

A moldura de ossos e cartilagem que protege nossos órgãos e permite que nos movimentemos é denominada **sistema esquelético**. Cada osso no sistema esquelético é um órgão individual. Entre os tecidos associados aos ossos, estão o tecido ósseo, a cartilagem, o tecido conjuntivo denso, o epitélio, o sangue, o tecido adiposo e o tecido nervoso. O ramo especializado da Medicina que trata da conservação e restauração do sistema esquelético, das articulações (junturas) e das estruturas associadas é denominado **ortopedia** (*ortho* = corrigir ou endireitar; *pais* = criança).

## Funções

**Objetivo:** Discutir as funções do sistema esquelético.

O sistema esquelético realiza as seguintes funções:

1. **Sustentação.** O esqueleto fornece uma moldura para o corpo e, como tal, sustenta os tecidos moles e fornece pontos de fixação para os músculos esqueléticos.
2. **Proteção.** Os órgãos internos são protegidos de lesão pelo esqueleto. Por exemplo, o cérebro é protegido pelos ossos cranianos, enquanto o coração e os pulmões são protegidos pela caixa torácica.
3. **Movimento.** Os músculos esqueléticos estão fixados nos ossos. Quando os músculos se contraem, tracionam os ossos e, em conjunto, produzem movimento. Esta função é discutida em detalhe no Capítulo 8.
4. **Armazenamento e homeostase mineral.** Os ossos armazenam vários minerais, especialmente cálcio e fósforo, que podem ser distribuídos a outras partes do corpo, conforme a demanda. O mecanismo homeostático que deposita e remove cálcio e fósforo é discutido em detalhe na p. 105.
5. **Local de produção das células do sangue.** Em certos ossos, um tecido conjuntivo denominado medula óssea vermelha produz células sanguíneas, um processo denominado **hematopoiese** (*haimatos* = sangue; *poiein* = fazer). A **medula óssea vermelha**, um tipo de medula óssea, consiste de células sanguíneas imaturas, células adiposas e macrófagos. Ela é encontrada nos ossos em desenvolvimento e nos ossos adultos como osso do quadril, costelas, esterno, vértebras, crânio e extremidades dos ossos do braço e da coxa. A hematopoiese é discutida em detalhe no Capítulo 14.
6. **Armazenamento de energia.** Os lipídios armazenados nas células de outro tipo de medula óssea, denominada **medula óssea amarela**, são uma importante reserva de energia química. A medula óssea amarela é composta principalmente de tecido adiposo e umas poucas células sanguíneas.

## Tipos de Ossos

Os ossos do corpo podem ser classificados em quatro tipos principais com base na forma: longo, curto, plano e irregular. Os **ossos longos** têm o comprimento maior que a largura, e consistem de (1) uma porção principal, cilíndrica e central denominada haste ou corpo e (2) as extremidades. Os ossos longos contêm principalmente tecido ósseo compacto (osso denso com poucos espaços) mas também possuem quantidades consideráveis de tecido ósseo esponjoso (osso com grandes espaços). Os detalhes do osso compacto e esponjoso são discutidos a seguir. Os ossos longos incluem os ossos das coxas, das pernas, dos dedos dos pés, dos braços, dos antebraços e dos dedos da mão. A Figura 6.1 mostra as partes de um osso longo.

Os **ossos curtos** são levemente cubóides e quase iguais em comprimento e largura. Eles são esponjosos, exceto na superfície, onde existe uma camada fina de osso compacto. Os ossos curtos incluem os do carpo e do tarso.

Os **ossos planos** geralmente são finos e são compostos de duas lâminas mais ou menos paralelas de osso compacto, revestindo uma camada de osso esponjoso. Os ossos planos permitem uma proteção considerável, e fornecem extensas áreas para a fixação muscular. Os ossos planos incluem os ossos do crânio, o esterno, costelas e as escápulas.

Os **ossos irregulares** possuem formas complexas e não podem ser agrupados em qualquer das três categorias descritas. Eles também variam na quantidade de osso esponjoso e compacto presente. Estes ossos incluem as vértebras e certos ossos faciais.

