

# ESTUDO DO MOVIMENTO

EDITOR

PEDRO PEZARAT CORREIA



2<sup>a</sup> Edição

*f* MH edições

FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA

| UNIVERSIDADE DE LISBOA

# ESTUDO DO MOVIMENTO

2<sup>a</sup> Edição

Editor  
Pedro Pezarat Correia



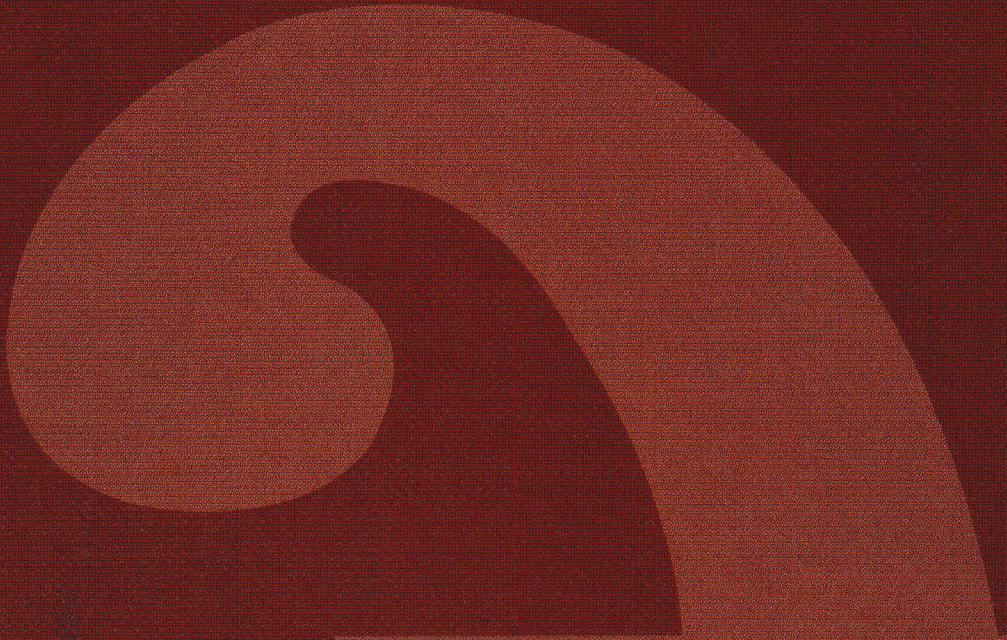
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA | UNIVERSIDADE DE LISBOA

## ÍNDICE

<b>OSTEOLOGIA E ARTROLOGIA</b>	7
Pedro Pezarat Correia, Margarida Espanha, Augusto Gil Pascoal	
<b>MILOGIA</b>	29
Pedro Pezarat Correia, Augusto Gil Pascoal	
<b>CONTROLO E COORDENAÇÃO DO MOVIMENTO</b>	45
Pedro Pezarat Correia	
<b>ANÁLISE DA PARTICIPAÇÃO MUSCULAR NO MOVIMENTO</b>	63
Pedro Pezarat Correia, Sandro Freitas, Raúl Oliveira	
<b>CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DA VIDA ORGÂNICA INTERNA</b>	81
Pezarat Correia e Margarida Espanha	

# Osteologia e Artrologia

Pedro Pezarat Correia  
Margarida Espanha  
Augusto Gil Pascoal



## 1. Noções anatómicas fundamentais

No estudo da anatomia humana a descrição de estruturas corporais obriga a que consideremos uma posição de referência designada por Posição Descritiva Anatómica. Nesta posição (Figura 1), imaginamos o indivíduo em pé, com os pés paralelos e orientados para a frente, os membros superiores ao longo do tronco e as palmas das mãos viradas para a frente, ou seja, com os antebraços em supinação.

Em relação à Posição Descritiva Anatómica, definem-se planos imaginários de orientação do corpo humano no espaço que nos permitem identificar um conjunto de conceitos descritivos no estudo anatómico e morfológico. Destacam-se os seguintes planos principais: sagital médio, frontal médio e horizontal médio. O plano sagital médio é um plano vertical que passa pelo meio da coluna vertebral, dividindo o corpo em duas metades: direita e esquerda. Quando comparamos dois pontos do corpo, o que está mais próximo desse plano diz-se interno e o que está mais afastado descreve-se como externo. O plano frontal médio ou coronal é também um plano vertical que divide o corpo nas partes anterior (à frente) e posterior (atrás). O plano horizontal médio é um plano paralelo ao solo que passa pela base do sacro, dividindo o corpo numa porção superior e outra inferior.

Para além dos termos atrás referidos – interno e externo, anterior e posterior, superior e inferior –, também se utilizam na descrição anatómica os conceitos de proximal (algo mais próximo da cabeça) e distal (algo mais distante da cabeça).

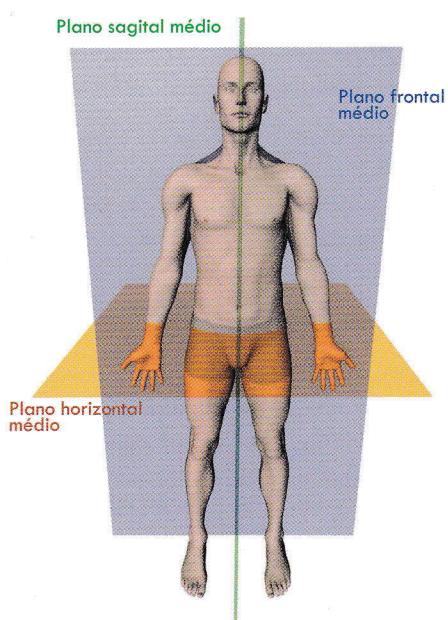


Figura 1 – Posição Descritiva Anatómica e planos anatómicos.

## 2. Organização tecidual

As células dos organismos multicelulares, como o organismo humano, apresentam uma especialização e diferenciação celulares que levaram células de características semelhantes a agruparem-se. Surge, desta forma, a noção de tecido: conjunto de células, com características morfológicas e fisiológicas semelhantes, e da substância que as envolve, a substância intercelular.

Consideram-se quatro tipos de tecido fundamentais, cada um com características adaptadas a determinado tipo de funções: (1) o tecido epitelial, que tem como função principal revestir superfícies corporais, exteriores ou interiores, desempenhando também funções de receção de estímulos sensoriais e de secreção glandular; (2) o tecido conjuntivo, que serve de suporte e ligação de estruturas; (3) o tecido nervoso, responsável pelas funções de regulação e controlo; (4) o tecido muscular, que responde a estímulos através da contração, ou seja, que tem capacidade de desenvolver força. Cumprindo funções distintas, estes diferentes tipos de tecido complementam-se na constituição dos diferentes órgãos e agem em interligação constante, em função de um objetivo comum: a manutenção da vida do organismo num ambiente que exige permanente capacidade de adaptação.

## 3. Tecido conjuntivo

O tecido conjuntivo é o mais abundante do organismo e desempenha funções diversas, o que se espelha nas suas diferentes variedades. Apesar de os tipos de tecido conjuntivo apresentarem diferenças na constituição, que estão de acordo com as funções específicas que preenchem, a sua composição obedece a um modelo de organização geral que é comum. Assim, podemos caracterizar genericamente o tecido conjuntivo como sendo constituído por diversos tipos de células separadas por uma matriz intercelular composta de fibras e substância fundamental.

A substância fundamental é uma substância amorfia e incolor que preenche os espaços localizados entre as células e as fibras. A sua composição e consistência dependem do tipo de tecido conjuntivo, variando entre a grande dureza que se encontra no osso e a consistência gelatinosa da parte central dos discos intervertebrais. As células no tecido conjuntivo são responsáveis por sintetizar e manter os elementos que se encontram no meio extracelular. O tecido conjuntivo contém três tipos de fibras: de colagénio, elásticas e reticulares. As fibras de colagénio são as mais abundantes, distinguindo-se pela elevada resistência ao alongamento. Encontram-se, por isso, em estruturas que têm que possuir grande resistência à tração. De referir também as fibras elásticas, mais finas do que as de colagénio e,

como o nome indica, com elasticidade considerável. A percentagem de cada um destes três tipos de fibras depende do tipo de tecido conjuntivo e das suas características funcionais. É a combinação dos três diferentes tipos de elementos previamente descritos – células, fibras e substância fundamental –, que origina a existência de variedades de tecido conjuntivo com propriedades distintas que preenchem funções particulares. Vejamos, em seguida, as características genéricas dos principais tipos de tecido conjuntivo.

## 2.1. Tecido conjuntivo propriamente dito

Nesta variedade de tecido conjuntivo existe um equilíbrio na proporção dos três tipos de componentes (células, designadas por fibroblastos, fibras e substância fundamental), sendo possível distinguir entre tecido conjuntivo laxo e tecido conjuntivo denso.

O tecido conjuntivo laxo é frágil, flexível e pouco resistente ao alongamento. É usado para ocupar espaços e ligar outros tecidos, frequentemente o tecido epitelial. Encontra-se, por exemplo, na membrana sinovial das articulações móveis.

O tecido conjuntivo denso é muito rico em fibras de colagénio, sendo por isso também designado por tecido fibroso. Distinguem-se duas variedades de tecido conjuntivo denso conforme a disposição espacial das fibras de colagénio. No tecido conjuntivo denso modelado, as fibras de colagénio formam feixes que se dispõem paralelamente uns aos outros, orientando-se de forma a resistir a forças de tração aplicadas numa determinada direção. É o tipo de tecido que constitui estruturas que suportam grandes tensões de alongamento, como os tendões e os ligamentos. No tecido conjuntivo denso não modelado, as fibras de colagénio não estão orientadas numa direção específica, encontrando-se organizadas nas três direções do espaço. O tecido não tem, assim, uma resistência com uma direção específica, mas apresenta uma boa capacidade para resistir a trações produzidas em qualquer direção. Encontra-se esta variedade de tecido conjuntivo, por exemplo, na cápsula articular.

## 2.2. Tecido cartilagíneo

Neste tipo de tecido estão ausentes os vasos sanguíneos e os nervos. É composto por uma substância fundamental abundante onde estão mergulhadas células (condroblastos e condrócitos) e fibras dos três tipos que, consoante a sua riqueza, permitem distinguir três variedades de tecido cartilagíneo: cartilagem hialina, cartilagem elástica e cartilagem fibrosa.

A cartilagem hialina tem uma cor branca azulada e é muito rica em fibras de colagénio. Está presente na laringe, na traqueia e nos brônquios, nas cartilagens costais, nos

ossos em crescimento, encontrando-se também a revestir as superfícies ósseas que estabelecem articulações móveis (superfícies articulares).

A cartilagem elástica apresenta grande quantidade de fibras elásticas. Encontra-se na orelha, na trompa de Eustáquio e na epiglote, importante cartilagem da laringe.

A cartilagem fibrosa, ou fibrocartilagem, tem também grande quantidade de fibras de colagénio e pode ser encontrada nos meniscos, nos discos intervertebrais e na sínfise púbica.

## 2.3. Tecido ósseo

O tecido ósseo está envolvido em várias funções, como a produção de movimento, o suporte de tecidos moles, a proteção de órgãos, o armazenamento de sais minerais e a formação de células sanguíneas. É composto por células separadas por matriz extracelular que é constituída por uma parte mineral muito rica em cálcio e fósforo, principalmente responsável pela resistência do tecido ósseo à compressão, e por fibras de colagénio que conferem ao osso a resistência à tração.

