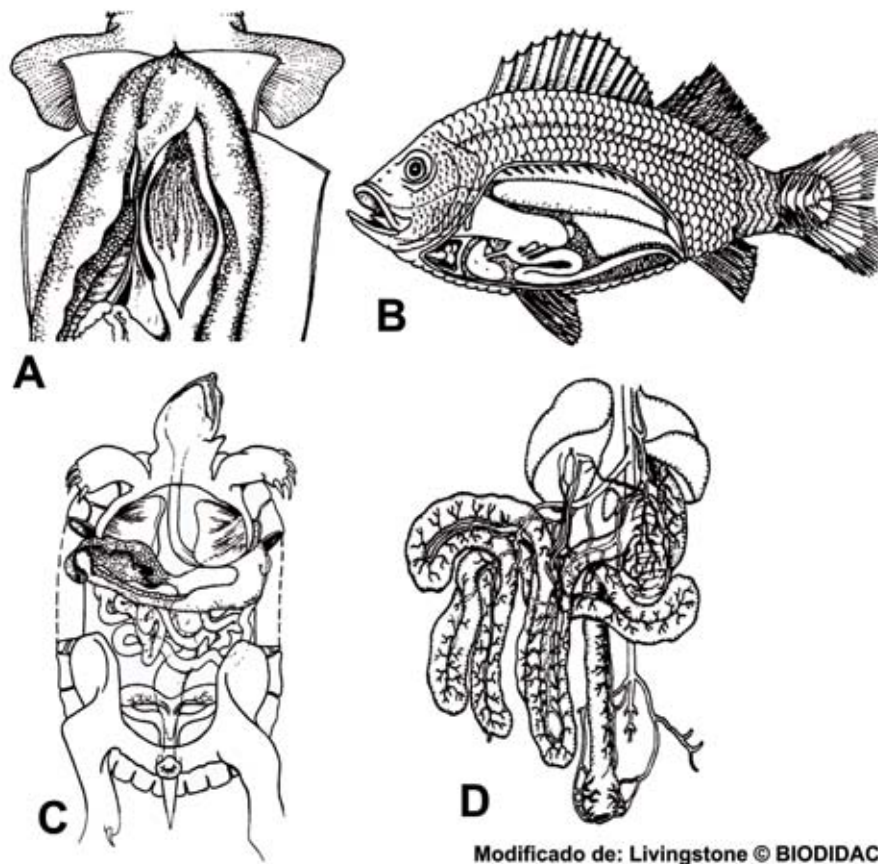


Estômagos de alguns vertebrados.

Os estômagos dos peixes são normalmente retilíneos ou em forma de um J ou de um U. Na maioria dos casos são grandes, podendo também ser reduzidos ou ausentes em quimeras, peixes pulmonados, entre outros

Cordados I

que se alimentam apenas de alimento finamente particulado. Anfíbios e répteis possuem estômagos simples e ligeiramente curvos, com exceção dos crocodilianos que são arredondados e muito musculosos. Nas aves o estômago está dividido em duas regiões: o proventrículo (estômago químico) e a moela (estômago mecânico). A primeira região possui várias glândulas responsáveis pela produção de enzimas, importantes na digestão química do alimento. Já a segunda é muito musculosa e pode apresentar um revestimento córneo adaptado a triturar alimentos duros. Algumas aves inclusive engolem algumas pequenas pedras para auxiliar na maceração do alimento no interior da moela.



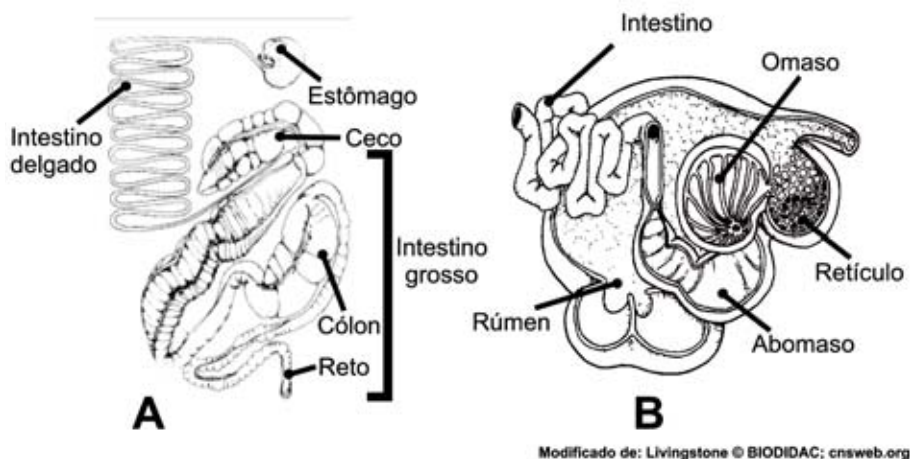
Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Forma dos estômagos de um tubarão (A), de um peixe ósseo (B), e um quelônio (C) e de uma ave (D).