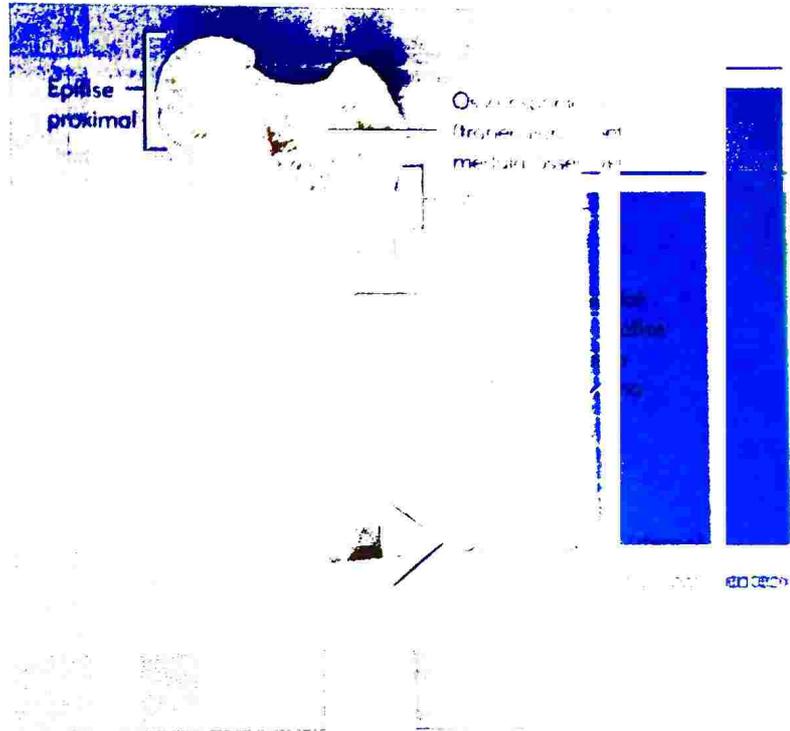
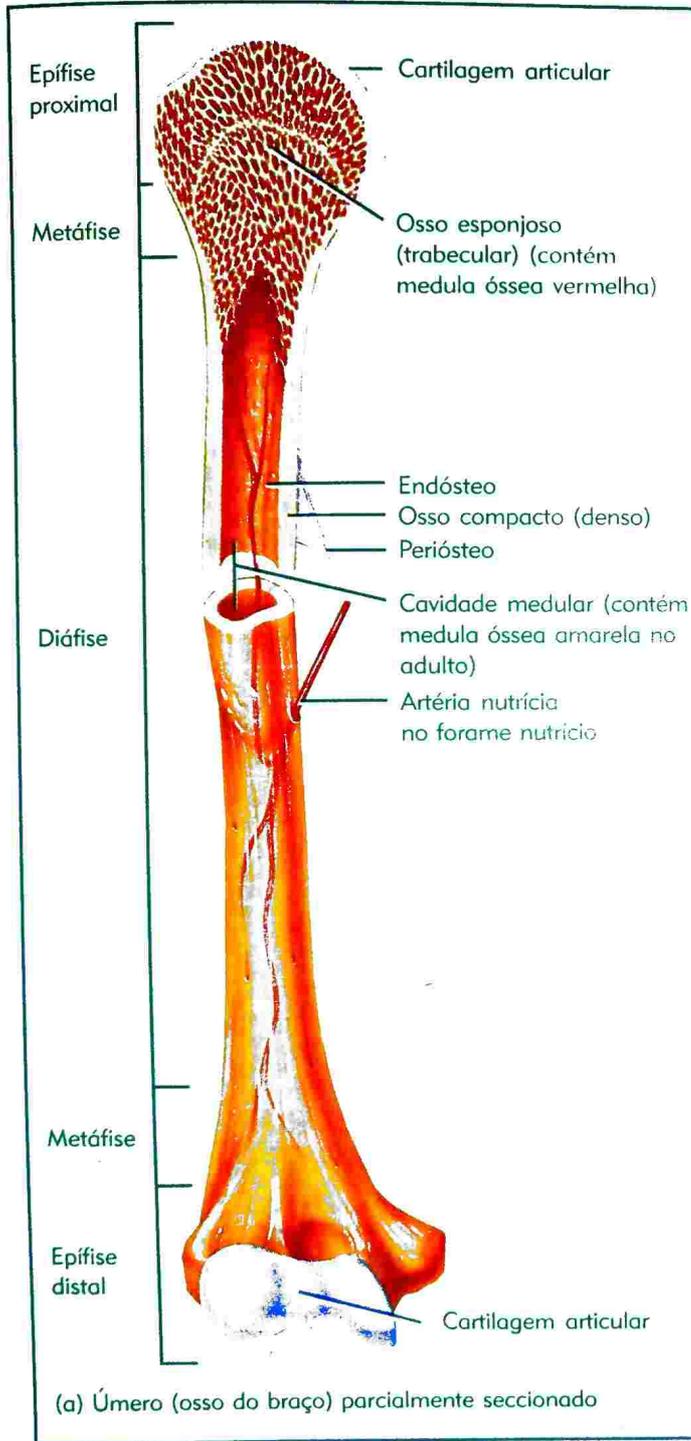
Existem dois tipos adicionais de ossos, não incluídos nesta classificação pela forma; eles são classificados pela localização. Os **ossos suturais**, também denominados **ossos wormianos**, são pequenos e situados entre as articulações de certos ossos cranianos. Seu número varia grandemente de uma pessoa a outra. Os **ossos sesamóides** são pequenos ossos nos tendões onde ocorrem presões consideráveis, por exemplo, no pulso. Estes, assim como os ossos suturais, também variam em número. Dois ossos sesamóides, as patelas, estão presentes em todos os indivíduos.

## Partes de um Osso Longo

A estrutura macroscópica de um osso longo – neste caso, o úmero (osso do braço) – será examinada antes de considerar a estrutura microscópica do osso. Um osso longo típico consiste das seguintes partes (Figura 6.1):

1. **Diáfise** (*dia* = através; *physis* = crescimento). A haste ou corpo, a parte principal, longa, cilíndrica do osso.

**Figura 6.1** Partes de um osso longo.



(b) Fotografia de uma porção de um fêmur (osso da coxa) parcialmente seccionado

**RESUMO DAS FUNÇÕES DO TECIDO ÓSSEO**

1. Sustenta os tecidos moles e fornece fixação para muitos músculos esqueléticos.
2. Protege os órgãos internos.
3. Fornece movimento em conjunto com os músculos esqueléticos.
4. Armazena e libera minerais, especialmente cálcio e fósforo.
5. Armazena medula óssea vermelha que produz as células sanguíneas.
6. Armazena medula óssea amarela (principalmente gordura), que é uma reserva de energia.

**P** Que parte do osso reduz o atrito nas articulações? Produz células sanguíneas? É o corpo? Reveste a cavidade medular?

2. **Epífises** (*epi* = acima). As extremidades do osso.
3. **Metáfises** (*meta* = após). No osso maduro, a região onde a diáfise une-se à epífise. No osso em crescimento, a região que contém a camada de cartilagem hialina denominada **disco epifisário (de crescimento)** (local onde ocorre o crescimento do osso em comprimento).
4. **Cartilagem articular**. Uma fina camada de cartilagem hialina revestindo a epífise onde o osso forma uma articulação (juntura) com outro osso. A cartilagem reduz o atrito e absorve o choque nas articulações livremente móveis.
5. **Periosteio** (*peri* = em torno de; *osteon* = osso). O periosteio é uma resistente membrana branca fibrosa, em torno da superfície do osso que não é coberta por cartilagem articular. Ele consiste de tecido conjuntivo denso irregular, vasos sanguíneos e nervos que passam pelo osso, e vários tipos de células ósseas. O periosteio é necessário para a proteção, a nutrição, o crescimento em diâmetro e reparo dos ossos, e é o local de fixação para os ligamentos e os tendões.
6. **Cavidade medular** (*medula* = parte central da estrutura). O espaço dentro da diáfise que contém medula óssea amarela em adultos.
7. **Endosteio** (*endo* = dentro). O revestimento da cavidade medular que consiste de células osteoprogenitoras e osteoclastos (descritos a seguir).

