



16. A ação dos rios na superfície da Terra

Principais conceitos

- ▶ A água de chuva quando atinge a superfície terrestre pode seguir três caminhos: infiltrar-se, escoar e evaporar-se para reintegrar-se ao ciclo hidrológico.
- ▶ Ao escoar, a água forma filetes que se reúnem em um canal mais ou menos delimitado e escoam por gravidade até chegar ao oceano. Assim, nesse percurso originam-se os sistemas coletores, de transporte e de dispersão de sedimentos até seu destino final (lago ou oceano) onde pode ou não formar um delta.
- ▶ Os rios representam o principal fator de **denudação** continental. Sua ação é condicionada pelo clima e a quantidade e **qualidade** do material que ele transporta. **tipo**
- ▶ O rio erode (remove o material terrestre intemperizado), transporta e deposita (acumula) os sedimentos. Sua capacidade de erosão depende da velocidade que varia com o gradiente topográfico e a quantidade de água, e com o tamanho e a quantidade de partículas envolvidas.
- ▶ Em um sistema fluvial, as partículas finas, principalmente **silte** e **argila**, são transportadas por suspensão (carga em suspensão), as grossas, especialmente **seixos** e areia grossa, são transportadas por tração, arraste ou rolamento no fundo do rio (carga de fundo), as partículas intermediárias (areia fina) por saltação (alternância entre carga de suspensão e de fundo) e o material dissolvido é transportado na forma iônica (carga em solução).
- ▶ Um rio apresenta uma fase juvenil, quando existe um excesso de energia e predominância dos processos de erosão e transporte; uma fase madura, quando a energia é equilibrada entre os processos de transporte e deposição; e uma fase senil, de baixa energia, quando predomina o transporte de sedimentos finos e em solução que leva a formação de amplas planícies de inundação e de um canal meandrante, caracterizado por **baixo gradiente**.

J.B. Sigolo



4468_I18_CIE_CAP16_F002
aprovada

▲ Rio Negro, Pantanal – MS.



Introdução

A Terra é um planeta dinâmico em constante transformação. Vimos nos capítulos anteriores que sua dinâmica interna ~~é o resultado através~~ da movimentação das placas litosféricas e dos fenômenos associados como a expansão do assoalho oceânico, a formação das cadeias de montanhas (orogênese), atividades vulcânica e sísmica etc. (ver **Capítulos 5, 8 e 11**). Ela apresenta também uma dinâmica externa, que decorre da interação da superfície terrestre com a atmosfera e hidrosfera, resultando em processos de erosão, transporte e sedimentação, intimamente ligados ao ciclo da água (ver **Capítulo 13**). Desse modo, a superfície do planeta é modelada pelo conjunto dos efeitos decorrentes das dinâmicas interna e externa, sendo que os processos ligados à erosão e dispersão dos sedimentos tendem a nivelar as irregularidades criadas na superfície da Terra, por exemplo, pela orogênese e o vulcanismo. Os rios têm um papel importante ~~no modelo~~ do relevo: eles transferem não apenas o excesso de água desde o continente até o oceano, mas transformam as paisagens pela sua capacidade de erodir, transportar e depositar os sedimentos, que são produtos oriundos do intemperismo das rochas (ver **Capítulo 9**) e dos processos ligados

à denudação por movimentos de massa e da erosão, em geral. Os rios promovem também a redistribuição dos nutrientes minerais para a biosfera. Além disso, embora de forma incorreta, eles recebem, diluem e transportam os despejos das diversas atividades humanas e representam ~~uma importante via de transporte~~. Os rios sempre desempenharam um papel importante para a história da humanidade, tanto para o seu desenvolvimento como para a sua sobrevivência, ~~com inúmeros exemplos a exemplo dos rios~~: Rio Nilo, no Egito; Sena, em Paris; Tamisa, em Londres; Mississipi, em Nova Orleans; e mesmo os Rios Tietê e Pinheiros, em São Paulo; entre outros. Na bacia do rio Yang-tse-Kiang, na China, vivem hoje cerca de 300 milhões de pessoas.

Desde a sua origem, os rios passam por várias fases desde a juventude, à maturidade e senilidade, antes de seu desaparecimento ou rejuvenescimento. Portanto, quais são as principais características de um rio ao longo de sua história evolutiva? Quais são os fatores que controlam a sua dinâmica? Quais são os processos geológicos associados? Como as atividades antrópicas interferem na evolução natural de um rio? É o que se tentará mostrar neste capítulo.