Mamíferos podem apresentar estômagos simples e saculiforme ou completamente divididos em câmaras (ruminantes). No caso dos mamíferos herbívoros a digestão da celulose tem a participação de microorganismos simbiotes que vivem associados ao estômago ou ao ceco. São eles os reais produtores da celulase, responsável pela quebra da celulose em formas utilizáveis por estes animais. Os mamíferos herbívoros podem ser

divididos em monogástricos (fermentadores no intestino) ou poligástricos (ruminantes). Os monogástricos (e.g. cavalos, elefantes, coelhos) possuem estômago simples, porém o ceco e o cólon (grande intestino) são aumentados. Já os ruminantes (e.g. boi, búfalos) possuem o estômago dividido em três câmaras responsáveis pelo armazenamento e processamento do alimento, seguidas de uma quarta câmara lugar onde a digestão ocorre. Na sequência estas câmaras recebem os nomes de rumem, retículo, omaso e abomaso (estômago verdadeiro). Os camelos são semelhantes aos demais ruminantes, porém perde uma das câmaras, o omaso.

Ao contrário dos herbívoros monogástricos, os ruminantes não mastigam muito seu alimento inicialmente. Isto se deve ao fato de as paredes celulares serem quimicamente rompidas no estômago e dos bolos alimentares retornarem à boca para serem remastigados. O alimento fica retido inicialmente nas duas primeiras câmaras (rumem e retículo), local onde as enzimas provenientes de microorganismos simbiotes quebram a celulose. O bolo alimentar volta repetidas vezes à boca para ser remastigado, e só passa do retículo para as duas próximas câmaras (omaso e abomaso), no momento em que estão bem particularizados.



Estômagos de mamíferos monogástricos (A) e ruminantes (B).

Pequenos herbívoros monogástricos como coelhos e roedores, fermentam seu alimento principalmente no ceco, o que faz com que boa parte dos nutrientes não seja aproveitado. Porém estes animais possuem um hábito coprofágico, e ao ingerir as fezes iniciais acabam por aproveitar melhor os nutrientes do alimento.

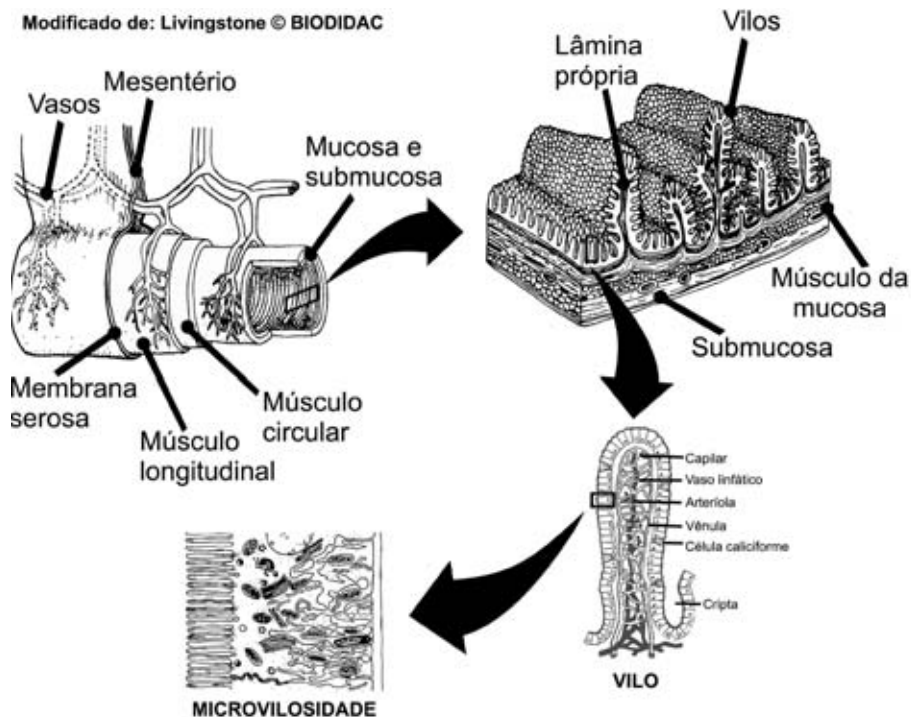
TUBO DIGESTÓRIO MÉDIO E INTESTINO DISTAL

As próximas regiões a serem discutidas são conhecidas como tubo digestório médio e intestino distal. A primeira compreende o que chamamos

Cordados I

de intestino delgado e a segunda o intestino grosso. Essas regiões são os principais locais da digestão química das proteínas, gorduras e carboidratos, que ocorrem normalmente em meio alcalino. São também responsáveis pela absorção de nutrientes e da água. Essas duas partes do tubo digestório serão trabalhadas de forma mais ou menos simultâneas, visto que alguns vertebrados não possuem qualquer tipo de distinção entre elas.