## Histologia

**Objetivo:** Descrever a estrutura microscópica do tecido ósseo compacto e esponjoso.

O sistema esquelético consiste de quatro tipos de tecido conjuntivo: cartilagem, osso, medula óssea e periosteio. Descrevemos a estrutura microscópica da cartilagem no Capítulo 4. Aqui, discutiremos a estrutura microscópica do tecido ósseo.

Como outros tecidos conjuntivos, o **osso** ou **tecido ósseo** contém uma grande quantidade de matriz (substância intercelular) circundando células amplamente separadas. A matriz consiste de um componente inorgânico (sais minerais), que torna o osso duro, e um componente orgânico (principalmente fibras colágenas), que dá ao osso sua resistência. Existem quatro tipos de células no tecido ósseo (Figura 6.2a): células osteoprogenitoras (osteogênicas), osteoblastos, osteócitos e osteoclastos. As **células osteoprogenitoras** (*osteo* = osso; *pro* = precursor; *gen* = produzir) sofrem mitose para tornarem-se osteoblastos. Elas são encontradas no periosteio, no endosteio e canais ósseos que contêm vasos sanguíneos. Os osteoblastos (*blasto* = germe ou botão) são as células que formam o osso, mas elas não possuem a capacidade de se dividir por mitose. Elas são encontradas nas superfícies do osso. Os osteoblastos inicialmente formam colágeno e outros componentes orgânicos necessários para formar o osso mas, uma vez que ficam isolados na matriz óssea, são denominados **osteócitos** (*bitos* = célula) ou células ósseas maduras. Elas são as principais células do tecido ósseo. Assim como os osteoblastos, os osteócitos não possuem potencial

mitótico. Os osteócitos mantêm as atividades celulares diárias do tecido ósseo. Os **osteoclastos** (*clastos* = romper) são encontrados nas superfícies do osso e atuam na reabsorção óssea (destruição da matriz), que é importante no desenvolvimento, no crescimento, na manutenção e no reparo do osso.

Diferentemente de outros tecidos conjuntivos, a matriz do osso contém sais minerais abundantes, primariamente fosfato de cálcio e algum carbonato de cálcio. À medida que estes sais são depositados pelos osteoblastos em torno das fibras colágenas da matriz, o tecido endurece. Este processo de endurecimento é denominado **calcificação**.

O osso não é completamente sólido. De fato, todo osso possui alguns espaços (algumas vezes apenas microscópicos) entre seus componentes duros. Os espaços fornecem canais para os vasos sanguíneos que suprem as células ósseas com nutrientes. Os espaços também tornam os ossos mais leves. Dependendo do tamanho e da localização dos espaços, o osso pode ser classificado como compacto ou esponjoso (veja a Figura 6.1).

### Tecido Ósseo Compacto

O **tecido ósseo compacto (denso)** contém poucos espaços. Ele forma a camada externa de todos os ossos e o maior volume do corpo dos ossos longos. O tecido ósseo compacto fornece proteção e suporte, e auxilia os ossos longos a resistir ao estresse do peso colocado sobre eles.

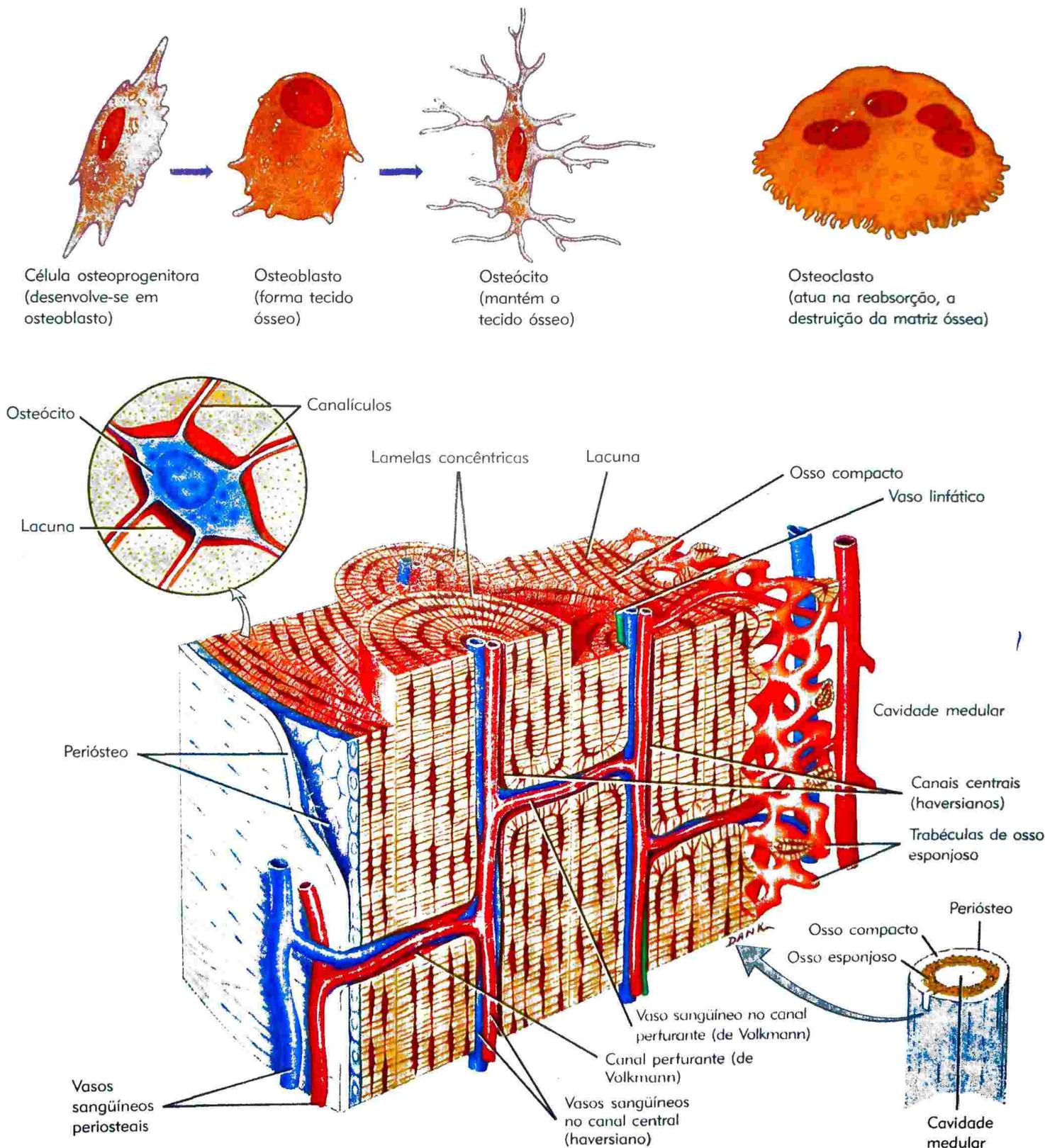
Note, na Figura 6.2b, que o osso compacto possui uma estrutura concêntrica. As artérias nutritivas e nervos do periosteio penetram no osso compacto através de **canais perfurantes (de Volkmann)**. Estes vasos sanguíneos conectam-se com os vasos sanguíneos e nervos da cavidade medular e com aqueles dos **canais centrais (haversianos)**. Os canais centrais correm no sentido do comprimento do osso. Em torno dos canais, há **lamelas concêntricas**, que são anéis de matriz dura, calcificada. Entre as lamelas, há pequenos espaços denominados **lacunas** (*lacuna* = pequeno lago), que contêm osteócitos. Projetando-se para fora em todas as direções a partir das lacunas, há canais diminutos, denominados **canalículos**, que contêm finos processos de osteócitos. Um canalículo conecta-se com aqueles das outras lacunas e, eventualmente, com os canais centrais. Assim uma intrincada rede ramificada de canalículos é formada ao longo do osso, para fornecer numerosas vias interconectadas para os nutrientes e oxigênio alcançarem os osteócitos e remover as impurezas. Cada canal central, com suas lamelas, lacunas, osteócitos e canalículos circundantes, é denominado um **osteon (sistema haversiano)**.