As células do tecido ósseo são de três tipos: os osteoblastos, os osteoclastos e os osteócitos. Os osteoblastos são as células responsáveis pela síntese da matriz e, após alguns dias de atividade, transformam-se em osteócitos, perdendo a sua capacidade de síntese. Os osteócitos são, portanto, as células ósseas definitivas resultantes do aprisionamento dos osteoblastos na matriz óssea. Os osteoclastos são as células ósseas responsáveis pela destruição da matriz óssea através da libertação de enzimas. Em função do equilíbrio entre a atividade produtora dos osteoblastos e a ação destruidora dos osteoclastos, o tecido ósseo está permanentemente sujeito a um processo de remodelação que lhe permite manter grande dureza e resistência, quer à compressão, quer à tração.

Existem duas variedades de tecido ósseo que se podem encontrar em locais diferentes do mesmo osso: o osso compacto, de aspecto denso, e o osso esponjoso, menos denso e com muitas cavidades.

## 3. O esqueleto ósseo

Os ossos que constituem o esqueleto humano apresentam formas que estão de acordo com a sua localização no corpo e com as funções que desempenham. Assim, os ossos são classificados com base na sua forma em três tipos: longos, chatos e curtos.

Nos ossos longos, o comprimento é a dimensão predominante, sendo que constituem a maioria dos ossos dos membros. São ossos longos os do braço (úmero), antebra-

ço (rádio e cúbito), metacarpo (metacárpicos) e dedos da mão (falanges), no membro superior, e os ossos da coxa (fémur), perna (tíbia e perónio), metatarso (metatársicos) e dedos do pé (falanges), no membro inferior. Estes ossos têm uma grande importância na mobilidade corporal, visto funcionarem como alavancas que participam em movimentos de grande amplitude. Os grupos musculares com ação mais importante nos membros inserem-se em ossos longos e é aí que atuam para deslocar o segmento corporal. Os ossos longos apresentam uma parte média (diáfise) e duas extremidades (epífises). A diáfise é cilíndrica, constituída por osso compacto que condiciona ao centro o canal medular que, no adulto, contém a medula amarela constituída essencialmente por células adiposas. As epífises são compostas por osso esponjoso coberto à superfície por uma fina camada de osso compacto. A zona de ligação entre a diáfise e a epífise (metáfise) é a região onde se verifica o crescimento do osso em comprimento até chegar à fase adulta.

Os ossos chatos apresentam uma espessura muito reduzida em comparação com as outras duas dimensões, o comprimento e a largura. A sua principal função consiste no revestimento de cavidades e proteção mecânica dos órgãos aí localizados. São ossos chatos os ossos da caixa craniana, que protegem o encéfalo, os ossos da face, que formam as diferentes cavidades aí existentes (cavidade orbitária, boca, fossas nasais); os ossos que revestem a caixa torácica (costelas, esterno, omoplata e clavícula) que aloja órgãos como o coração e os pulmões; e os ossos da bacia (ossos ilíacos e sacro) que contribuem para a proteção dos órgãos localizados na cavidade abdomino-pélvica. Os ossos chatos são constituídos, no interior, por osso esponjoso, revestido por duas camadas de tecido ósseo compacto.

Nos ossos curtos, nenhuma das três dimensões é predominante, apresentando uma forma aproximadamente cuboide. Incluem-se neste tipo as vértebras, os oito ossos do carpo e os sete ossos do tarso. Nestes ossos, predomina o tecido ósseo esponjoso, que é coberto à superfície por uma camada muito fina de osso compacto.

No esqueleto do embrião, os moldes dos futuros ossos têm já uma forma mais ou menos definida mas são constituídos por tecido conjuntivo fibroso, caso dos ossos chatos, ou por cartilagem hialina, como acontece nos ossos longos e nos ossos curtos. O processo de ossificação (transformação em tecido ósseo) começa por volta das seis semanas de vida do embrião. Nos ossos longos, o primeiro local de ossificação situa-se sensivelmente a meio da diáfise e designa-se por Ponto de Ossificação Primário. Mais tarde, outros dois pontos começam a ossificar, um em cada uma das epífises – Pontos de Ossificação Secundários. Em consequência do desenvolvimento do processo de ossificação nestes três pontos, a cartilagem restante localiza-se nas zonas de

união da diáfise com cada uma das epífises, ou seja, na metáfise, designando-se por Cartilagem de Conjugação. Uma das duas metáfises irá ossificar primeiro; a outra metáfise é identificada como metáfise fértil e assegura a continuação do crescimento do osso em comprimento até a sua cartilagem de conjugação se transformar em tecido ósseo.

O fim do crescimento do esqueleto não corresponde à interrupção da atividade de produção de tecido ósseo a partir das células ósseas, nem significa que os ossos tenham atingido uma forma definitiva. O tecido ósseo está em constante renovação, o que se deve ao equilíbrio entre a atividade de síntese dos osteoblastos e a ação destruidora dos osteoclastos. Dessa forma, produzem-se alterações na forma exterior, mas também na arquitetura interna do osso, em função das exigências funcionais a que este é submetido. A capacidade de renovação manifesta-se na reparação (regeneração do tecido ósseo em resposta a fratura) e na remodelação óssea (adaptação da massa e forma do osso às exigências mecânicas). A remodelação do osso reflete a grande capacidade do tecido ósseo para se adaptar em resposta a estímulos mecânicos, como a tração produzida pelos músculos nos pontos ósseos onde se inserem, ou a pressão exercida pelo peso do corpo ou cargas externas.

## 4. As articulações

### 4.1. Tipos de articulação

Definida de uma forma simples, a articulação é a união entre dois ou mais ossos. A estrutura de uma articulação depende da sua funcionalidade, nomeadamente do grau de mobilidade que permite entre os ossos envolvidos. Deste modo, podem distinguir-se três grandes tipos de articulação: imóveis, semimóveis e móveis.

As articulações imóveis não permitem qualquer tipo de movimento. Constituem exemplos as articulações do crânio e da face, com exceção da articulação que a mandíbula faz com o temporal.

Nas articulações semimóveis, o movimento é possível mas com amplitude muito reduzida. São exemplo as articulações da bacia.

As articulações móveis permitem a realização de movimentos amplos e constituem a maioria das articulações do corpo humano. Estando preparadas para produzir tipos específicos de movimento, é nestas articulações que encontramos um envolvimento muscular adequado a dar resposta a essas exigências de mobilidade. Pela sua importância, é sobre as articulações deste tipo que centraremos de seguida a nossa atenção.

## 4.2. Constituição da articulação móvel

A funcionalidade de uma articulação está relacionada com a sua localização no corpo e com o papel que aí desempenha, sendo condicionada pela forma das superfícies articulares, i.e., das superfícies ósseas que estabelecem a articulação. Assim, as articulações do tronco têm necessariamente características diferentes das articulações dos membros e as articulações do membro inferior, sendo articulações de carga, beneficiam de mais estabilidade e de menor mobilidade do que as dos membros superiores; dentro de cada membro, a localização mais proximal, ou mais perto da extremidade, determina também diferenças na mobilidade específica da articulação.

Independentemente das diferenças que se podem encontrar entre as várias articulações móveis existe uma constituição-tipo que caracteriza estas articulações e que inclui um conjunto de elementos que asseguram as diferentes funções que uma articulação móvel exige (Figura 2): superfícies articulares, cartilagem articular, cápsula, ligamentos, membrana sinovial, líquido sinovial e receptores articulares. Além destes constituintes, algumas articulações em que o encaixe entre as superfícies articulares não é perfeito apresentam constituintes de fibrocartilagem (meniscos) que compensam a discordância.

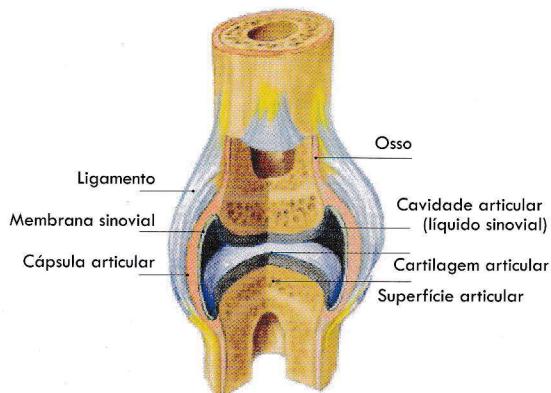


Figura 2 – Constituição tipo da articulação móvel.

As zonas de osso que estabelecem articulação com outros ossos apresentam uma textura muito lisa e designam-se por superfícies articulares. Nos ossos longos, localizam-se nas epífises, dado que esses ossos contactam com os outros pelas extremidades. Nos ossos chatos e curtos, a sua localização é variável. A forma das superfícies articulares é o fator determinante do tipo de mobilidade da articulação. Assim, encontramos superfícies articulares de formas muito diferentes, consoante o comportamento mecânico que compete à articulação que constituem: planas, cilíndricas, esféricas, arredondadas, em forma de roldana ou em forma de sela.

As superfícies articulares são forradas por cartilagem hialina, a cartilagem articular, que é facilitadora do deslize entre as superfícies, dado ser muito lisa, e tem óptima capacidade para amortecer forças de compressão. Uma das particularidades da cartilagem articular é a ausência de irrigação sanguínea e linfática. Não podendo ser feita diretamente a partir do sangue, a nutrição da cartilagem é feita pelo líquido sinovial. O acesso deste ao interior da cartilagem é possível devido à permeabilidade desta, mas depende das forças de compressão e descompressão a que a cartilagem é sujeita através do movimento articular. Por essa razão, o movimento articular é um fator fundamental para a nutrição da cartilagem articular. A espessura desta varia de acordo com as forças de pressão a que a articulação se encontra sujeita, sendo, por exemplo, mais espessa nas articulações dos membros inferiores do que nos membros superiores, e nos sujeitos treinados em relação aos sedentários. Refira-se, ainda, que a cartilagem articular não é inervada, não tendo receptores nervosos e, logo, não sendo provida de sensibilidade.

A manutenção da estabilidade de uma articulação sujeita a amplitudes consideráveis de movimento e a impactos violentos, como acontece com as articulações móveis, exige um sistema que mantenha as superfícies articulares dentro dos seus limites funcionais. Os constituintes articulares envolvidos nessa estabilização são os meios de união da articulação: a cápsula articular e os ligamentos.

A cápsula articular é uma estrutura de tecido conjuntivo denso não modelado que envolve exteriormente a articulação, condicionando no seu interior a cavidade articular. Dessa forma constitui, antes de mais, uma barreira que separa os meios extra e intra-articular e que protege o interior da articulação de agentes provenientes do exterior. Além dessa função, mantém a união das superfícies articulares, no que é reforçada pelos ligamentos e músculos envolventes. A cápsula insere-se nos ossos que se articulam, normalmente no contorno das superfícies articulares.

Em determinadas zonas, a cápsula é reforçada por uma espécie de cordas de tecido conjuntivo, os ligamentos. Estes são constituídos por tecido conjuntivo denso modelado, o que significa que apresentam grande quantidade de fibras de colagénio orientadas numa direção específica. Essa direção depende do sentido em que se exercem as forças de tração sobre o ligamento, conferindo-lhe, assim, grande capacidade para resistir ao alongamento nessa direção. É desta forma que um determinado ligamento funciona como travão a um movimento específico, impedindo movimentos indesejáveis ou amplitudes para além das que a articulação está preparada para executar.

Estes meios de união da articulação, a cápsula articular e os ligamentos, são estruturas de contenção passivas cuja ação estabilizadora é complementada pelos músculos envolventes que, embora não fazendo parte das estruturas articulares, são determinantes para a mobilidade e estabilidade da articulação. Porque podem alterar, pela variação do seu nível de contração, o grau de estabilização que impõem à articulação, os músculos constituem o sistema de contenção ativo da articulação.