Principais características de um sistema fluvial

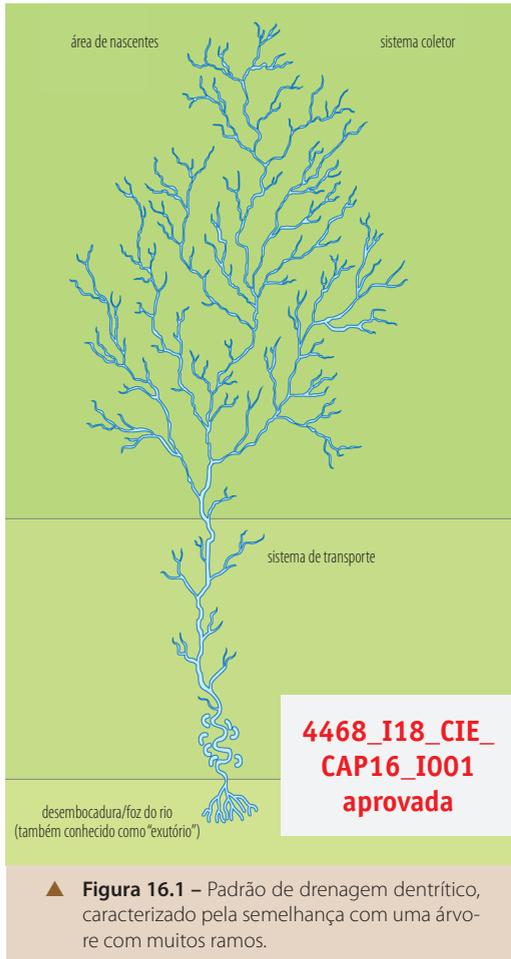
Vamos considerar o rio como um sistema e não somente como um canal de escoamento de água. Em um sistema fluvial, ~~que constitui~~ uma bacia hidrográfica (conjunto de diversos rios interligados), ~~pode~~ ser reconhecido três sistemas: um coletor, um de transporte e um de dispersão (**Figura 16.1**).

O sistema coletor de um rio é composto por uma rede de **tributários** na região das cabeceiras, que coleta e drena a água das áreas mais altas (**montante**) para as áreas mais baixas (**jusante**). O arranjo e as dimensões dos cursos d'água em uma bacia de drenagem são ordenados. A **bacia hidrográfica** ou **de drenagem** é separada das bacias adjacentes por uma área mais alta chamada de **divisor de águas**. Os cursos d'água de uma bacia hidrográfica seguem uma **ordem**, segundo a qual cada rio apresenta tributários cada vez menores. Quando não possuem mais tributários, eles são classificados como rios de primeira ordem. Quando dois rios de primeira ordem se encontram, formam um sistema

de segunda ordem. Rios de terceira ordem são formados pelo encontro de dois rios de segunda ordem, que podem ter tributários de primeira e de segunda ordem. Portanto, um sistema fluvial é semelhante a uma árvore com um tronco e um número crescente de ramos cada vez menores (**Figura 16.1**) Para onde há um ramo principal que se ramifica para a jusante, os tributários são progressivamente menos numerosos porém são mais longos e tornam-se mais profundos e mais largos.

A área de uma bacia hidrográfica pode ser inferior a um quilômetro quadrado ou ser muito ampla e atingir dezenas a centenas de quilômetros quadrados. A bacia hidrográfica do rio Amazonas, por exemplo, possui uma área de drenagem superior a 5,8 milhões de km², dos quais 3,9 milhões de km² situam-se no Brasil, e representa a maior bacia hidrográfica da Terra. O restante de sua área estende-se pelo Peru (o rio nasce na cordilheira dos Andes), Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana e Venezuela.

crédito crédito crédito crédito



▲ **Figura 16.1** – Padrão de drenagem dendrítico, caracterizado pela semelhança com uma árvore com muitos ramos.

4468_I18_CIE_CAP16_F003 aprovada

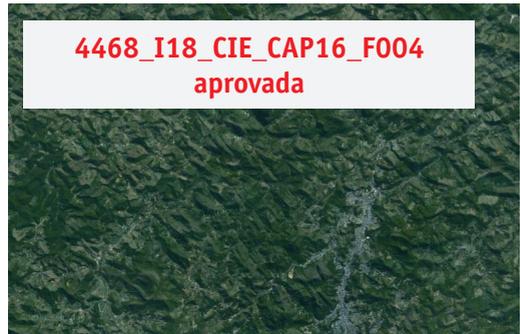


Jesse Allen/Nasa

▲ **Figura 16.2** – Bacia hidrográfica composta por um sistema coletor, um sistema de transporte e um sistema de dispersão, desde a nascente até a desembocadura (ou foz) do rio.

1150
(isso é de...)

4468_I18_CIE_CAP16_F004 aprovada



google maps all rights reserved google.com/maps

▲ **Figura 16.3** – Padrão de drenagem retangular definido, por exemplo, pela existência de falhas. Serras dos órgãos, RJ.