### Tecido Ósseo Esponjoso

Em contraste com o osso compacto, o **tecido ósseo esponjoso (trabecular)** usualmente não contém osteons verdadeiros. Ele consiste de uma rede irregular de lâminas finas de osso, denominadas **trabéculas**. Veja a Figura 6.2b. Os espaços macroscópicos entre as

**Figura 6.2** Histologia do osso. Uma microfotografia do tecido ósseo compacto é fornecida no Quadro 4.2, na p. 75.

**Os osteócitos ficam em lacunas distribuídas em círculos concêntricos em torno de um canal central, no tecido ósseo compacto, e em lacunas distribuídas irregularmente nas trabéculas do tecido ósseo esponjoso.**



(b) Aspecto aumentado de várias osteonas (sistemas haversianos) no ossão compacto

**P** À medida que as pessoas envelhecem, alguns canais (haversianos) podem-se tornar bloqueados. Que efeito isto teria sobre um osteócito?

trabéculas de alguns ossos são preenchidos com medula óssea vermelha.

Dentro das trabéculas há lacunas, que contêm osteócitos. Os vasos sanguíneos do perióstio penetram até o osso esponjoso, e os osteócitos nas trabéculas são nutridos diretamente pelo sangue que circula através das cavidades medulares.

O tecido ósseo esponjoso compõe a maior parte do tecido ósseo dos ossos curtos, planos e irregulares, e a maior parte das epífises dos ossos longos. O tecido ósseo esponjoso nos ossos do quadril, das costelas, do esterno, das vértebras, do crânio e das extremidades de alguns ossos longos é o único local de armazenamento da medula óssea vermelha, e assim, da hematopoiese em adultos.

A maioria das pessoas pensa nos ossos como um material muito duro e rígido. Porém os ossos de um infante são bastante moles e tornam-se rígidos somente após a cessação do crescimento no final da adolescência. Mesmo então, o osso é constantemente degradado e reconstruído. Ele é um tecido vivo, dinâmico. Vamos ver como os ossos são formados e como eles crescem.

## Ossificação: Formação Óssea

**Objetivo:** Explicar as etapas envolvidas na ossificação (formação óssea).

O processo pelo qual o osso se forma é denominado **ossificação** (*facere* = fazer). O “esqueleto” do embrião humano é composto de membranas de tecido conjuntivo fibroso ou cartilagem hialina. Ambos tem formato de ossos e fornecem locais para a ossificação.

A ossificação inicia-se em torno da sexta ou sétima semana de vida embrionária e continua ao longo da vida adulta.

Ocorrem dois métodos de formação óssea. O primeiro é denominado **ossificação intramembranosa** (*intra* = dentro; *membranous* = membrana). Isto refere-se à formação de osso diretamente sobre ou dentro das membranas de tecido conjuntivo fibroso. O segundo tipo, **ossificação endocondral** (*endo* = dentro; *condro* = cartilagem), refere-se à formação de osso dentro de um molde de cartilagem. Estes dois métodos de ossificação não levam a diferenças na estrutura dos ossos maduros. Eles são simplesmente métodos diferentes de desenvolvimento ósseo. Os dois mecanismos envolvem a substituição do tecido conjuntivo preexistente pelo osso. As “áreas moles” que auxiliam o crânio fetal a passar através do canal do parto são substituídas por osso através de ossificação intramembranosa.

O primeiro estágio no desenvolvimento do osso é o surgimento de células osteoprogenitoras que sofrem mitose para produzir osteoblastos, que irão produzir matriz óssea por ossificação intramembranosa ou endocondral.

### Ossificação Intramembranosa

Dos dois métodos de formação óssea, a **ossificação intramembranosa** é mais fácil de compreender. Os ossos planos do crânio, a mandíbula e as clavículas são formados desta forma. O processo ocorre como segue (Figura 6.3):

- 1 No local onde o osso irá se desenvolver, as células no mesênquima (lembre-se de que o *mesênquima* é o tecido do qual todos os outros tecidos conjuntivos eventualmente se originam) reúnem-se e desenvolvem-se em células osteoprogenitoras e então em osteoblastos. Este local é denominado um **centro de ossificação**. Os osteoblastos secretam uma matriz orgânica de osso até que estejam completamente circundados por ela.
- 2 Então, a secreção de matriz cessa e as células, agora denominadas osteócitos, estão nas lacunas e estendem processos citoplasmáticos delgados aos canalículos. Dentro de poucos dias, o cálcio e outros sais minerais são depositados e a matriz endurece (calcificação).
- 3 À medida que a matriz óssea se forma, ela se desenvolve em **trabéculas** que se fundem uma com a outra para formar osso esponjoso. Os espaços entre as trabéculas são preenchidos com medula óssea vermelha. No exterior do osso, o mesênquima se condensa.
- 4 O mesênquima desenvolve-se no perióstio. Eventualmente, a maioria das camadas superficiais do osso esponjoso é substituída por osso compacto, mas o osso esponjoso permanece no centro do osso. A maior parte deste osso recém-formado será remodelada (destruída e reformada) de modo que o osso possa atingir seu tamanho e forma adultos finais.