A cápsula articular é forrada interiormente por uma membrana muito fina e delicada de tecido conjuntivo laxo com rica vascularização, a membrana sinovial. Na realidade, esta reveste todo o interior da articulação, exceto as superfícies articulares. A principal função desta membrana está relacionada com a produção e reabsorção de líquido sinovial. A manutenção do equilíbrio entre a produção e a reabsorção do líquido sinovial, para além de garantir a renovação desse líquido, nomeadamente dos seus constituintes nutritivos, é uma forma de regular a quantidade de líquido dentro da cavidade articular. Esse equilíbrio é alterado em caso de traumatismo articular, verificando-se, então, um aumento de produção de líquido com consequente edema articular e redução de mobilidade, que pode ser entendida como uma forma de preservar uma articulação que nesse momento não está preparada para as exigências mecânicas normais.

O líquido sinovial encontra-se no interior da cavidade articular e está envolvido em diferentes funções. Em primeiro lugar, dada a sua consistência viscosa, funciona como lubrificante, reduzindo ao mínimo a fricção entre as superfícies articulares. Por outro lado, este líquido é a principal fonte de nutrição da cartilagem articular que, como vimos, não é irrigada.

Os meniscos são estruturas de fibrocartilagem em forma de disco ou de meia-lua, que se encontram nas articulações em que a curvatura das superfícies articulares não permite um encaixe perfeito. A articulação onde os meniscos desempenham um papel mais importante e onde mais problemas levantam no âmbito desportivo é a articulação femorotibial no joelho.

Por último, importa considerar também como elementos fundamentais da articulação os receptores articulares. Estes receptores nervosos localizam-se nos tecidos moles da articulação (cápsula, ligamentos, membrana sinovial) e fornecem informação sobre dor, posição e aceleração da articulação. Dessa forma, estes receptores estão naturalmente envolvidos nos processos de controlo do movimento e na regulação da estabilidade e mobilidade articulares por parte do sistema nervoso.

### 4.3. Tipos de movimentos articulares

Para podermos descrever e entender a mobilidade das diferentes articulações é fundamental dominarmos a terminologia descritiva dos movimentos articulares. Isso permite-nos falar uma linguagem comum e constitui um pressuposto necessário ao entendimento da ação dos principais grupos musculares, identificados como flexores, extensores, adutores, abdutores, rotadores, supinadores ou pronadores, consoante os movimentos que produzem.

Os movimentos de flexão/extensão, adução/abdução, rotação interna/rotação externa e pronação/supinação são pares de movimentos executados na mesma direção, mas em sentidos opostos. Considerando a Posição Descritiva Anatómica, os movimentos de flexão e extensão são realizados no plano sagital. O movimento de flexão produz a aproximação dos dois segmentos, tendendo a colocar a articulação numa forma semelhante à posição fetal, enquanto a extensão consiste no movimento inverso. Os movimentos de adução e de abdução são realizados no plano frontal. O movimento de adução aproxima o segmento do plano sagital médio, enquanto a abdução afasta o segmento desse plano. Nos movimentos de rotação, que são realizados no plano horizontal, os segmentos rodam em torno do seu próprio eixo longitudinal, podendo a rotação ser dirigida para o plano sagital médio (rotação interna) ou no sentido contrário (rotação externa). No caso de segmentos em que os movimentos de rotação envolvem a rotação de um osso em torno do outro, como acontece no antebraço, a rotação interna designa-se por pronação, enquanto a rotação externa se chama supinação.

### 4.4. Tipos de articulações móveis

Como já referimos, a forma das superfícies articulares condiciona a mecânica articular, definindo o tipo de movimentos que a articulação permite e estando na origem da classificação morfológica e funcional das diferentes articulações móveis (Figura 3).

As articulações de maior mobilidade são as articulações entre superfícies de forma esférica, que permitem movimentos nos três planos do espaço, razão porque são classificadas como articulações triaxiais. Localizam-se estrategicamente na zona de ligação de cada um dos membros ao tronco, na articulação glenoumeral no membro superior e na articulação coxofemoral no membro inferior. Esta adaptação mecânica é essencial para podermos executar movimento com o braço e a coxa, em qualquer um dos três planos (flexão/extensão, adução/abdução, rotação interna/rotação externa) e, assim, libertar a extremidade respetiva (mão e pé), aumentando o mais possível o seu raio de ação.

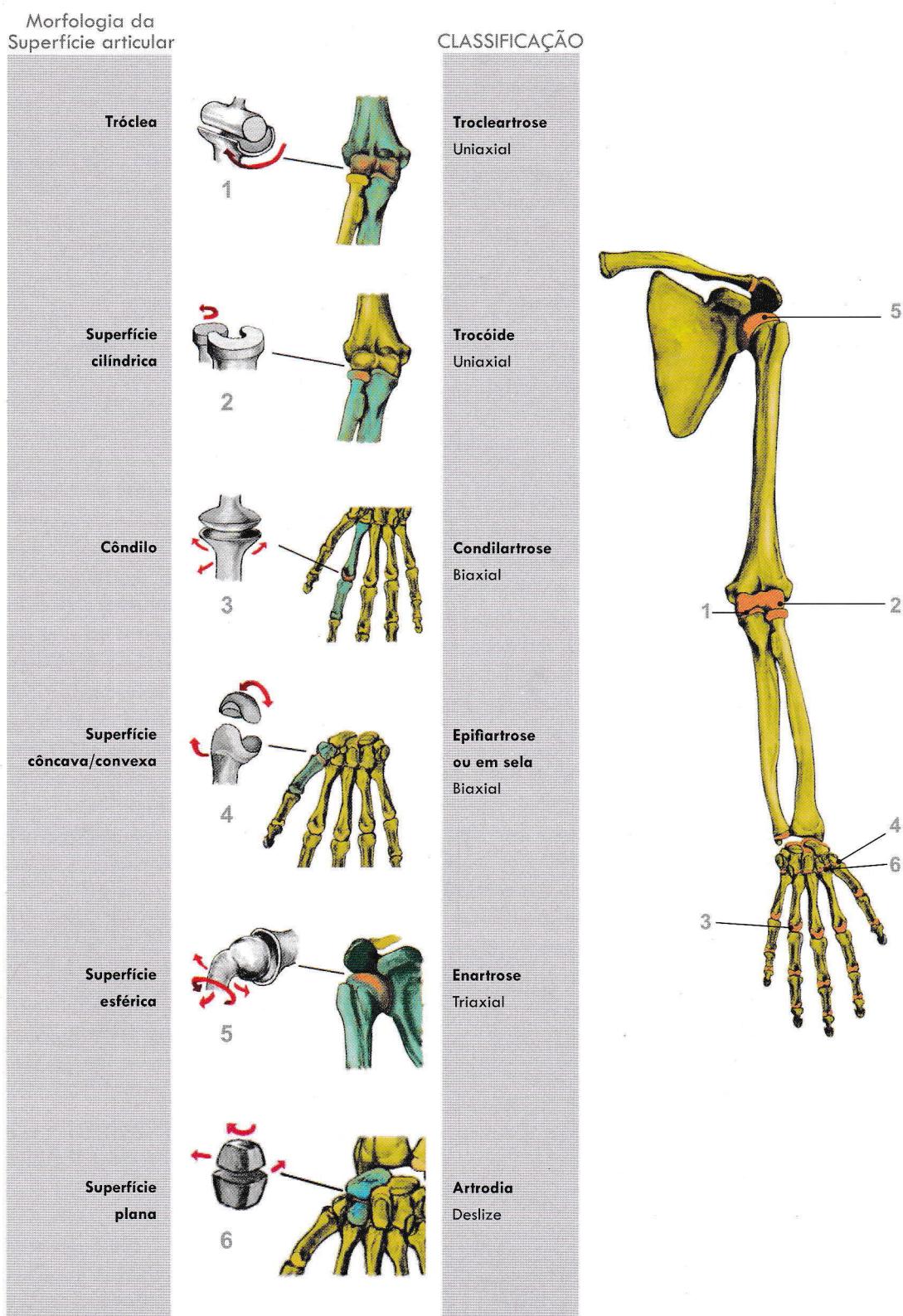


Figura 3 – Articulações móveis: Morfologia das superfícies articulares e respectiva classificação morfológica e funcional.

As articulações entre superfícies arredondadas, designadas por côndilos, bem como as articulações em sela, apresentam mobilidade considerável, mas menor do que as anteriores. São articulações biaxiais porque permitem movimento apenas em duas direções, resultando em quatro movimentos possíveis.

As articulações em forma de roldana, estabelecidas por superfícies ósseas designadas por trócleas, permitem apenas uma direção de movimento, sendo especializadas em movimentos de flexão e de extensão. Encontramos articulações deste tipo, por exemplo, no joelho e também entre as falanges.

Outro tipo de articulação que permite movimentos apenas numa direção é a que se efetua entre superfícies cilíndricas especializadas em movimentos de rotação de um osso em torno de outro, que funciona como eixo fixo. Existem apenas dois exemplos no nosso corpo, mas ambos de grande importância funcional, que espelham a especificidade deste tipo de mecânica articular: a articulação entre o rádio e o úmero, determinante na orientação fácil e versátil da palma da mão, tão importante na preensão; a articulação entre as duas primeiras vértebras da coluna, o atlas e o áxis, responsável pela rotação rápida da cabeça ao serviço da orientação do campo visual.

Por último, importa considerar as articulações entre superfícies planas que funcionam por movimentos de deslize que podem ser realizados em todos os sentidos. Embora só permitam amplitudes reduzidas de movimento, como em determinadas zonas (carpo e tarso, por exemplo) encontramos várias articulações deste tipo a funcionar em conjunto, o movimento resultante tem uma amplitude considerável, dado ser o somatório dos pequenos deslizes das diferentes articulações envolvidas.

#### 4.5. Relação entre mobilidade e estabilidade articulares

Estabilidade e mobilidade articulares são características indissociáveis mas de sinal contrário. Dependendo da sua localização e do seu papel funcional, a estrutura de uma determinada articulação favorece mais um destes aspectos em detrimento do outro. Articulações como a coxofemoral e o joelho, porque são articulações de carga, privilegiam a estabilidade em comparação com as articulações correspondentes do membro superior, a articulação glenoumeral e o cotovelo, que sacrificam estabilidade ganhando, em contrapartida, maior mobilidade.

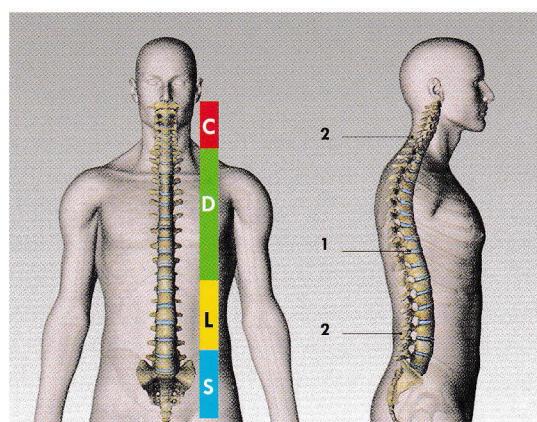
Os constituintes responsáveis pela gestão do binómio mobilidade/estabilidade articular são a forma das superfícies articulares, que define os movimentos possíveis, e os meios de

união (cápsula e ligamentos), que condicionam a amplitude dos movimentos. A estes elementos passivos deve adicionar-se o sistema ativo, constituído pelos músculos com ação na articulação, que podem intervir quer na mobilidade quer na regulação da estabilidade articular. Esta forma de regulação dinâmica confere uma enorme capacidade adaptativa ao sistema articular e obriga a entender o desenvolvimento muscular não apenas no sentido de potenciar o rendimento, mas também de reforçar os mecanismos de proteção articular.