Os padrões de drenagem de uma bacia hidrográfica são controlados por fatores geológicos, como litologia (tipo de rochas, tectônica; feições estruturais) que, além disso, não são homogêneas ao longo do curso de um rio, principalmente quando ocupam grandes áreas como, por exemplo, as bacias dos rios Amazonas e Mississippi. Existem vários padrões de drenagens: o mais comum é o **dendrítico**, o termo vem de árvore (dendros) sugerindo semelhança a uma árvore ramificada. Rios menores constituem os tributários oriundos de vários locais que se juntam a um rio principal. Esse tipo de drenagem desenvolve-se geralmente em terrenos homogêneos, tanto do ponto de vista litológico como do estrutural (**Figura 16.2**).

podem variar

um padrão de drenagem retangular ocorre quando há “cortes” na drenagem, devido à existência de estruturas (falhas ou juntas) ortogonais (**Figura 16.3**).

Um padrão de drenagem que apresenta um arranjo de várias drenagens que irradiam a partir do centro em direção à periferia é chamado de **drenagem em padrão radial**. Esse padrão é típico de áreas com topografia elevada no centro como, por exemplo, nos cones vulcânicos ou intrusões graníticas (batólitos) (ver **Figura 16.4**).

4468_I18_CIE_CAP16_F005 aprovada



Earth Sciences and Image Analysis Laboratory no Johnson Space Center/Nasa

▲ **Figura 16.4** – Padrão de drenagem radial.



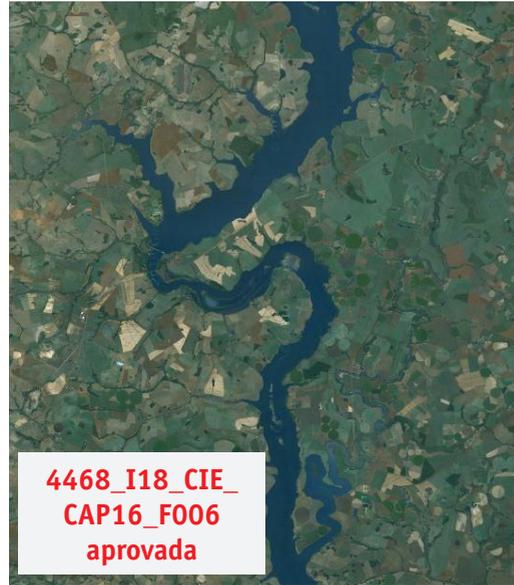
Em regiões com declividade acentuada, a drenagem pode escoar tributários paralelos entre si, devido à presença de estruturas do substrato, que são paralelas ao mergulho do terreno. Nesse caso, o padrão é classificado como paralelo (**Figura 16.5**).

O sistema de transporte é o curso principal do rio que funciona como um canal, por meio do qual a água e os sedimentos são carreados da área coletora até o oceano. Embora o principal processo seja o transporte, ocorre também uma coleta de água e sedimentos adicionais oriundos de processos de erosão e deposição.

O sistema de dispersão consiste em uma rede de distribuição na foz do rio, onde a água e os sedimentos adentram em um corpo d'água, que pode ser um outro rio, um lago ou oceano, perdem velocidade e depositam os sedimentos no oceano, em um lago, ou em outro rio. O principal processo é a deposição de sedimento grosso e a dispersão do material fino e das águas do rio na bacia receptora.

Equilíbrio dinâmico

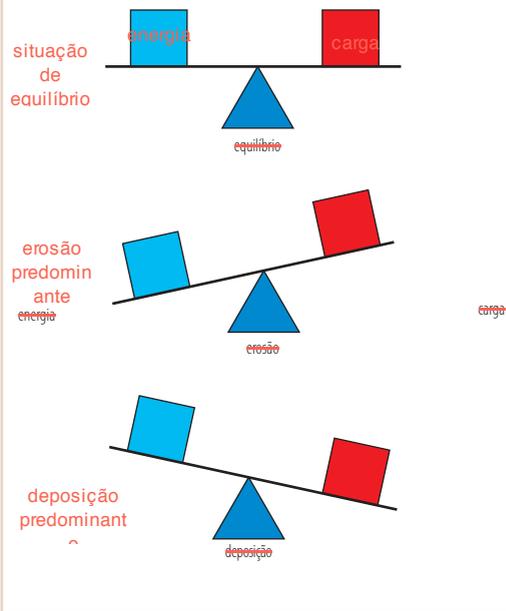
Uma bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema aberto com fluxos de entrada (precipitações, energia solar entre outros fatores) e de saída de energia e de matéria. A morfologia da bacia evolui em resposta a essas entradas e saídas. Ao escoar, a água adquire energia. À medida que o gradiente topográfico diminui, a energia também diminui. A partir desse momento, não são mais os processos de erosão e transporte que predominam, mas os processos de deposição. Um rio está sempre em busca do equilíbrio entre sua energia potencial, ou seja, a capacidade que ele tem de “trabalhar”, e o material que ele transporta. Se o rio tem muito mais energia a dissipar do que a quantidade de material que ele transporta, o processo de erosão vai se tornar predominante. Do modo inverso, se a quantidade de material que ele transporta for maior do que sua energia, o rio vai ceder este material depositando sedimentos. Esse ajuste entre o jogo da erosão e da sedimentação (deposição de material) modela a morfologia do curso d'água (**Figura 16.6**). Qualquer perturbação do sistema pode resultar em um desequilíbrio entre os processos de erosão, transporte e deposição, com numerosas consequências tanto do ponto de vista geológico quanto ambiental.