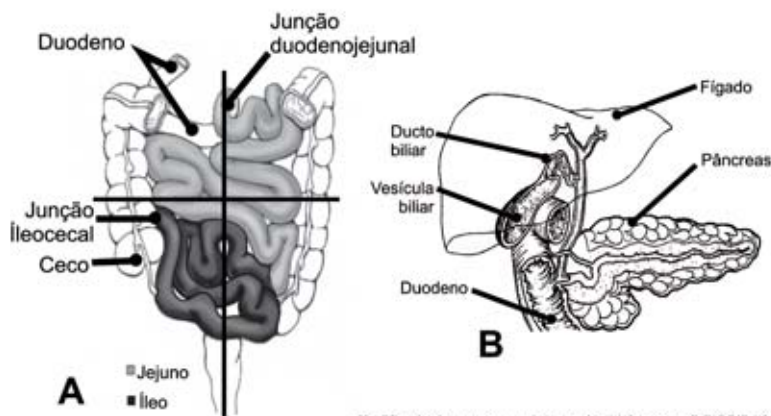
Se fizermos um corte transversal no intestino delgado poderemos identificar várias camadas. A mais interna, e também considerada uma das principais, é denominada de mucosa. Ela consiste de um epitélio superficial, de uma lâmina própria mais profunda e de uma muscular da mucosa. Na seqüência, temos a submucosa, formada por tecido conjuntivo frouxo contendo nervos, capilares, ductos e nódulos linfáticos. A camada que recobre externamente a submucosa é conhecida por muscular externa, que é formada por fibras lisas. Revestindo todas as camadas anteriormente relatadas, temos uma membrana serosa. Internamente, o intestino apresenta pregas, pequenas projeções (vilosidades) e mesmo projeções menores (microvilosidades), que acabam por aumentar a área superficial do intestino, garantindo assim uma maior absorção de nutrientes.



Corte transversal de um intestino delgado evidenciando as dobras, vilosidades e microvilosidades.

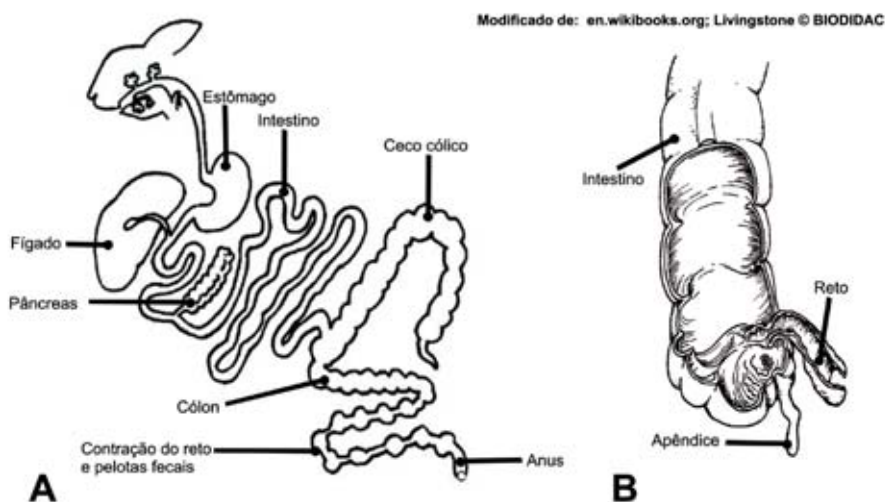
O intestino delgado dos vertebrados é dividido em três regiões: 1) duodeno, secreta muco e líquidos, e recebe as secreções dos ductos provenientes do fígado e do pâncreas; 2) jejuno, parte responsável pela secreção

de líquidos, e está envolvido na digestão e absorção de nutrientes; 3) íleo, região mais caudal do intestino que atua primariamente na absorção de nutrientes, embora algumas secreções possam ocorrer neste local. Funções secretoras do epitélio duodenal são suplementadas por secreções do fígado (bile) e do pâncreas (suco pancreático, composto por proteases, lípases e carboidrases). A bile emulsifica a gordura, auxiliada por movimentos do intestino, aumentando o contato das enzimas com a gordura.



Divisões do intestino delgado de um homem (A) e estrutura de um fígado e de um pâncreas (B).

Nos tetrápodes existe certa distinção entre a região cranial e caudal do intestino, recebendo inclusive nomes diferenciados, intestino delgado, para o primeiro e intestino grosso, para o último. Entre essas duas regiões é possível encontrar um ou dois divertículos de aspecto saculiformes, os cecos cólicos. Esta(s) estrutura(s) atua(m) na estocagem, fermentação ou concentração de vitaminas. São mais desenvolvidas nos mamíferos herbívoros monogástricos, e no homem é representado pelo apêndice.