### 5. Sistema ósseo e articular do tronco e da cabeça

#### 5.1. Constituição geral da coluna vertebral

A coluna vertebral é composta por um conjunto de 24 peças ósseas independentes (vértebras) e por dois ossos (sacro e cóccix) resultantes da fusão de várias vértebras (Figura 4). Cada vértebra apresenta uma porção anterior mais volumosa, o corpo da vértebra, e um conjunto de apófises disposto em torno de um orifício, o buraco vertebral. Destas apófises destaca-se, na parte posterior de cada vértebra, a apófise espinhosa. Os corpos das vértebras articulam-se entre si mas não diretamente, dado que entre cada par de corpos de vértebras se encontra um disco intervertebral.



**Figura 4** – Regiões da coluna vertebral: (C) região cervical; (D) região dorsal; (L) região lombar; (S) região sacrococígea. A azul estão representados os discos intervertebrais localizados entre os corpos (1). Na parte posterior localizam-se as apófises espinhosas (2).

Podem distinguir-se no disco intervertebral duas porções principais (Figura 5): ao centro o núcleo pulposo, de textura semilíquida e, a envolvê-lo, o anel fibroso. O núcleo pulposo funciona como uma almofada amortecedora entre os corpos vertebrais, o que lhe permite distribuir de forma homogénea e em todas as direções as forças de compressão que atuam na coluna. O anel fibroso, por seu lado, é constituído por lâminas de fibras de colagénio dispostas concentricamente em torno do núcleo pulposo e apresenta grande resistên-

cia, o que é fundamental para assegurar a manutenção do núcleo pulposo dentro dos limites ideais de funcionamento. Com esta constituição, o disco intervertebral desempenha um papel determinante na transmissão e no amortecimento de forças verticais ao longo da coluna, através do que podemos designar por mecanismo hidrostático do disco intervertebral. Na origem deste mecanismo está a propriedade de incompressibilidade da água contida no núcleo pulposo e que determina que esta ocupe sempre o mesmo volume quando sujeita a forças de compressão. Nessas condições, quando comprimido, o núcleo tende a expandir-se em todas as direções – expansão radial – no sentido de manter estável o seu volume inicial, sendo essa expansão limitada pela resistência oferecida pelo anel fibroso.

O disco intervertebral, principalmente devido ao comportamento do núcleo pulposo, tem também um papel extremamente importante na mobilidade da coluna vertebral, aumentando consideravelmente a mobilidade de cada par de vértebras.

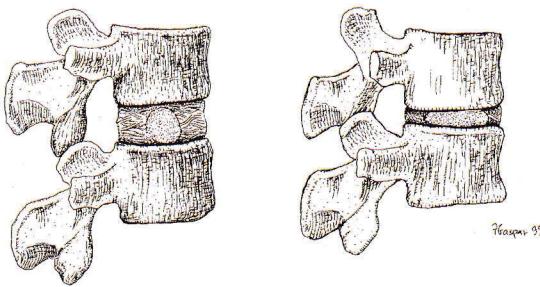


Figura 5 – Função de amortecimento do disco intervertebral.

A estabilidade do conjunto formado pelos corpos das vértebras e discos intervertebrais é garantida por dois ligamentos que descem verticalmente desde o occipital e primeiras vértebras cervicais até ao sacro, passando um pela frente dos corpos das vértebras e outro por trás. Outros ligamentos mais pequenos unem as vértebras duas a duas, concorrendo também para a estabilidade da coluna vertebral.

## 5.2. Funções da coluna vertebral

A coluna vertebral desempenha um papel fundamental na organização do esqueleto, dando resposta a funções de natureza diversificada:

1. Representa o eixo em torno do qual se organiza todo o esqueleto ósseo: a região cervical suporta superiormente a cabeça; as vértebras dorsais articulam-se com as costelas, sustentando o tórax onde se liga o membro superior; a região sacrococcígea faz parte da bacia óssea, zona de charneira entre o tronco e o membro inferior.

2. Apresenta uma morfologia adequada à fixação de grande número de músculos que atuam a diferentes níveis: na própria coluna, na cabeça, na respiração, na cintura escapular, no braço, na bacia e na coxa.
3. Tem uma mobilidade considerável, apresentando amplos movimentos em diversas direções: flexão, extensão, flexão lateral e rotação (Figura 6). A amplitude de cada um destes movimentos varia nas diferentes regiões da coluna e é condicionada por fatores estruturais.
4. Permite a dissipação e transmissão de forças axiais que se desenvolvem em consequência da posição bípede e se apresentam sob a forma de forças de compressão. Esta função de amortecimento é desempenhada pelo disco intervertebral e pelas curvaturas existentes no plano sagital.
5. Assume um papel importante na proteção da espinha medula, o andar inferior do Sistema Nervoso Central. A união dos buracos vertebrais de todas as vértebras forma um canal – o canal vertebral – que aloja a medula, que se encontra, assim, bem protegida. Ao longo de toda a coluna, podem identificar-se orifícios laterais que resultam da junção das vértebras duas a duas – os buracos de conjugação – e correspondem à saída dos nervos da medula.

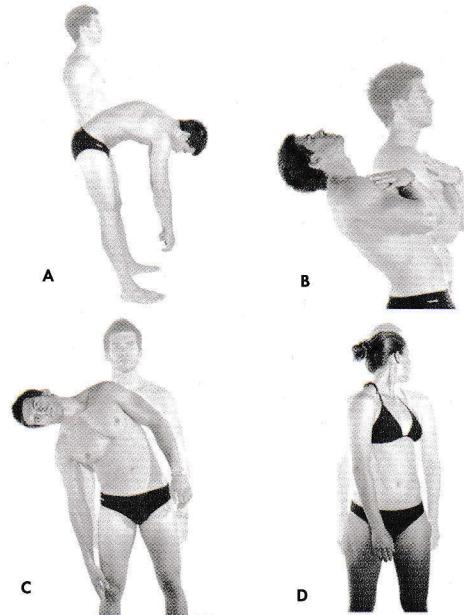


Figura 6 – Movimentos do tronco: A – Flexão; B – Extensão; C – Flexão lateral; D – Rotação.

Pelas funções atrás descritas, a solicitação a que a coluna vertebral é sujeita no âmbito desportivo acarreta um potencial de risco elevado para o desgaste dos discos intervertebrais. A proximidade dos buracos de conjugação

em relação ao disco intervertebral está associada à possibilidade de compressão dos nervos espinais quando o disco intervertebral degenera e é deslocado da sua posição, com consequências nocivas para a sensibilidade e mobilidade da região corporal inervada pelos nervos comprimidos.

### 5.3. Regiões e curvaturas da coluna vertebral

De cima para baixo, podem distinguir-se na coluna diferentes regiões: cervical, dorsal, lombar e sacrococcígea. A estas regiões correspondem características morfológicas específicas associadas ao tipo de solicitação a que são habitualmente sujeitas.

A adaptação à posição bípede e à locomoção determinaram o desenvolvimento de curvaturas na coluna que lhe conferem uma maior capacidade de resposta aos requisitos fundamentais de mobilidade, estabilidade e amortecimento. Distinguem-se na coluna curvaturas desenhadas em dois planos: cifoses e lordoses no plano sagital e escolioses no plano frontal.

As cifoses são curvaturas de concavidade anterior e encontram-se nas regiões dorsal e sacrococcígea, enquanto as lordoses são curvaturas de concavidade posterior e caracterizam as regiões cervical e lombar. No feto, a coluna vertebral mostra na sua globalidade uma cifose, consequência natural da posição fetal. Por isso se diz que as cifoses são curvaturas inatas. Já as lordoses, curvaturas funcionais ou adquiridas, desenvolvem-se em resposta a necessidades funcionais determinadas por saltos evolutivos. A lordose cervical aparece primeiro, por altura do gatinhar, e está associada ao desenvolvimento dos músculos da nuca em resposta à necessidade de manter a cabeça estabilizada em extensão. Mais tarde é condicionada a lordose lombar, que resulta da consolidação do conjunto bacia-coluna, em adaptação à manutenção do equilíbrio na posição bípede. Estas curvaturas, cifoses e lordoses, podem sofrer alterações ao longo da vida, em consequência dos hábitos motores do indivíduo.

Existem também curvaturas da coluna desenhadas no plano frontal – as escolioses. A própria assimetria do organismo humano contém em si fatores que justificam a ocorrência de uma pequena escoliose fisiológica em qualquer indivíduo: a localização do órgão mais pesado do corpo, o fígado, do lado direito da cavidade abdominal, e do coração do lado esquerdo do tórax, com contrações rítmicas que exercem força sistematicamente do mesmo lado da coluna. Para além destes pequenos desvios laterais presentes em qualquer indivíduo, escolioses mais exageradas podem ser condicionadas pelos hábitos de vida e por influências de natureza diversa. No âmbito desportivo, podem estar asso-

ciadas à prática de desportos em que se verifica utilização preferencial de um dos membros superiores, o que resulta num maior desenvolvimento da musculatura que sistematicamente exerce uma força de tração superior desse lado da coluna. Nos âmbitos laboral ou escolar, as escolioses podem ser determinadas por posturas incorrectas associadas com rotinas de trabalho que ocupam muitas horas por dia.

#### Região cervical

A funcionalidade da região superior da coluna está intimamente relacionada com a sustentação e mobilidade da cabeça, no sentido de assegurar a horizontalidade da linha de visão e um campo visual amplo (Figura 7). A grande mobilidade da cabeça é conseguida à custa dos movimentos da região cervical, que são particularmente amplos devido à morfologia das sete pequenas vértebras cervicais, e dos movimentos permitidos pelas articulações entre a coluna e o crânio.

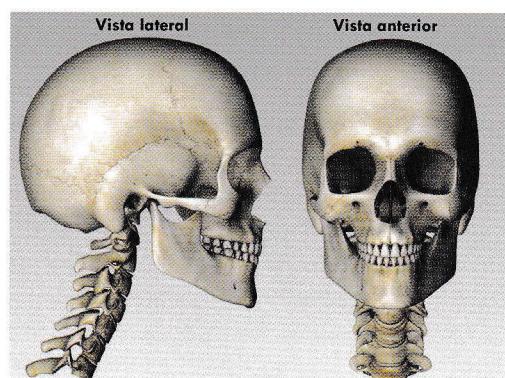


Figura 7 – Coluna cervical e sustentação da cabeça.

A ligação crânio-coluna é feita através da articulação entre a primeira vértebra cervical, o atlas, e o osso da base do crânio, o occipital. Esta articulação permite flexão, extensão e flexão lateral, com destaque para os dois primeiros. O facto de, no ser humano, os dois olhos estarem localizados no mesmo plano é compensado pela rotação da cabeça, que se deve essencialmente à ligação entre as duas primeiras vértebras da coluna, atlas e áxis. O atlas roda em torno de um eixo vertical fornecido pela apófise odontoide do áxis. Em consequência, esse movimento de rotação é diretamente transmitido à cabeça, que assenta no atlas através do occipital.

#### Região dorsal

A região dorsal está funcionalmente associada com a sustentação do tórax e com os movimentos respiratórios. Apresenta 12 vértebras que desenham, no seu conjunto, uma longa cifose que amplia a caixa torácica e permite o aumento de amplitude dos movimentos respiratórios. A mobilidade desta região da coluna é reduzida devido a dois tipos de

fatores: a morfologia das vértebras dorsais e o facto de suportar toda a grelha costal. A menor mobilidade desta região pressupõe uma maior estabilidade, fundamental para a função de suporte da caixa torácica.

### Região lombar

As cinco vértebras lombares podem ser identificadas pelas suas grandes dimensões. À medida que descemos na coluna, os corpos vertebrais vão-se tornando progressivamente mais espessos, o que assume a sua expressão máxima na região lombar, devido ao peso que suporta. Por outro lado, as suas apófises são bastante desenvolvidas, fornecendo pontos sólidos de inserção aos poderosos músculos desta região.

A coluna lombar representa o local de charneira entre a região sacrococcígea e as regiões superiores da coluna. Apresenta grande mobilidade, originando-se aí os movimentos da totalidade da coluna. Para essa mobilidade concorrem a morfologia das vértebras lombares e a grande espessura do disco intervertebral.