### Ossificação Endocondral

A substituição da cartilagem pelo osso é denominada **ossificação endocondral**. A maioria dos ossos do corpo é formado desse modo mas o processo é melhor observado em um osso longo. Ele ocorre como segue (Figura 6.4):

**1 Desenvolvimento do molde de cartilagem.** No local onde um osso irá se desenvolver, as células no mesênquima unem-se no formato do osso futuro. As células então se transformam em células produtoras de cartilagem, que alteram o molde para uma cartilagem hialina. Além disso, uma membrana denominada **pericôndrio** se desenvolve em torno da cartilagem.

**2 Crescimento do molde de cartilagem.** O molde de cartilagem cresce em comprimento e espessura. À medida que o molde de cartilagem continua a crescer, as células de cartilagem em sua região média sofrem alterações químicas que iniciam a calcificação. Uma vez que a cartilagem se torna calcificada, as outras células de cartilagem morrem pois os nutrientes não mais se difundem rápido o suficiente através da matriz. As lacunas de células que morreram agora estão vazias, e as finas repartições entre elas se degradam, formando pequenas cavidades. Neste meio tempo, uma artéria nutriente penetra no osso através de um orifício (forame nutrício) na região média do molde. Isto estimula as células osteoprogenitoras no pericôndrio a se desenvolverem em osteoblastos. As células produzem uma camada fina de osso compacto sob o pericôndrio. Uma vez que o pericôndrio começa a formar osso, é conhecido como **periosteio**.

**3 Desenvolvimento do centro de ossificação primária.** Junto à porção média do molde, os capilares do periosteio crescem na cartilagem calcificada em desintegração. Os capilares estimulam o **crescimento de um centro primário** de ossificação, uma região onde o tecido ósseo substituirá a maior parte da cartilagem. Os osteoblastos começam então a depositar matriz óssea sobre os restos de cartilagem calcificada, formando trabéculas de osso esponjoso. À medida que o centro de ossificação aumenta em direção às extremidades do osso, os osteoclastos degradam as trabéculas de osso esponjoso recém-formadas. Esta atividade deixa uma cavidade, a cavidade medular (medula), no centro do molde. A cavidade então é preenchida com medula óssea vermelha.

**4 Desenvolvimento da diáfise e epífise.** A diáfise (corpo), que antes era uma massa sólida de cartilagem hialina, é substituída por osso compacto, em cujo centro há uma cavidade medular cheia de medula óssea vermelha. Quando os vasos sanguíneos (artérias epifisárias) penetram nas epífises, os **centros secundários de ossificação** se desenvolvem, usualmente na época do nascimento.

**5 Nos centros secundário de ossificação, a formação óssea é similar à dos centros primários de ossificação. Uma diferença, porém, é que o osso esponjoso permanece no interior das epífises (não são formadas cavidades medulares nas epífises). Além disso, a cartilagem hialina permanece recobrendo as epífises como cartilagem articular, e entre a diáfise e a epífise, como placa epifisária, a qual é responsável pelo crescimento dos ossos longos no comprimento.**

A placa epifisária permite à diáfise do osso aumentar de comprimento até o início da vida adulta. A velocidade de crescimento é controlada por hormônios como o hormônio de crescimento humano (GH). As células de cartilagem da placa epifisária cessam a divisão, e a cartilagem eventualmente é substituída pelo osso. A nova estrutura é denominada **linha epifisária**. Com o surgimento da linha epifisária, o crescimento ósseo em comprimento cessa.

O crescimento em diâmetro ocorre junto com o crescimento em comprimento. Neste processo, o osso revestindo a cavidade

medular é destruído por osteoclastos no endosteio de modo que a cavidade aumenta em diâmetro. Ao mesmo tempo, os osteoblastos do periosteio acrescentam novo tecido ósseo em torno da superfície externa do osso.

## Homeostase

**Objetivo:** Descrever os fatores envolvidos no crescimento e manutenção ósseos.

### Crescimento e Manutenção Ósseos

O osso, como a pele, repõe continuamente a si mesmo ao longo da vida adulta. O **remodelamento** é a substituição do tecido ósseo velho por um novo. O osso compacto é formado pela transformação do osso esponjoso. O diâmetro de um osso longo é aumentado pela destruição interna do osso, e a construção externa de osso novo. Mesmo após os ossos terem atingido suas formas e tamanhos adultos, o osso velho é continuamente destruído e o osso novo é formado em seu lugar. O osso nunca está metabolicamente em repouso; ele remodela-se constantemente. O remodelamento remove o osso gasto e lesado, substituindo-o por tecido novo. Ele também permite ao osso servir como área de armazenamento para o cálcio corporal (será discutido a seguir). Muitos outros tecidos no corpo necessitam de cálcio para realizar suas funções. O sangue troca continuamente cálcio com os ossos, removendo o cálcio quando ele e outros tecidos não estão recebendo o suficiente, e suprindo novamente os ossos para impedi-los de perder massa.

Os osteoclastos são responsáveis pela reabsorção (destruição da matriz) do tecido ósseo. Uma homeostase delicada é mantida entre a ação dos osteoclastos, ao remover cálcio e colágeno, e a ação dos osteoblastos, construtores de osso ao depositar cálcio e colágeno. Caso um excesso de tecidos novos fosse formado, o osso tornar-se-ia anormalmente espesso e pesado. Se um excesso de cálcio é depositado, o excedente pode formar elevações espessas (“esporões”) que interferem com o movimento nas articulações. Uma perda excessiva de tecido ou cálcio torna os ossos quebradiços ou demasiado flexíveis.