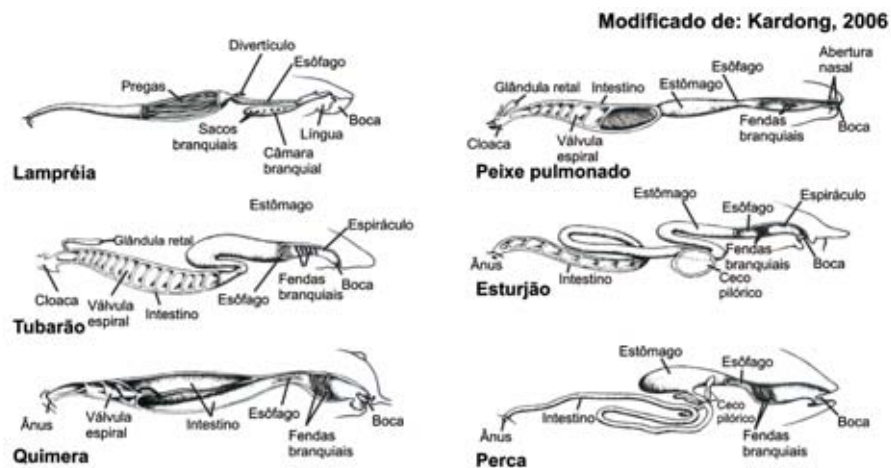
Aspecto de um ceco cólico de um coelho (A) e do apêndice de um homem (B).

Cordados I

O tubo digestório dos peixes agnatos não possui grande diferenciação regional, se estendendo sem curvas da faringe à cloaca. Na mucosa intestinal das lampreias existe uma prega conspicua que se estende longitudinalmente ao longo do intestino formando uma espiral não muito pronunciada.

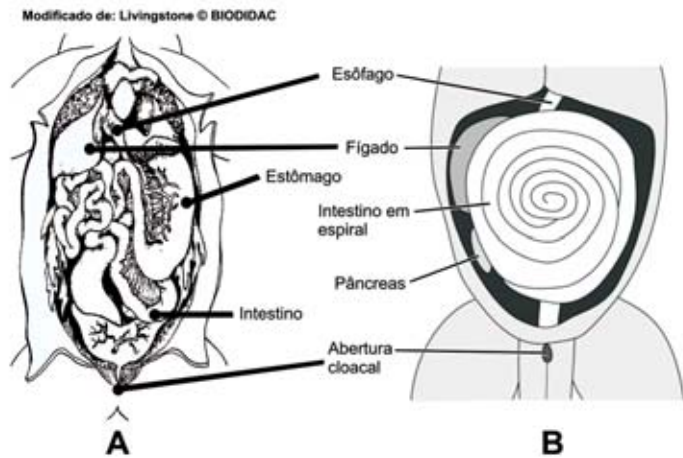
Em tubarões e raias houve um aumento no comprimento do tubo digestório, impossibilitando um trajeto retilíneo deste através da cavidade celomática. Assim, ele passa a se dobrar assumindo uma forma de um “N”. No trecho final do intestino encontramos uma válvula em espiral, formada por uma prega proeminente da mucosa, que cresce para fora da parede enrolando-se sobre si mesma. O resultado é uma forma que lembra uma escada em espiral no interior de um tubo. A válvula espiral promove um aumento na superfície de absorção dos nutrientes. Associado à parte final do trato digestório de tubarões e raias existe também uma glândula retal, responsável pela retirada do excesso de sal do corpo do animal. Nos peixes cartilaginosos um reto curto está presente, unindo-se a cloaca, exceção das quimeras, que não possuem a última estrutura. Nessas, o tubo digestório se abre para o meio externo através de um ânus.

Os peixes ósseos possuem intestinos variados, raramente retilíneos. Seu comprimento pode ser curto até mais de 12 vezes o tamanho do corpo. Os teleósteos não possuem um intestino em espiral, salvo algumas espécies que se alimentam de algas e sedimentos (e.g. cascudos, curimatá). Divertículos estão presentes entre o estômago e o intestino da maioria dos peixes de nadadeiras raiadas. Estas estruturas são conhecidas por cecos pilóricos, e têm por função aumentar a área superficial do intestino. Com exceção dos peixes pulmonados e *Crossopterygii* (celacanto), que possuem cloaca, todos os demais peixes ósseos o tubo digestório termina em um ânus. A glândula retal também está ausente nos osteícties.



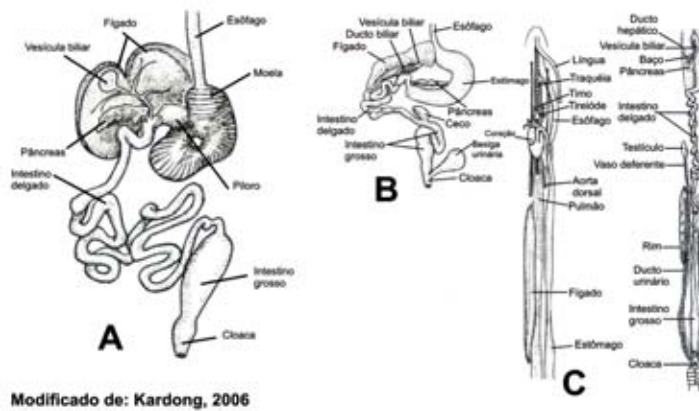
Formas dos intestinos de algumas espécies de peixes agnatos, cartilaginosos e ósseos.