A vasta mobilidade a que é sujeita e o suporte de todo o peso da parte superior do corpo são fatores de risco suscetíveis de produzir um desgaste que frequentemente se reflete em lesões nos discos intervertebrais desta região, com repercussões graves nos nervos que aí emergem da espinha medula, e que inervam o membro inferior.

### Região sacrococcígea

A região sacrococcígea contém duas peças ósseas que estão integradas na bacia: o sacro e o cóccix. O sacro é constituído por cinco vértebras soldadas entre si, apresentando a forma de uma pirâmide triangular cuja base é superior e se articula com a quinta vértebra lombar. As faces laterais articulam-se com os ossos coxais, constituindo as articulações sacroilíacas; a face anterior, muito lisa e côncava, forra posteriormente a cavidade abdomino-pélvica, relacionando-se com os órgãos aí contidos; e a face posterior é muito rugosa e fornece a aderência necessária à origem dos músculos posteriores da região lombar. O cóccix, de tamanho bastante mais reduzido, resulta também da fusão de algumas vértebras, tendo um significado funcional quase nulo no homem.

## 5.4. Tórax

O tórax constitui uma armação óssea que envolve a cavidade torácica, onde estão contidos órgãos vitais como o coração e os pulmões. É composto posteriormente pela

região dorsal da coluna, que se articula com 12 costelas de cada lado que, por sua vez, se ligam anteriormente ao esterno através de estruturas de cartilagem hialina – as cartilagens costais (Figura 8). As duas últimas costelas apresentam uma cartilagem muito reduzida e não se ligam ao esterno, sendo designadas por costelas flutuantes. Este envolvimento da cavidade torácica é, ainda, completado pelos ossos da cintura escapular, a clavícula por cima e a omoplata por trás.

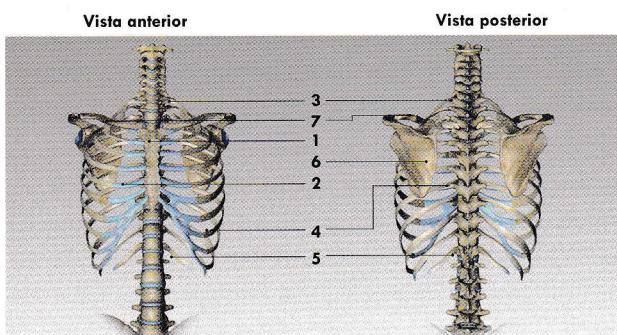


Figura 8 – Constituição geral do tórax: (1) esterno; (2) cartilagem costal; (3) 1.º costela; (4) 8.º costela; (5) 12.º costela como exemplo de costela flutuante; (6) omoplata; (7) clavícula.

O espaço compreendido entre cada duas costelas – espaço intercostal – encontra-se preenchido pelos músculos intercostais, que conferem ao conjunto de 24 costelas uma solidez acrescida e permitem que o tórax funcione como um bloco nos movimentos respiratórios, nos movimentos do tronco, ou, ainda, quando o tórax tem que fornecer pontos fixos aos músculos que aí têm origem e atuam noutros segmentos, como a cabeça ou o membro superior.

## 6. Sistema ósseo e articular do membro superior

O membro superior está dividido em quatro regiões com funções distintas – cintura escapular, braço, antebraço e mão –, ligadas entre si por articulações móveis de características mecânicas diferentes. Apesar das diferenças regionais, a totalidade do membro superior está subordinada a um objetivo comum: a utilização da mão no sentido de a dirigir aos objetos do mundo envolvente e de sobre eles agir.

### 6.1. Cintura escapular, complexo articular do ombro e braço

Os dois ossos que constituem a cintura escapular, a omoplata e a clavícula, ajudam a revestir a caixa torácica e constituem a ligação óssea entre o tórax e o membro superior, contribuindo de forma determinante para a grande mobilidade deste segmento.

A omoplata não estabelece contacto direto com a grelha costal. A união com as costelas resulta de uma ligação feita através de dois músculos (subescapular e grande dentado) que se encontram aderentes, respetivamente, à face anterior da omoplata e à face posterior da grelha costal. Esta ligação, designada por Falsa Articulação Omo-costal, permite que a omoplata se desloque em todas as direções sobre a grelha costal, o que confere grande mobilidade à cintura escapular e ao membro superior.

A ausência de uma verdadeira articulação entre a omoplata e o tórax determina que o único contacto ósseo entre o tronco e o membro superior aconteça na articulação esternoclavicular (Figura 9). Esta articulação permite movimentos de pequena amplitude da extremidade interna da clavícula, que se traduzem em movimentos de grande amplitude da extremidade externa: para cima, para baixo, para diante, para trás e de circundação. Estes movimentos, ao transmitirem-se à omoplata, surgem associados aos movimentos do braço.

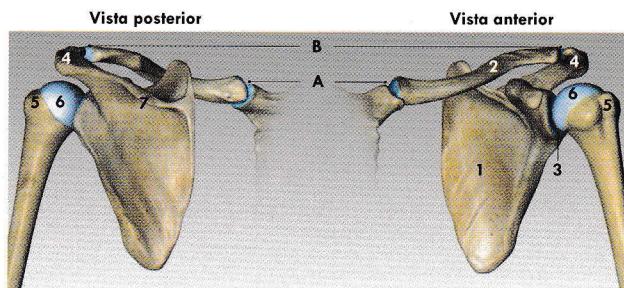


Figura 9 – Cintura escapular: (A) articulação esternoclavicular; (B) articulação acromioclavicular; (1) omoplata; (2) clavícula; (3) cavidade glenoide da omoplata; (4) acrómio; (5) troquiter; (6) cabeça do úmero; (7) espinha da omoplata.

A articulação glenoumral, entre a cabeça do úmero e a cavidade glenoide da omoplata, é uma articulação entre superfícies de forma esférica, sendo a de maior mobilidade que encontramos no corpo. Além da sua forma esférica, contribui também para a grande mobilidade do braço a reduzida área de contacto entre as superfícies articulares: a cavidade articular da omoplata apresenta uma superfície reduzida e pouco profunda em relação à cabeça do úmero, o que resulta numa reduzida limitação da cabeça do úmero na cavidade articular. Estes fatores são importantes para libertar o braço para a realização de movimentos em todos os planos e, assim, ampliar o campo de intervenção da mão. Deste modo, na articulação glenoumral o braço realiza movimentos de flexão/extensão, adução/abdução, adução horizontal/abdução horizontal e rotação interna/rotação externa (Figura 10).

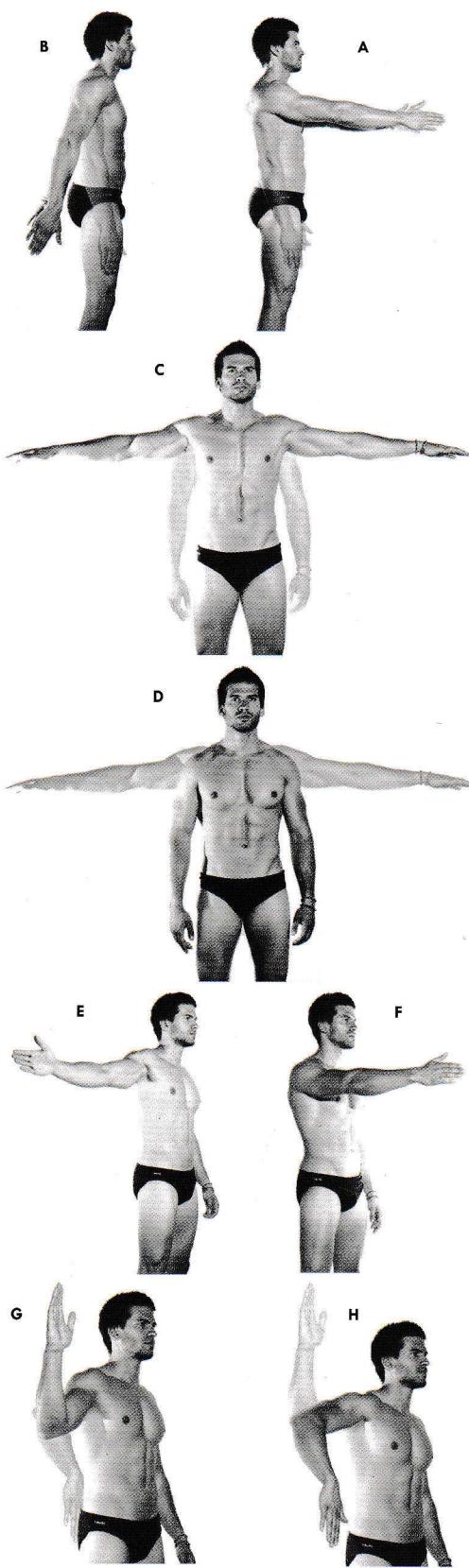


Figura 10 – Movimentos do braço: A – Flexão; B – Extensão; C – Abdução; D – Adução; E – Abdução horizontal; F – Adução horizontal; G – Rotação externa; H – Rotação interna.

Apesar das características referidas no parágrafo anterior, a mobilidade do braço seria muito menor sem a participação da cintura escapular, com destaque especial para os movimentos da omoplata. O melhor exemplo dessa dependência dos movimentos do braço em relação à omoplata está presente no movimento de elevação do braço, como a flexão e a abdução. Localizado por cima da articulação glenoumral, o acrómio da omoplata constitui um obstáculo à progressão dos movimentos de elevação do braço. De facto, perto dos 90° de elevação, o troquiter do úmero entra em contacto com o acrómio, o que impediria a progressão do movimento. A continuação do movimento só é possível graças à rotação superior da omoplata, visando a colocação da cavidade glenoide virada para cima. Esta participação combinada dos movimentos da glenoumral e da cintura escapular durante a elevação do braço é conhecida por Ritmo Escapulo-Umeral (Figura 11). Para uma abdução (ou flexão) de 180°, cerca de dois terços do movimento são realizados na articulação glenoumral e um terço deve-se à rotação da omoplata. Refira-se ainda que, no caso da abdução, esta participação relativa depende da posição de rotação em que o úmero se encontra: se estiver em rotação externa, tirando o troquiter do contacto com o acrómio, essa limitação óssea faz-se sentir mais tarde, do que quando o úmero se encontra em rotação interna.

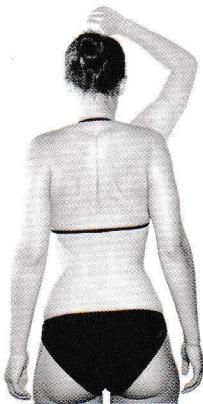


Figura 11 – Ritmo Escapulo-Umeral. Para o braço direito ultrapassar os 90° a omoplata sofreu rotação superior.

A manutenção do contacto ósseo entre a cabeça do úmero e a cavidade articular da omoplata, nomeadamente em movimentos de grande amplitude e potência, é assegurada pela cápsula articular, os ligamentos e os músculos que envolvem a articulação, principalmente um grupo de quatro pequenos músculos (subescapular, supraespinhoso, infraespinhoso e pequeno redondo) designados em conjunto por Músculos da Coifa dos Rotadores. A tensão destes músculos é muito importante para a estabilidade dinâmi-

ca da articulação, pois contribui para puxar a cabeça do úmero contra a cavidade articular da omoplata, mantendo, assim, a congruência entre as duas superfícies durante movimentos amplos e potentes do braço.

## 6.2. Complexo articular do cotovelo e antebraco

O cotovelo é a zona de contacto articular entre o úmero e os dois ossos do antebraco – o cíbito, localizado do lado interno, e o rádio, do lado externo (Figura 12). Na realidade, o cotovelo é constituído por três articulações distintas que estão dentro da mesma cavidade articular, delimitada por uma cápsula comum, pelo que se fala de um complexo articular. A cápsula articular é reforçada por ligamentos.