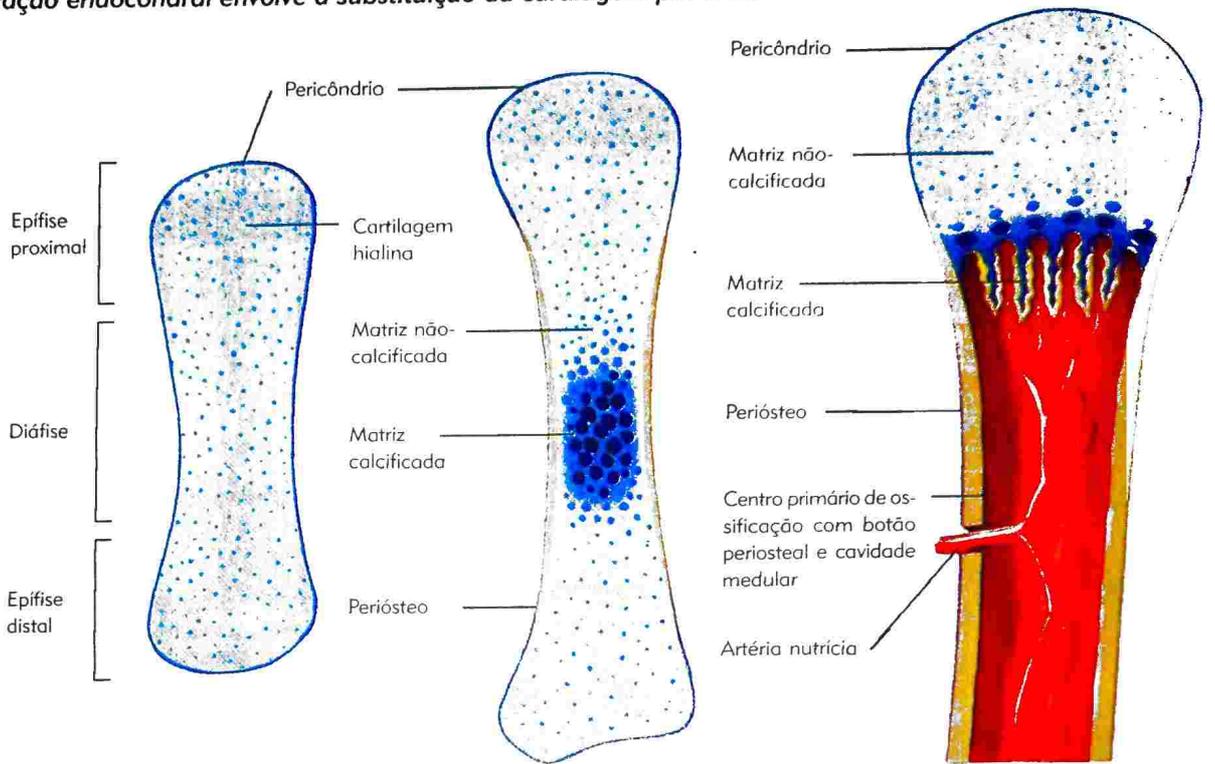
O crescimento ósseo normal no jovem, o remodelamento ósseo no adulto e o reparo do osso fraturado dependem de (1) minerais adequados, sendo os mais importantes cálcio, fósforo e magnésio; (2) vitaminas A, C e D; (3) vários hormônios, sendo os mais importantes o hormônio de crescimento humano, hormônios sexuais (estrógenos e testosterona), insulina, fatores de crescimento semelhantes à insulina, hormônios tireóideos, calcitonina e hormônio paratireóide; e (4) o exercício, que expõe os ossos ao estresse (atividades de suporte de peso). Veja o Quadro 6.1.

### Ossos e Homeostase Mineral

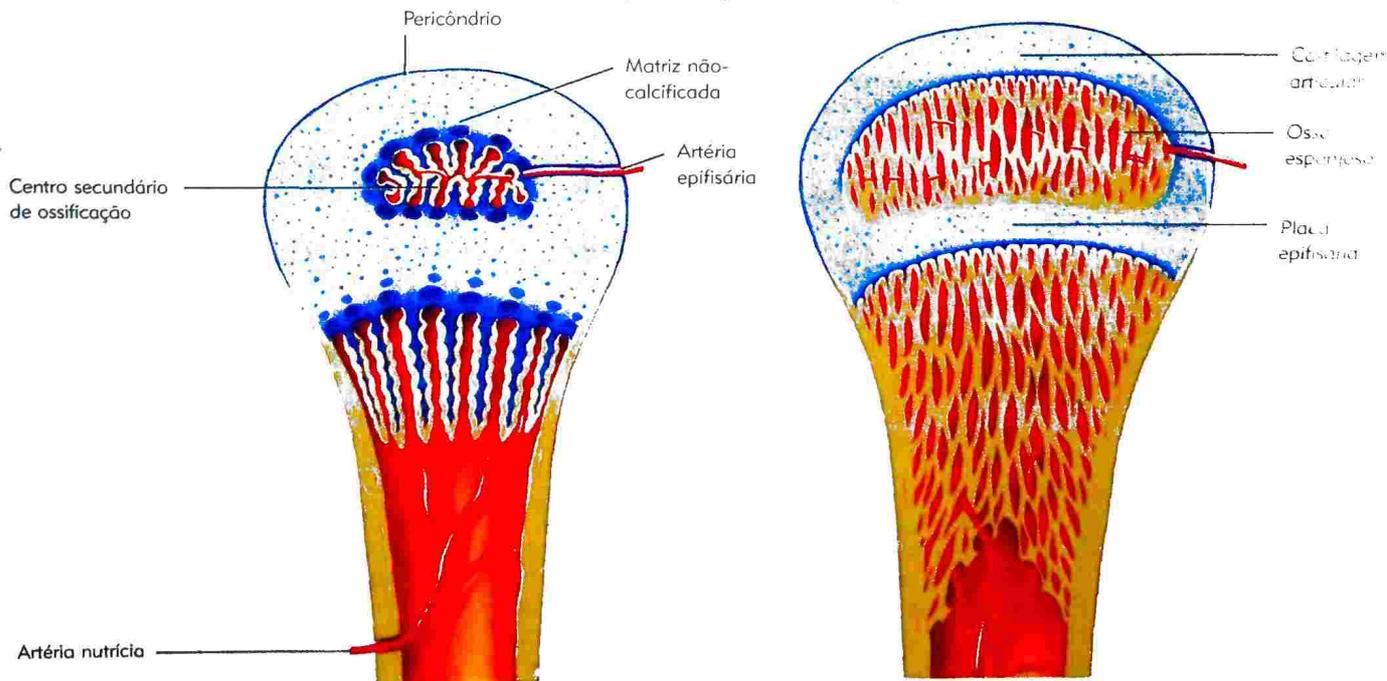
Os ossos contêm mais cálcio do que quaisquer outros órgãos, mas o cálcio também é necessário para a função muscular e nervosa e para a coagulação do sangue. Níveis adequados de cálcio são necessários no sangue, mas quantidades excessivas também podem ser nocivas, e os ossos servem como locais úteis de armazenamento quando o cálcio sanguíneo aumenta além do seu nível homeostático normal. Os ossos também armazenam mais fosfato (fósforo) do que qualquer outro órgão. Níveis apropriados de fosfato são requeridos para a produção de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e ATP.