Nos anfíbios encontramos intestinos longos e enrolados nos girinos e relativamente curtos e simples nos adultos (de um 1/3 a 3,4 vezes o comprimento do corpo). Entre os dois intestinos pode haver um único ceco cólico pequeno. Intestinos, delgado e grosso, são distintos, com o último sendo bem mais curto que o primeiro e se abrindo em uma cloaca.



Sistema digestório dos anfíbios anuros: adulto (A) e de um girino (B).

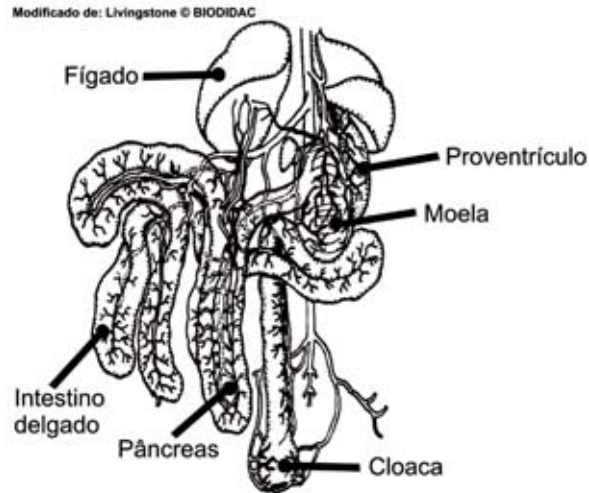
A maioria das serpentes e cobras de duas cabeças possui o intestino retilíneo, porém esta estrutura é moderadamente enrolada nos outros répteis. Intestino delgado e intestino grosso também são distintos, podendo haver entre eles um ceco cólico.



Sistemas digestórios dos répteis: crocodiliano (A), lagarto (B) e de uma serpente (C).

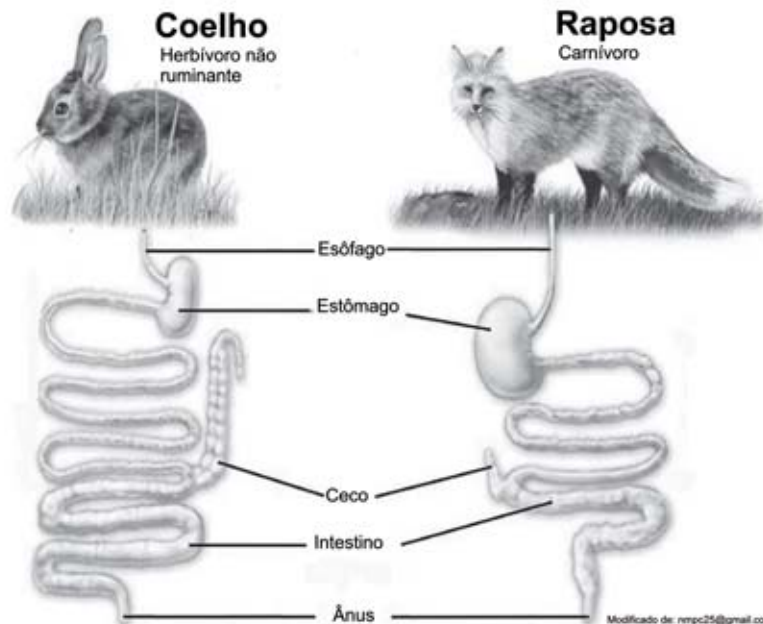
Nas aves o duodeno sempre forma uma longa e estreita alça, unida pelo pâncreas. Na sequência temos ainda o restante do intestino delgado que é relativamente longo e um intestino grosso curto. Dois cecos cólicos de tamanho considerável normalmente estão presentes unidos ao intestino. Uma cloaca também está presente neste grupo e associada a ela dorsalmente existe um divertículo, a bolsa cloacal (bolsa de Fabrício) é responsável pela produção de anticorpos.

Cordados I



Sistema digestório de uma ave.