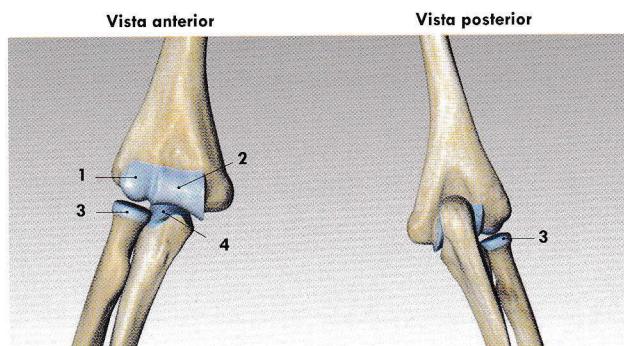


Figura 12 – Complexo articular do cotovelo: (1) côndilo umeral que articula com o rádio; (2) tróclea umeral que articula com o cíbito; (3) cabeça do rádio que articula com o úmero em cima e com o cíbito internamente; (4) cavidade articular do cíbito que articula com o úmero.

A funcionalidade do cotovelo é o resultado da combinação das características de mobilidade das três articulações que compõem o complexo articular. Assim, são permitidas duas categorias de movimentos (Figura 13): movimentos de flexão/extensão e movimentos de rotação do antebraco (supinação/pronação). Os movimentos de flexão/extensão são produzidos por músculos com grande capacidade de força que permitem, com alguma facilidade, afastar ou aproximar a mão do resto do corpo. Os movimentos de pronação e supinação do antebraco devem-se principalmente às articulações radiocubitais, estabelecidas entre superfícies de forma cilíndrica, que permitem uma rotação muito eficaz do rádio em torno do cíbito (Figura 14). Estes movimentos estão associados fundamentalmente à colocação da palma da mão numa posição ideal para o manuseamento de objetos. Na pronação, o rádio abandona a sua posição paralela com o cíbito, que ocupa na supinação, cruzando sobre a face anterior da diáfise desse osso.

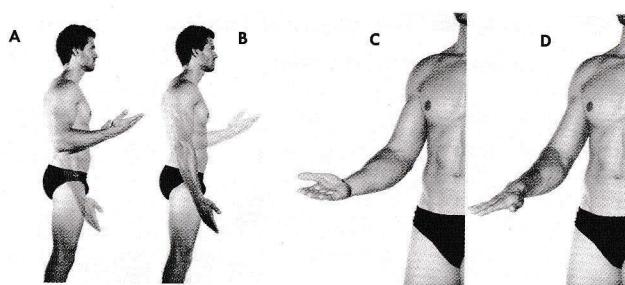


Figura 13 – Movimentos do antebraço: A – Flexão; B – Extensão; C – Supinação; D – Pronação.

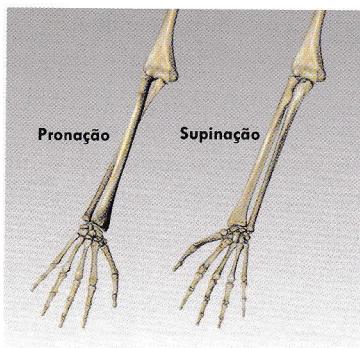


Figura 14 – Posição relativa do rádio e do cúbito quando o antebraço se encontra em pronação e em supinação.

### 6.3. Complexo articular do punho e mão

Situada na extremidade distal do membro superior, a mão é um órgão de preensão que possibilita a realização de grande variedade de movimentos, desde os mais rudimentares e grosseiros aos mais finos e delicados. Assume-se, também, como uma região de elevada discriminação sensitiva, nomeadamente de sensibilidade táctil e térmica. A mão divide-se em três porções: carpo, metacarpo e dedos (Figura 15).

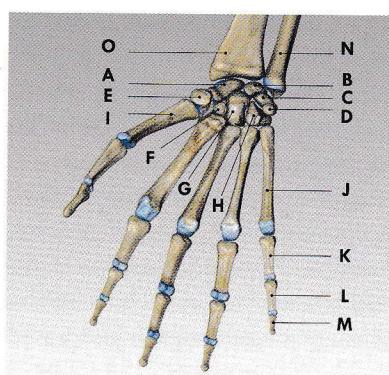


Figura 15 – Vista anterior da mão e do punho: (A) escafoide; (B) semilunar; (C) piramidal; (D) pisiforme; (E) trapézio; (F) trapezoide; (G) osso grande; (H) unciforme; (I) primeiro metacarpo; (J) quinto metacarpo; (K) falange; (L) falanginha; (M) falangeta do quinto dedo; (N) cúbito; (O) rádio.

O carpo é a porção mais proximal da mão. É constituído por oito ossos curtos dispostos em duas filas de quatro: o procarpo, a fila proximal que inclui o escafoide, o semilunar, o piramidal e, à frente deste, o pisiforme, que é o mais pequeno osso do carpo; e o mesocarpo, a fila distal onde encontramos o trapézio, o trapezoide, o osso grande e o unciforme. Os contactos entre os ossos do carpo são múltiplos, cada um estabelecendo várias articulações com os ossos vizinhos. Todas essas pequenas articulações entre os ossos do carpo são móveis, entre superfícies de forma plana, permitindo movimentos de deslize de amplitude reduzida que, no seu conjunto, conferem mobilidade significativa a esta parte proximal da mão.

Os cinco ossos do metacarpo são ossos longos e articulam-se com os ossos do carpo. Os espaços entre estes, os espaços interósseos, são ocupados por músculos. A articulação entre o carpo e o 1.º metacarpo é diferente das outras, o que se deve à especificidade funcional do polegar, permitindo a sua colocação em oposição aos outros dedos, o que é inerente à função de pinça, fundamental na preensão. Os ossos do metacarpo continuam-se distalmente pelos cinco dedos da mão, cada um deles formado por três ossos – falange/primeira falange, falanginha/segunda falange e falangeta/terceira falange –, com exceção do polegar, onde a segunda falange se encontra ausente. As articulações interfalângicas são do tipo roldana, realizando apenas movimentos de flexão e extensão.

A mão une-se ao antebraço através do carpo, constituindo o complexo articular do punho ou articulação radiocárpica que permite duas categorias de movimentos da mão em relação ao antebraço (Figura 16): os movimentos de flexão/extensão e os movimentos de adução/abdução. A rotação da mão deve-se, como vimos, aos movimentos de pronação/supinação do antebraço que se realizam no cotovelo, permitindo a produção de forças mais elevadas, dada a maior capacidade contrátil dos músculos que aí atuam quando comparados com os músculos que agem sobre a mão.

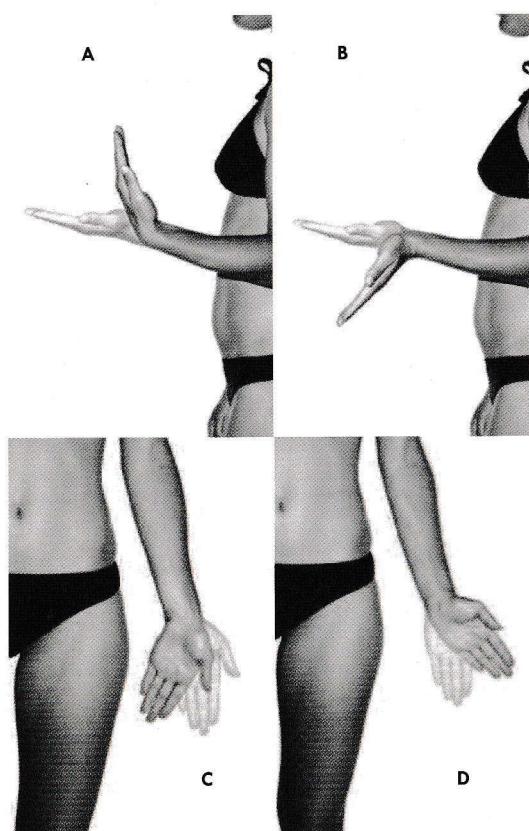


Figura 16 – Movimentos da mão: A – Flexão; B – Extensão; C – Adução; D – Abdução.

A mão humana está adaptada ao fabrico de utensílios e à manipulação dos objetos do mundo envolvente. Para essa especialização funcional contribui, de forma determinante, a capacidade de oponência do polegar, que permite a formação de pinças manuais de grande precisão e estabilidade. No entanto, outros fatores estão igualmente associados com o papel único que a mão desempenha no nosso corpo: a eficácia da rotação da mão através dos movimentos de pronação e supinação do antebraço, o amplo campo de ação da mão devido à grande mobilidade do braço, o elevado número de músculos que atua no polegar e a grande superfície no córtex cerebral ocupada com a sensibilidade e o controlo motor da mão.

## 7. Sistema ósseo e articular do membro inferior

Este segmento está dividido em quatro porções com funções distintas – bacia, coxa, perna e pé –, ligadas entre si por articulações móveis de características mecânicas diferentes. Apesar das diferenças regionais, a totalidade do membro inferior está subordinada ao bipedismo e às funções de amortecimento e impulsão presentes nas várias formas de locomoção humana.

## 7.1. Cintura pélvica, articulação coxofemoral e coxa

No seu conjunto, a cintura pélvica, ou bacia, desenha um largo anel ósseo que delimita uma ampla cavidade (Figura 17). Este anel é formado por três ossos: o revestimento posterior é feito pelo sacro que, encravado entre os dois ossos ilíacos, constitui um elemento central nesta organização, ao estabelecer a ligação entre a coluna lombar e os ossos ilíacos. Assim, recebe as forças verticais provenientes da coluna através da quinta vértebra lombar e transmite-as de forma equilibrada para os dois ossos coxais. Estes, por sua vez, conduzem essas forças em direção ao membro inferior pela articulação coxofemoral e dissipam parte delas em direção ao osso ilíaco do lado oposto através da sínfise púbica. Nas ações motoras que envolvem a totalidade do corpo, como a marcha, a corrida ou os saltos, a bacia constitui o elemento de ligação entre o membro inferior e o tronco. A bacia dá ainda resposta a outras funções como proteger e acomodar as vísceras abdominais e fornecer fixação a poderosos músculos com ação no tronco e nos membros inferiores.

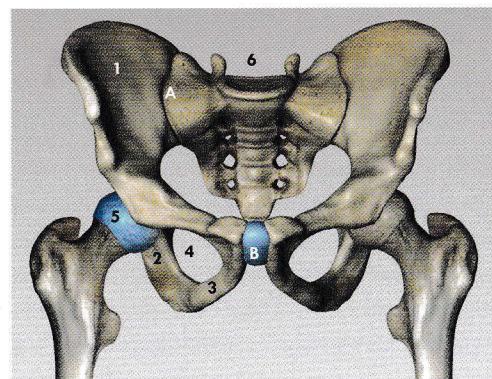


Figura 17 – Constituição geral da bacia: (A) articulação sacroilíaca; (B) sínfise púbica; (1) ilion; (2) ísqueon; (3) púbis; (4) buraco obturado; (5) cabeça do fémur; (6) superfície do sacro que articula com o corpo da quinta vértebra lombar.