**Figura 6.4** Ossificação endocondral da tíbia.

**1** A ossificação endocondral envolve a substituição da cartilagem por osso.



- 1** As células mesenquimatosas diferenciam-se em células que formam o molde de cartilagem hialina
- 2** O molde de cartilagem cresce no comprimento e na espessura, as células de cartilagem na região média calcificam a matriz, as lacunas vazias formam pequenas cavidades e os osteoblastos no pericôndrio produzem osso compacto
- 3** Formam-se o centro primário de ossificação e a cavidade medular

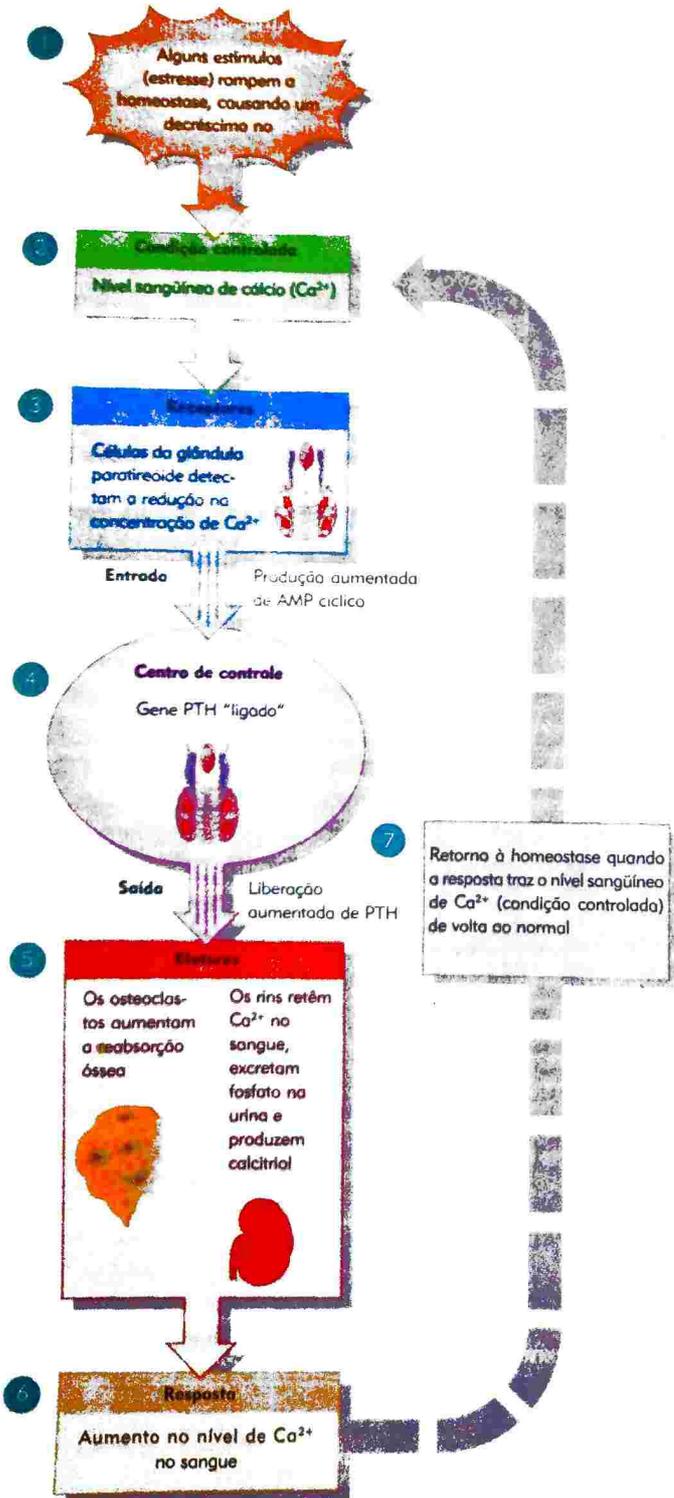


- 4** Desenvolvimento do centro secundário de ossificação na epífise. Um centro secundário de ossificação também se desenvolve na epífise distal de um osso longo
- 5** Restos de cartilagem hialina em forma de cartilagem articular e placa epifisária

**P** Que estrutura assinala que o crescimento ósseo no sentido do comprimento cessou?

O hormônio mais importante que regula as trocas de  $\text{Ca}^{2+}$  entre o osso e o sangue é o **hormônio paratireóide (PTH)**, secretado pelas glândulas paratireóides. Os sistemas de retroalimentação negativa ajustam a concentração sanguínea do  $\text{Ca}^{2+}$  (condição controlada). Observar o ciclo de retroalimentação negativa na Figura 6.5. Se algum estímulo reduz o nível sanguíneo de  $\text{Ca}^{2+}$ , as células da glândula paratireóide (receptores) detectam esta alteração. O centro de controle é o gene para o PTH dentro do núcleo de uma célula da glândula paratireóide. Um sinal de entrada ao centro de controle é um nível aumentado da molécula co-

**Figura 6.5** Sistema de retroalimentação negativa para a regulação da concentração do íon cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) sanguíneo.



nhecida como AMP cíclico (monofosfato de adenosina) no citosol. O AMP cíclico acelera reações que "ligam" o gene PTH, a síntese de PTH se acelera e mais PTH (saída) é liberado no sangue. O PTH aumenta o número e a atividade dos osteoclastos (efetores), que estabelece o ritmo da reabsorção óssea. A resultante libertação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  (e íons fosfato) pelo osso no sangue (resposta) faz retornar ao normal o nível de  $\text{Ca}^{2+}$  no sangue.