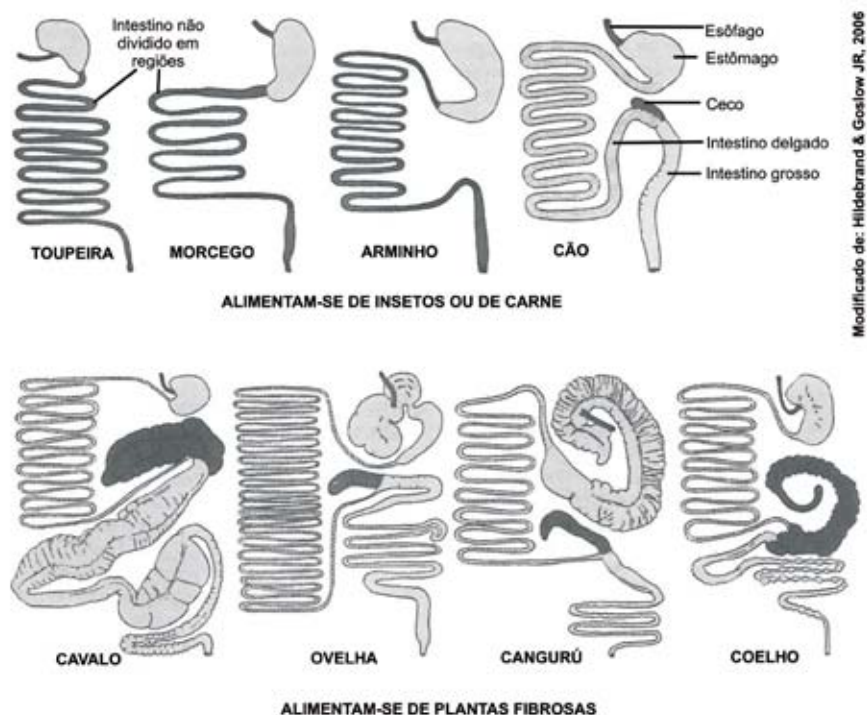
Os mamíferos apresentam grande variação no comprimento do intestino podendo em algumas espécies atingir proporções 25 vezes maiores do que o próprio comprimento do corpo. O padrão de dobramento do intestino delgado neste grupo é menos regular do que o das aves, e o intestino grosso é normalmente mais longo e volumoso, principalmente nos herbívoros. O ceco cólico pode ser par, porém o mais comum é ter apenas um. Nos mamíferos herbívoros, esta estrutura é mais desenvolvida, sendo o local, onde microorganismos simbiotes produzem a celulase, indispensável na digestão da celulose.



Exemplos de sistemas digestórios dos mamíferos: herbívoro (coelho) e de um carnívoro (raposa).

INTESTINO E SUAS ADAPTAÇÕES

Os hábitos alimentares dos vertebrados estão amplamente refletidos na estrutura de seus trato digestórios. Espécies que consomem alimentos muito pequenos de fácil e rápida digestão não necessitam de grandes áreas de estocagem. Nestes casos os trato digestórios são relativamente curtos, com estômagos pequenos ou ausentes e intestinos relativamente retilíneos. Carnívoros, necrófagos e piscívoros, possuem intestino em geral curto, mas as áreas de estocagem são relativamente grandes. A parte caudal do intestino dos carnívoros é curta e os cecos são pequenos ou ausentes. Vertebrados insetívoros possuem estômagos também amplos, podendo ser altamente cornificados e musculares em algumas espécies. Espécies onívoras possuem intestinos um pouco mais longos com maior separação entre as partes cranial e caudal. Por último temos os herbívoros, que consomem alimentos de valor nutritivo relativamente baixo, necessitando comer grandes volumes para compensar. Como já comentado anteriormente, esses animais não conseguem digerir este tipo de alimento pelo menos não na forma em que ele chega, por isso bactérias e protozoários entram em ação, quebrando essas moléculas em formas utilizáveis por esses organismos. Como a fermentação da celulose exige um tempo grande de permanência no corpo regiões do trato digestório tiveram que se desenvolver como o estômago em ruminantes ou o ceco nos monogástricos.

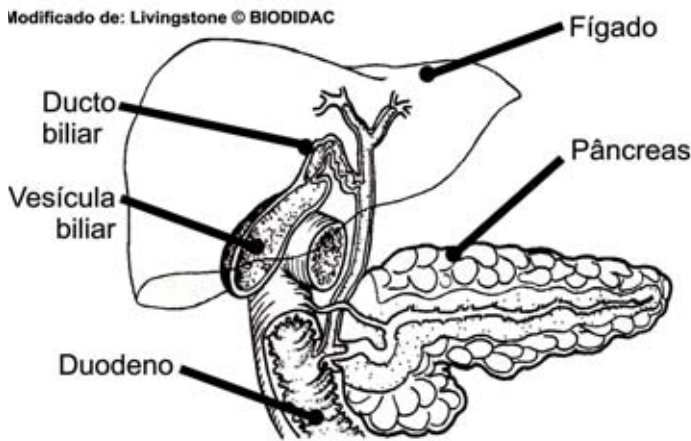


Varição funcional do intestino nos mamíferos.