O osso ilíaco resulta da junção de três peças ósseas (ilion, ísqueon e púbis) que ossificam de forma independente e se unem em torno da cavidade articular para o fémur. A porção superior, o ilion, constitui a porção mais volumosa e é local de fixação de numerosos músculos. As duas porções inferiores apresentam dimensão bastante mais reduzida. O ísqueon localiza-se atrás, enquanto à frente encontramos o púbis, que se articula com a mesma porção do osso coxal do lado contrário, formando uma articulação semimóvel – a sínfise pública. As articulações que o sacro estabelece lateralmente com os ossos ilíacos – articulações sacroilíacas – são também articulações semimóveis. Ao ser constituída por articulações semimóveis, a deslocação possível entre os os-

sos que formam a bacia é, assim, muito reduzida. Esta perda em mobilidade apresenta uma compensação no ganho de estabilidade da bacia como um todo, permitindo-lhe funcionar como origem de poderosos músculos que nela se fixam para atuar na coxa ou no tronco, e contribuir para uma postura bípede confortável e que pode ser mantida durante longos períodos de tempo sem esforço. Apesar da reduzida mobilidade entre os ossos da bacia, quando considerada como um todo, esta apresenta movimentos de amplitude considerável (Figura 18): os movimentos de retroversão, em que a crista ilíaca se desloca para trás, e os de anteversão, quando as cristas ilíacas realizam o movimento oposto (para a frente). A retroversão é, normalmente, acompanhada pela atenuação da lordose lombar, enquanto a anteversão costuma surgir associada ao acentuar dessa curvatura.

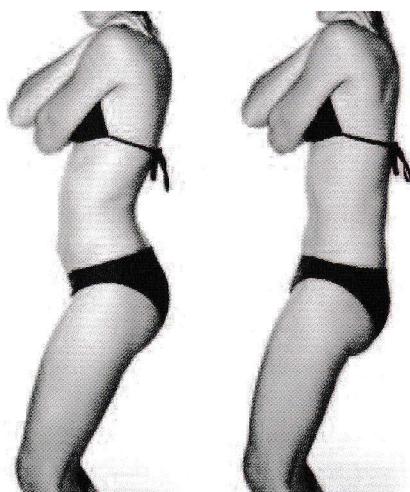


Figura 18 – Movimentos da bacia: anteversão (imagem da esquerda) e retroversão (imagem da direita).

Tal como a glenoumeral, a articulação coxofemoral (entre a bacia e o fêmur) é uma articulação entre superfícies de forma esférica (Figura 17). Não deixando, tal como a glenoumeral, de efetuar movimentos em todas as direções – flexão/extensão, adução/abdução e rotação (interna/externa) (Figura 19) – a amplitude dos movimentos da articulação coxofemoral é, no entanto, menor. No reverso da medalha, os fatores que condicionam a mobilidade da coxofemoral concorrem para uma maior estabilidade articular, o que está naturalmente relacionado com a adaptação da cintura pélvica ao bipedismo e ao funcionamento em cadeia fechada, i.e., à produção de movimento com a extremidade fixa. Para este ganho de estabilidade da articulação coxofemoral em relação à glenoumeral, contribuem vários fatores:

1. a reduzida mobilidade da bacia em comparação com a cintura escapular;

2. o tipo de encaixe entre as superfícies articulares, estando a cabeça do fêmur mais contida no interior da cavidade articular do osso coxal do que acontece com a cabeça do úmero, que tem uma área de contacto muito mais reduzida com a cavidade articular da omoplata;
3. a existência na coxofemoral de uma cápsula articular mais espessa reforçada por um suporte ligamentar mais resistente;
4. o envolvimento da coxofemoral por uma musculatura mais poderosa.

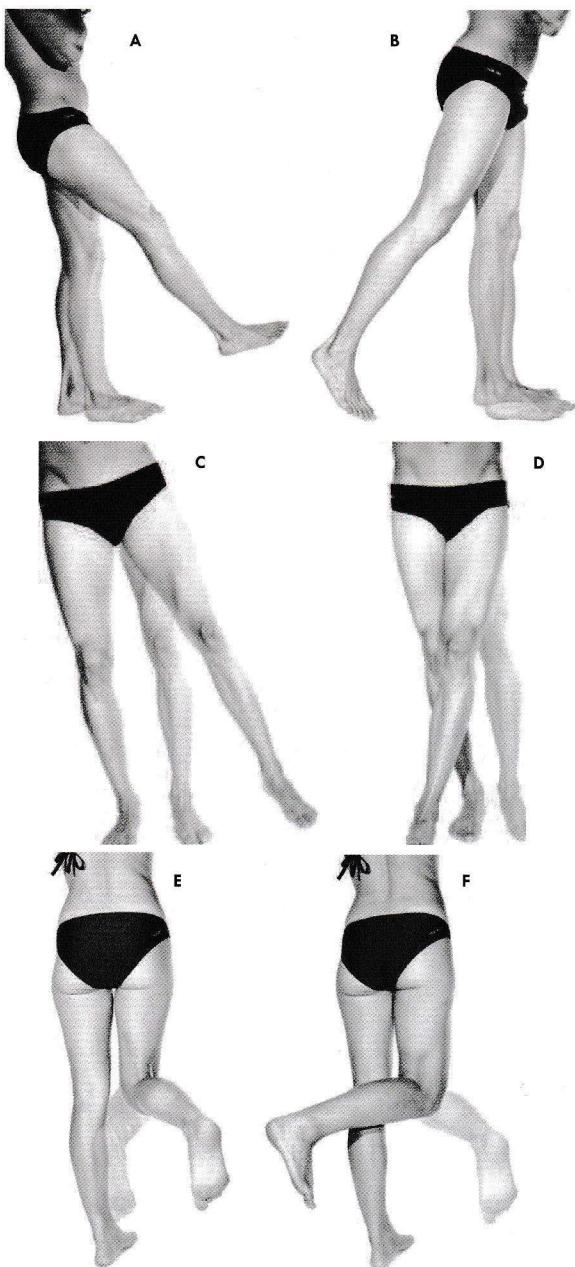
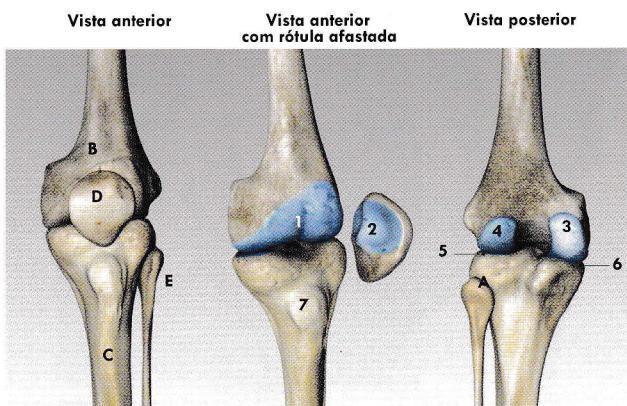


Figura 19 – Movimentos da coxa: A – Flexão; B – Extensão; C – Abdução; D – Adução; E – Rotação interna; F – Rotação externa.

## 7.2. Complexo articular do joelho e perna

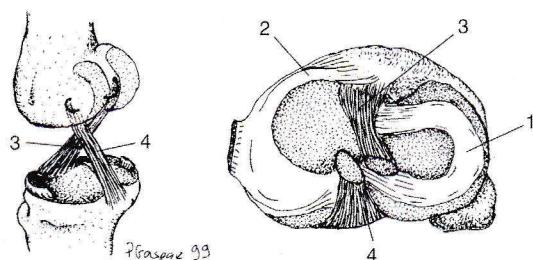
A perna é constituída por dois ossos paralelos: a tíbia, mais espessa, que se localiza do lado interno, e o perónio, osso bastante mais fino e frágil, que se encontra do lado externo. As articulações entre estes dois ossos são estabelecidas em superfícies de forma plana, permitindo apenas pequenos movimentos de deslize, com um funcionamento mecânico bastante diferente do que descrevemos no antebraço, em que o rádio realizava movimentos de rotação em torno do cúbito (pronação e supinação).



**Figura 20** – Diferentes vistas do complexo articular do joelho e da articulação tibioperoniana superior (A): fémur (B), tibia (C), rótula (D), perónio (E), tróclea femoral (1), face posterior da rótula (2), côndilo femoral interno (3), côndilo femoral externo (4), cavidade articular externa da tibia (5), cavidade articular interna da tibia (6), tuberosidade anterior da tibia (7).

O complexo articular do joelho inclui duas articulações: entre o fémur e a tibia – a articulação femorotibial – e entre o fémur e a rótula – a femoropatelar (Figura 20). A articulação entre o fémur e a tibia apresenta um papel fundamental na transmissão de forças verticais entre o apoio e o tronco, e vice-versa. Os dois côndilos do fémur, de curvatura acentuada, assentam nas cavidades articulares da tibia, que são quase planas. Esta discordância é compensada pela existência, à periferia de cada uma das cavidades articulares, de uma fibrocartilagem (menisco) que molda as cavidades à curvatura do respetivo côndilo femoral (Figura 21). Os ligamentos cruzados desempenham um papel fundamental na manutenção da união entre os côndilos femorais e as cavidades articulares da tibia. Anteriormente, e acima das articulações femorotibiais, localiza-se a rótula (ou patela), um pequeno osso incluso no tendão terminal do quadríceps crural. As duas articulações do complexo articular do joelho são envolvidas por uma mesma cápsula articular que delimita uma ampla cavidade articular. Dada a solicitação a que é sujeita na posição bípede e nas dife-

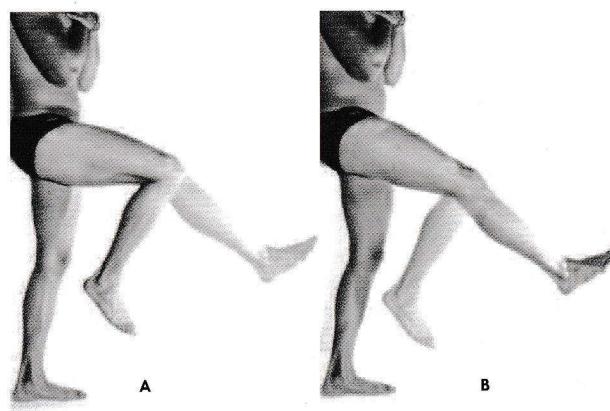
rentes formas de locomoção, a cápsula articular do joelho é reforçada por numerosos e complexos ligamentos. Anteriormente a cápsula é reforçada pelo tendão do músculo quadríceps, o tendão rotuliano, que se estende entre a rótula e a tuberosidade anterior da tibia, funcionando como ligamento anterior da articulação do joelho.



**Figura 21** – Articulação femorotibial: (1) menisco externo; (2) menisco interno; (3) ligamento cruzado anterior; (4) ligamento cruzado posterior.

O joelho está fundamentalmente preparado para realizar movimentos de flexão, normalmente associados com ações de amortecimento, e de extensão, presentes em ações de impulsão (Figura 22). Na posição bípede e em ações como a marcha, a corrida ou os saltos, a intervenção do joelho faz-se no sentido de passar de uma posição de flexão para o máximo da extensão, e vice-versa.

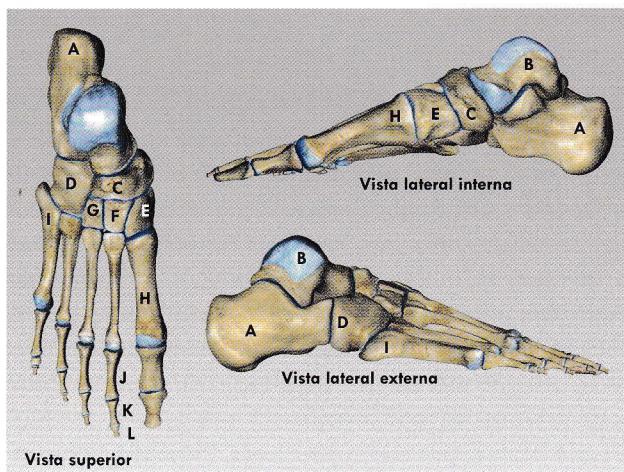
A extensão máxima da articulação femorotibial bloqueia o joelho e transforma-o numa unidade rígida. Este bloqueio é conseguido pela tensão de todos os ligamentos do joelho, principalmente os cruzados, e pela fixação da rótula à frente sob ação do quadríceps. Acessoriamente podem realizar-se também movimentos de rotação da perna nas articulações femorotibiais, embora de amplitude bastante mais reduzida, e apenas quando o joelho está posicionado em flexão. Estes movimentos de rotação são limitados principalmente pelos ligamentos cruzados.