O PTH também afeta os rins. Ele promove (1) a recuperação do  $\text{Ca}^{2+}$  de modo que ele não seja perdido na urina, (2) a eliminação de fosfato na urina e (3) a formação de vitamina D. Estes efeitos renais do PTH elevam a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no sangue.

Outro hormônio também contribui com a homeostase do  $\text{Ca}^{2+}$  sanguíneo. A **calcitonina (CT)** é secretada por células da glândula tireóide quando o  $\text{Ca}^{2+}$  do sangue se eleva acima do normal. Ela inibe a atividade osteoclástica, acelera a captação de  $\text{Ca}^{2+}$  do sangue pelo osso e acelera o depósito de  $\text{Ca}^{2+}$  nos ossos. O resultado líquido é que a calcitonina promove a formação óssea e diminui o nível sanguíneo de  $\text{Ca}^{2+}$ .

### Ossos e Exercício

Dentro de limites, o osso tem a capacidade de alterar sua força em resposta ao estresse mecânico. Quando colocado sob estresse mecânico, o tecido ósseo torna-se mais forte, através da deposição aumentada de sais minerais e produção de fibras colágenas. Outro efeito do estresse é o aumento da produção de calcitonina, que inibe a reabsorção óssea. Sem o estresse mecânico, o osso não se remodela normalmente, pois a reabsorção supera a formação óssea. A remoção do estresse mecânico enfraquece o osso através da **desmineralização** (perda dos minerais ósseos) e redução do colágeno. Os principais estresses mecânicos sobre o osso são aqueles que resultam de uma tração dos músculos esqueléticos, causada pela sustentação de peso, exercício e força da gravidade. Se a pessoa está restrita ao leito ou tem um osso fraturado imobilizado pelo gesso, a força do osso não-estressado diminui. Os astronautas sujeitos à ausência de peso no espaço também perdem massa óssea. Em ambos os casos, a perda óssea pode ser dramática, de até 1% por semana. Ossos de atletas, que são repetitiva e altamente estressados, tornam-se bem mais espessos que os dos não-atletas. As atividades com sustentação de peso, como a caminhada ou o levantamento de peso moderado, auxiliam a construir e a manter a massa óssea.

O Quadro 6.1 resume os fatores que influenciam no crescimento, no remodelamento e no reparo ósseos.

### Ossos e Envelhecimento

Com o envelhecimento, ocorre uma perda de cálcio pelos ossos. Nas mulheres, ele inicia-se após os 30 anos, acelera-se intensamente em torno dos 40 a 45 anos, à medida que se reduzem os níveis de estrógenos, e continua até que cerca de 30% do cálcio ósseo seja perdido, em torno dos 70 anos. Em homens, a perda de cálcio geralmente ocorre depois dos 60 anos. A perda de cálcio dos ossos causa osteoporose, que será descrita a seguir.

O segundo efeito principal do envelhecimento sobre o sistema esquelético é uma redução na velocidade de formação de proteínas, que resulta em uma capacidade diminuída de produzir a porção orgânica da matriz óssea. Conseqüentemente, o osso acumula menos matriz orgânica e mais matriz inorgânica. Em alguns indivíduos idosos, este processo faz seus ossos tornarem-se quebradiços e mais suscetíveis a fraturas.

**P** Que funções corporais dependem de níveis corretos de  $\text{Ca}^{2+}$ ?

**Quadro 6.1****Resumo dos Fatores que Influenciam o Crescimento, o Remodelamento e o Reparo dos Ossos**

FATOR	COMENTÁRIO
<b>Minerais</b>	
Cálcio e fósforo	Endurecem a matriz óssea.
Magnésio	A deficiência inibe os osteoblastos.
<b>Vitaminas</b>	
Vitamina A	Controla a atividade, a distribuição e a coordenação dos osteoblastos e dos osteoclastos; tóxica em altas doses.
Vitamina C	Auxilia a manter a matriz óssea; a deficiência leva à produção diminuída de colágeno, que inibe o crescimento ósseo e retarda o reparo de fraturas.
Vitamina D	A forma ativa é formada na pele e nos rins por um precursor da dieta; auxilia a construir o osso por aumentar a absorção de cálcio do intestino ao sangue; pode reduzir o risco de osteoporose, mas é tóxica em altas doses.
<b>Hormônios</b>	
Hormônio de crescimento humano (GH)	Secretado pela parte anterior da hipófise (adeno-hipófise), na base do cérebro; promove o crescimento geral de todos os tecidos do corpo, incluindo o osso.
Hormônios sexuais (vários estrógenos e testosterona)	Estrógenos secretados pelos ovários e testosterona secretada pelos testículos aumentam a atividade construtora de ossos dos osteoblastos, para promover o crescimento ósseo; responsáveis pelas diferenças esqueléticas características feminina e masculina.
Hormônios tireóideos (tiroxina e triiodotironina)	Secretados pela glândula tireóide, logo abaixo da laringe; promovem o crescimento ósseo e maturidade normais.
Calcitonina (CT)	Secretada pela glândula tireóide; promove a formação óssea por inibir a atividade dos osteoclastos, acelera a absorção de $Ca^{2+}$ do sangue e acelera a deposição de $Ca^{2+}$ nos ossos.
Hormônio paratireóideo (PTH)	Secretado pelas glândulas paratireóides, aderidas à superfície posterior da glândula tireóide; promove a reabsorção óssea por aumentar o número e atividade dos osteoclastos; aumenta a recuperação do $Ca^{2+}$ da urina; promove a produção da forma ativa da vitamina D.
<b>Exercício</b>	As atividades com sustentação de peso auxiliam a construir ossos mais espessos e fortes e retardam a perda de massa óssea que ocorre à medida que as pessoas envelhecem.