FÍGADO E PÂNCREAS

Associado ao trato digestório temos órgãos acessórios como o fígado e o pâncreas. O fígado é o maior órgão do corpo possuindo funções muito diversificadas. Ele serve como depósito de carboidrato ou gordura, elabora grande parte do vitelo transferido aos ovos em crescimento, remove toxinas do sangue, secreta a bile para emulsificação das gorduras etc. A bile produzida no fígado é armazenada temporariamente na vesícula biliar antes de ser conduzida ao duodeno por meio do ducto biliar. Em geral o fígado é lobado, sendo mais comum dois lobos. A vesícula biliar está ausente em lampreias adultas, diversos teleosteos e em algumas espécies de aves e de mamíferos herbívoros.

O pâncreas é um órgão exclusivo dos vertebrados. Possui uma coloração pálida, e fica adjacente ao duodeno. Possui tanto função exócrina (secretando para um sistema de ductos) como endócrina (secretando para o sangue). O suco pancreático contribui com uma variedade grande de enzimas responsáveis pela digestão de quase todos os tipos de compostos alimentares ingeridos pelos animais.



Fígado e pâncreas de um homem.

CONCLUSÃO

Como você pode notar, a morfologia do trato digestório nos diz muito sobre os hábitos alimentares dos vertebrados e até mesmo um pouquinho sobre onde o organismo vive. Grande parte dos vertebrados aquáticos, por exemplo, não possuem glândulas salivares, uma vez que o meio em que vivem por si só já contribui com toda a lubrificação necessária à passagem do alimento no trato digestório. Animais que ingerem volumes muito grandes de alimento, necessitam de amplas áreas de estocagem. Alimentos de difícil digestão tendem a permanecer mais tempo no corpo, para um melhor aproveitamento, levando muitas vezes a um aumento considerável no comprimento do intestino. Mesmo o grau de maciez ou aspereza do alimento utilizado pode ser inferido com base no nível de cornificação do trato digestório. Mas independentemente de tudo, a evolução tende a privilegiar em cada organismo o caminho mais seguro (ação de predadores) e o de maior retorno energético para o mesmo.

RESUMO

Ao conjunto de estruturas responsáveis pela captação do alimento, digestão química e mecânica, absorção de nutrientes e eliminação de seus resíduos é dado o nome de sistema digestório. A principal função atribuída a este sistema é a digestão, que se refere ao processo no qual grandes e complexas moléculas são quebradas em subprodutos absorvíveis e utilizáveis pelo corpo. A digestão pode ser dividida em intracelular e extracelular. A primeira ocorre em vacúolos digestivos no interior das células, e a segunda externamente a mesma, estando normalmente associada a um trato digestório bem desenvolvido. Os tratos digestórios podem ser incompletos (mesma abertura para a entrada do alimento e saída dos resíduos) ou completos (presença de boca e ânus ou cloaca, distintos). O tubo digestório pode ser dividido em cefálico (boca, faringe e estruturas associadas), proximal (esôfago e estômago), médio (intestino delgado) e intestino distal (intestino grosso). Além das regiões citadas, órgãos acessórios importantes fazem parte deste sistema como o fígado, responsável pela produção da bile que auxilia o processo de digestão dos lipídeos e o pâncreas que fornece o suco pancreático onde encontramos enzimas variadas capazes de digerir quase todos os tipos de alimentos. O sistema digestório apesar de apresentar estruturas correspondentes entre os vertebrados, apresenta-se bem diferenciado nos mesmos. Este sistema está fortemente adaptado aos tipos de alimentos consumidos e aos ambientes ocupados. Através de suas características é possível inclusive inferir, com grande grau de acerto, sobre os hábitos alimentares adotados pelos animais.



ATIVIDADES

A atividade proposta tem por objetivo promover uma análise comparativa dos sistemas digestórios de peixes, anfíbios, aves e mamíferos. Relacionar as características do trato digestório de cada animal com a dieta do mesmo. Para isso será necessário um espécime (fixado) de cada grupo previamente preparado de forma que as estruturas que formam o sistema digestório fiquem evidentes. O uso de peças fixadas apesar da perda de algumas características como cor e textura, garante o uso de um número menor de animais por um tempo relativamente longo, desde que manipulados com cuidado.

Dito isso vamos às estruturas que deverão ser observadas em cada grupo.



PEIXE ÓSSEO

Cavidade oral e faringe

- Boca
- Cavidade oral
- Faringe – local onde se encontram os arcos branquiais
- Esôfago (parte cranial) – melhor observado quando se levanta os arcos branquiais

Cavidade peritoneal

- Esôfago (parte caudal) – tubo entre a faringe e o estômago
- Estômago
- Intestino – origem após os cecos pilóricos, quando presentes
- Fígado
- Vesícula biliar – envolta pelos lobos hepáticos, abre-se no duodeno por meio de vários ductos
 - Pâncreas – do tipo difuso
 - Baço – estrutura alongada localizada ventralmente ao estômago (obs. faz parte do sistema imune, porém é interessante ser visualizado nesta aula devido a sua relação topográfica).