**Figura 22** – Movimentos da perna: A – Flexão; B – Extensão.

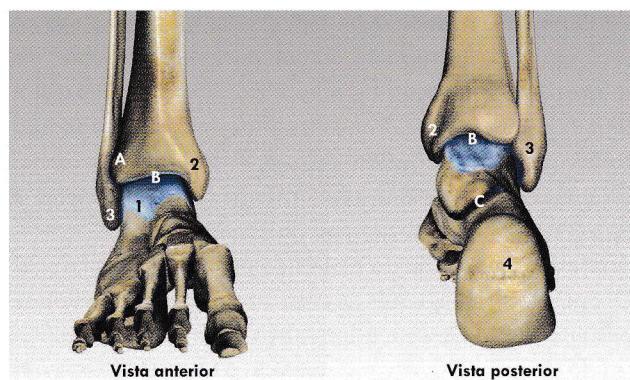
### 7.3. Complexo articular do tornozelo e pé

No pé podem distinguir-se, à semelhança da mão, três segmentos: tarso, metatarso e dedos (Figura 23). O tarso é formado por sete ossos repartidos por duas porções: proximal, o protarso, constituída pelos dois ossos mais volumosos do pé – o calcâneo e o astrágalo – e distal, o mesotarso, que inclui o escafoide társico, os três cuneiformes e o cuboide. As articulações entre os ossos do tarso são todas móveis, permitindo essencialmente pequenos movimentos de deslize.

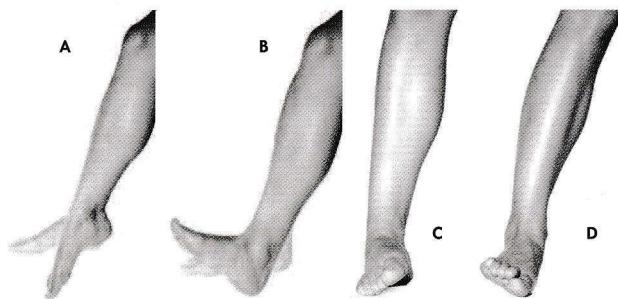


**Figura 23** – Constituição óssea do pé: (A) calcâneo; (B) astrágalo; (C) escafoide; (D) cuboide; (E) primeiro cuneiforme; (F) segundo cuneiforme; (G) terceiro cuneiforme; (H) primeiro metatarso; (I) quinto metatarso; (J) falange; (K) falanginha; e (L) falangeta do segundo dedo.

A ligação entre o pé e a perna faz-se através da articulação do tornozelo (Figura 24). Concretamente, as extremidades inferiores da tibia e do perónio estabelecem uma cavidade articular em forma de pinça que envolve a parte superior do astrágalo. A articulação do tornozelo está essencialmente preparada para funcionar numa única direção, como uma roldana, permitindo os movimentos de flexão, normalmente designada por dorsiflexão (ou flexão dorsal), e de extensão, denominada por plantarflexão (ou flexão plantar) do pé (Figura 25). Como a articulação do tornozelo se encontra sujeita a fortes impactos e apresenta mobilidade apenas no plano sagital, é particularmente importante o reforço lateral da cápsula articular, através dos ligamentos laterais: o ligamento lateral interno e o ligamento lateral externo.



**Figura 24** – Articulações tibioperonial inferior (A), tornozelo (B) e subtalar (C); (1) tróclea do astrágalo; (2) maléolo tibial; (3) maléolo peronial; (4) extremidade posterior do calcâneo.



**Figura 25** – Movimentos do pé: A – Plantarflexão; B – Dorsiflexão; C – Inversão; D – Eversão.

Não obstante o tornozelo ser uma articulação unidirecional, o pé pode realizar outros movimentos para além dos já referidos de flexão dorsal e flexão plantar. Essa mobilidade resulta dos movimentos de reduzida amplitude permitidos pelas restantes articulações do pé que, funcionando em conjunto, possibilitam movimentos combinados, como os de inversão e de eversão. Para essa mobilidade intrínseca do pé contribuem as articulações do tarso e metatarso, com particular destaque para a articulação entre o calcâneo e o astrágalo, a articulação subtalar ou astrágalo-calcaneana.

Os ossos do metatarso são cinco ossos longos que desenharam uma curvatura de concavidade inferior. Os espaços entre estes ossos, espaços interósseos, são ocupados por músculos. As extremidades anteriores dos ossos do metatarso articulam com a primeira falange do dedo respetivo, formando articulações móveis. Tal como na mão, também os dedos do pé são constituídos por três falanges, com exceção do dedo grande, que possui apenas duas. As articulações interfalângicas realizam apenas movimentos de flexão e de extensão. Em contraste com a mão, o pé apresenta dedos curtos e o dedo grande no mesmo plano dos restantes e, portanto, sem a capacidade de oponência.

O pé desempenha duas importantes funções no esqueleto: suporta e dissipa as forças verticais que sobre ele se exercem na posição bípede; e possibilita as diferentes formas de locomoção, transmitindo ao solo o resultado da cadeia cinética produzida pela ação dos vários músculos do tronco e do membro inferior. Estas funções implicam o apoio do pé no solo através da planta do pé. Contudo, nem toda a superfície da planta do pé contacta com o solo. O apoio é feito em três pontos: atrás pela extremidade posterior do calcâneo e à frente nas extremidades anteriores do primeiro e quinto metatarsicos (Figura 26). Estes três pontos delimitam um triângulo de base anterior, cujos lados correspondem aos três arcos plantares: o arco plantar anterior, que resulta da união das cabeças dos cinco ossos do metatarso; o arco plantar externo, formado pelos ossos da parte externa do pé; e o arco plantar interno, que é constituído pelos ossos da parte interna do pé. Estes arcos conferem ao pé uma maior flexibilidade no apoio e mais elevada capacidade de amortecimento de impactos.

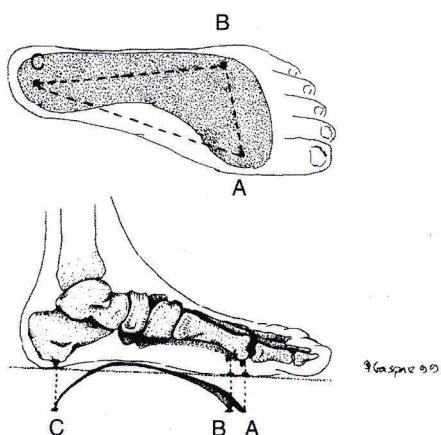


Figura 26 – Pontos de apoio do pé no solo e definição dos arcos plantares: (a) cabeça do primeiro metatarso; (B) cabeça do quinto metatarso; (C) extremidade posterior do calcâneo.

## 8. Adaptações osteoarticulares crónicas à atividade física e à inatividade

Os tecidos biológicos em geral, e as estruturas de tecido conjuntivo em particular (o osso, a cartilagem, o tendão e o ligamento) têm capacidade de se adaptar quando são submetidos de forma crónica a cargas externas como acontece quando se pratica regularmente atividade física e desportiva. Essa adaptação resulta de alterações nas quantidades relativas dos seus elementos constituintes e da orientação espacial (arquitetura) desses elementos que influenciam as propriedades biomecânicas do tecido e, logo, o desempenho das suas funções.

O osso é uma estrutura resistente, principalmente às cargas de compressão, e que se adapta aos esforços mecânicos resultantes dos variados tipos de solicitação que sofre. A resistência mecânica do osso depende da densidade mineral óssea que por sua vez é influenciada pela intensidade da carga a que o osso é sujeito. A densidade mineral óssea é normalmente maior em sujeitos com passado de vida ativa (prática desportiva, dança, treino de força) em comparação com sujeitos sedentários. No sentido contrário, a redução do estímulo mecânico diminui a massa óssea (osteopenia) e altera a arquitetura do osso, diminuindo a sua resistência e aumentando o risco de fratura. A osteopenia ocorre em casos de imobilização, acamamento ou ausência prolongada de força gravítica, como acontece com os astronautas. A osteopenia está também associada ao envelhecimento.

A carga sobre o osso desencadeia mecanismos de sinalização que induzem aumento da atividade de produção de tecido ósseo por parte dos osteoblastos e inibem a atividade dos osteoclastos, dando lugar a aumento da densidade mineral óssea e a um osso mais resistente. É no entanto importante ter presente que os efeitos benéficos descritos pressupõem a aplicação de cargas mecânicas em dose adequada (relação entre duração e intensidade que depende do sujeito em causa). Um excesso na dose de estimulação mecânica sobre o osso pode ter um efeito negativo sobre este.

Quando analisamos os efeitos do exercício físico no osso ou selecionamos cargas de treino, devemos ter uma atenção especial quando consideramos o jovem na fase de crescimento. Nessas idades, os esforços físicos podem afetar o crescimento ósseo devido a lesões da cartilagem de conjugação. Como referimos as cartilagens de conjugação localizam-se nas metáfises, localizadas na transição entre a diáfise e as epífises, e são responsáveis pelo crescimento em comprimento dos ossos longos. A resistência mecânica da cartilagem de conjugação é menor do que a do tecido ósseo circundante, razão porque são locais mais expostos a fratura e que podem predispor no futuro para alterações degenerativas no esqueleto.

A cartilagem articular tem como uma das principais funções amortecer as cargas aplicadas na articulação. As cartilagens mais espessas estão mais bem adaptadas para o amortecimento de pressões, podendo sofrer uma maior deformação, sendo transmitida uma menor pressão por unidade de superfície em resultado de uma área de contacto mais extensa. O exercício físico leve e moderado e o movimento articular, passivo ou ativo, promovem alternância de forças de compressão e descompressão que facilitam a penetração do líquido sinovial na cartilagem articular

e aumentam a sua nutrição, estimulando a síntese de tecido cartilagíneo. Estas alterações levam a aumento da espessura da cartilagem e da sua resistência às forças de compressão. No sentido contrário, a atrofia da cartilagem ocorre quando a carga articular é reduzida em resultado de redução ou ausência de movimento, o que está associado à diminuição da resistência às forças de compressão e à maior probabilidade de lesão.

Os ligamentos e os tendões são constituídos por tecido conjuntivo denso modelado, o que implica feixes paralelos de fibras de colagénio que conferem a estas estruturas grande resistência à tração. O exercício induz alterações morfológicas nos ligamentos e tendões que melhoram a forma como estes resistem às solicitações mecânicas a que estão sujeitos. As principais alterações consistem no aumento do conteúdo de água e de colagénio e um realinhamento na disposição das fibras de colagénio, com uma orientação paralela às linhas de tensão suportadas pelo ligamento ou tendão. Estas alterações influenciam positivamente as propriedades mecânicas dos ligamentos e tendões, aumentando a sua resistência à tração, sendo portanto capazes de suportar maiores cargas de alongamento antes de atingirem o ponto de falência. Situações de ausência de estimulação mecânica, como ocorre após imobilização forçada, produzem alterações que reduzem a resistência de ligamentos e tendões às forças de tensão, o que se explica por alterações de sentido contrário às anteriormente descritas: redução da quantidade de colagénio existente no interior da estrutura e desorganização das fibras de colagénio.

Em suma, a aplicação de cargas mecânicas às estruturas osteoarticulares, através do exercício físico moderado e regular, tem efeitos benéficos, desenvolvendo adaptações estruturais e arquitetónicas nos tecidos que aumentam a sua resistência à carga mecânica. É portanto importante, também do ponto de vista da saúde osteoarticular, combater o sedentarismo e a inatividade e promover a atividade física, desde que devidamente prescrita.