ANFÍBIO – rã

Cavidade oral e faringe

- Língua – verificar a forma com que se prende.
- Coanas – aberturas na porção rostral que comunicam a cavidade nasal com a oral.
 - Aberturas das trompas faringotimpânicas – localizadas caudalmente à saliência dos olhos.
- Abertura do esôfago – fenda transversal no fundo da cavidade oral.
- Glote – abertura em fenda longitudinal na laringe.
- Faringe – região imediatamente atrás da cavidade oral.

Cavidade peritoneal

- Esôfago – tubo curto que liga a faringe ao estômago
- Estômago
- Intestino delgado – após o estômago, está dividido em duodeno (parte cranial, equivale a primeira alça intestinal), jejuno (região mediana) e íleo (porção caudal)
 - Intestino grosso – tubo curto e alargado que se estende pela região pélvica
 - Pâncreas – estrutura alongada de cor rosada localizada no mesentério entre o estômago e a alça duodenal
 - Fígado – com dois lobos
 - Vesícula biliar – estrutura globular entre os lobos hepáticos

- Baço – estrutura compacta globosa, localizada no mesentério, dorsalmente às alças intestinais
- Cloaca – sua abertura externa é uma fenda dorso-ventral

AVE – pombo

Cavidade oral e faringe

- Língua – rígida, com revestimento córneo
- Palato – com fenda longitudinal onde se abre as coanas
- Faringe – porção caudal da cavidade oral
- Abertura das trompas faringotimpânicas – abertura única após as coanas
- Glote – abertura da laringe

Região cervical

- Esôfago
- Papo – dilatação na base do esôfago

Cavidade peritoneal

- Proventrículo – porção cranial e glandular do estômago
- Moela – porção caudal e muscular do estômago
- Intestino delgado (duodeno, jejuno e íleo)
- Intestino grosso – reto e curto, fica logo depois dos cecos cólicos (projeções laterais entre os dois intestinos)
- Cecos cólicos – divertículos anteriormente relatado
- Fígado – dividido em dois lobos, um de cada lado do coração. No pombo doméstico não há vesícula biliar.
- Pâncreas – na alça duodenal
- Baço – estrutura alongada, envolta pelo lobo hepático esquerdo e o estômago
- Cloaca
- Bolsa de Fabrícus – saco de fundo cego localizado na região dorsal da cloaca.

MAMÍFERO - rato

Glândulas salivares

- Parótidas – possui forma arborescente. Localizada na região ventral do pescoço até a região temporal do crânio ou região do ouvido.
- Submaxilares – possuem contornos lisos, são mais alongadas no eixo crânio-caudal. Localizadas próximas à linha mediana ventral do pescoço
- Sublinguais – posicionadas sobre a face crânio-ventral das glândulas submaxilares.

Cavidade oral e faringe

Cordados I

- Vestíbulo – espaço entre as bochechas, lábios e dentes
- Dentes
- Língua
- Palato duro – com cristas transversais
- Palato mole – continuação caudal do palato duro

Cavidades torácica e abdominal

- Esôfago
- Diafragma – parede muscular que separa a cavidade torácica da abdominal
- Estômago
- Porção cárdica – onde se localiza a abertura do esôfago
- Porção fúndica – região média
- Porção pilórica – constrição caudal; comunicação com o duodeno
- Grande curvatura – ventral
- Pequena curvatura - dorsal
- Intestino delgado – duodeno, jejuno e íleo
- Intestino grosso
- Ceco intestinal – em fundo cego, próximo ao íleo
- Cólon ascendente – do lado direito
- Cólon transverso
- Cólon descendente – do lado esquerdo
- Reto – continuação do cólon descendente
- Fígado – vários lobos
- Vesícula biliar
- Pâncreas – estrutura arborescente pouco compacta, situada no mesentério próximo ao duodeno
- Ducto pancreático – liga o pâncreas ao duodeno
- Baço – estrutura alongada situada dorsalmente ao estômago.



PRÓXIMA AULA

Em nossa próxima aula serão abordadas as estruturas responsáveis pela remoção de excretas, manutenção do ambiente interno e perpetuação da espécie. Em conjunto elas formam o que chamamos de sistema urogenital.



AUTO AVALIAÇÃO

Antes de passar ao próximo conteúdo procure avaliar mentalmente o que foi visto em cada tópico, as principais características e adaptações aos ambientes em que os animais estão inseridos. Só passe para a aula seguinte quando realmente estiver seguro sobre o conteúdo trabalhado.

REFERÊNCIAS

- HILDEBRAND, M.; GOSLOW- JR, G.E. **Análise da estrutura dos vertebrados**. 2 ed. São Paulo, Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2006.
- HÖFLING, E.; et al. Chordata. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo. 1995.
- KARDONG, Kennet K. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2006.
- POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4 ed. São Paulo Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2008.
- WALKER-JR, W.F.; LIEM, K.F. **Functional Anatomy of the Vertebrates**. 2 ed. Sauders College Publishing. Orlando, Florida. 1994.