crédito crédito crédito/crédito

▲ **Figura 16.5** – Padrão de drenagem paralelo.

4468_I18_CIE_CAP16_I002 aprovada



crédito crédito crédito/crédito

▲ **Figura. 16.6** – Equilíbrio dinâmico de um rio. A erosão é controlada por um balanço entre a força do rio (energia) e a resistência à erosão (carga sedimentar).

melhorar a figura

Dinâmica fluvial

Ao observar o curso de um rio, ocorrem mudanças no traçado do seu canal, no seu regime, na velocidade da água, ou seja, na sua dinâmica. Isto está relacionado com os processos de erosão, de transporte e de deposição, e com a velocidade de denudação da bacia (produção de sedimentos).

Os diversos fatores ou parâmetros que controlam a dinâmica do sistema fluvial são intimamente ligados entre si, ou seja, a variação de um desses fatores provoca a mudança dos outros. Dentre eles podemos citar a largura e a profundidade do canal, a rugosidade do leito do rio, a declividade e a cobertura vegetal das margens, mas os mais importantes são a **descarga**, a velocidade de fluxo, o **gradiente**, a **carga** de sedimentos e o **nível de base**.

Os rios ou cursos d'água deslocam grandes volumes de água na superfície terrestre. Mas esse volume de água é variável e é o resultado da interação entre o clima e a fisiografia. Em regiões de grande altitude (regiões montanhosas), os cursos d'água nascem

do degelo das geleiras (regime glacial) ou do derretimento da neve (regime nival). É o caso de muitos rios do Canadá, Sibéria e norte da Europa. É um número significativo de rios na Cadeia de Montanhas dos Andes, na América Latina. Outros cursos d'água podem ser oriundos do escoamento superficial (excesso de precipitação) e/ou alimentados por nascentes ou água subterrânea, o que caracteriza um regime pluvial.

A descarga de um rio é a quantidade de água que passa em um determinado ponto durante **um** intervalo de tempo. O rio Amazonas, por exemplo, com 6.400 km de comprimento e mais de 1.000 tributários, tem uma descarga média anual de 180.000 m³/s. O fornecimento de água é variável ao longo do ano: por exemplo, a taxa entre precipitação e evaporação, que depende do clima, varia entre o inverno e o verão, bem como a taxa de escoamento na bacia de drenagem, o que condiciona um comportamento sazonal e, conseqüentemente, variações na descarga dos rios. Em função disso, os rios apresentam épocas de cheias e estiagem.

A ação do homem sobre o equilíbrio de um rio: exemplo do rio Tietê

Nos últimos séculos, as atividades humanas têm aumentado sua influência sobre as bacias hidrográficas e, conseqüentemente, sobre o sistema fluvial, seja através de modificações diretas no canal fluvial para controlar as vazões ou para alterar sua forma (estabilização das margens, controle de enchentes, erosão, deposição, exploração), seja, através de mudanças indiretas que modificam a descarga e a carga sólida do rio como, por exemplo, as atividades ligadas ao uso da terra (remoção da vegetação, práticas agrícolas intensas, urbanização).

O rio Tietê é um bom exemplo para ilustrar este desequilíbrio criado no sistema fluvial pela ação do homem.

A canalização de um rio envolve a modificação direta de sua calha desencadeando impactos consideráveis no seu canal e na sua planície de inundação. A passagem da draga, para aprofundar o canal, provoca o abaixamento do nível de base, o que acaba favorecendo a retomada erosiva de seus afluentes e o conseqüente aumento dos processos erosivo e deposicional (**Figura 16.7**).

A construção de numerosas barragens no rio Tietê, para o aproveitamento do seu potencial hidrelétrico, ocorreu a partir do início do século XX (barragem Edgard de Souza, em Santana do Parnaíba, barragem de Pirapora de Bom Jesus (famosa pelos seus amontoados

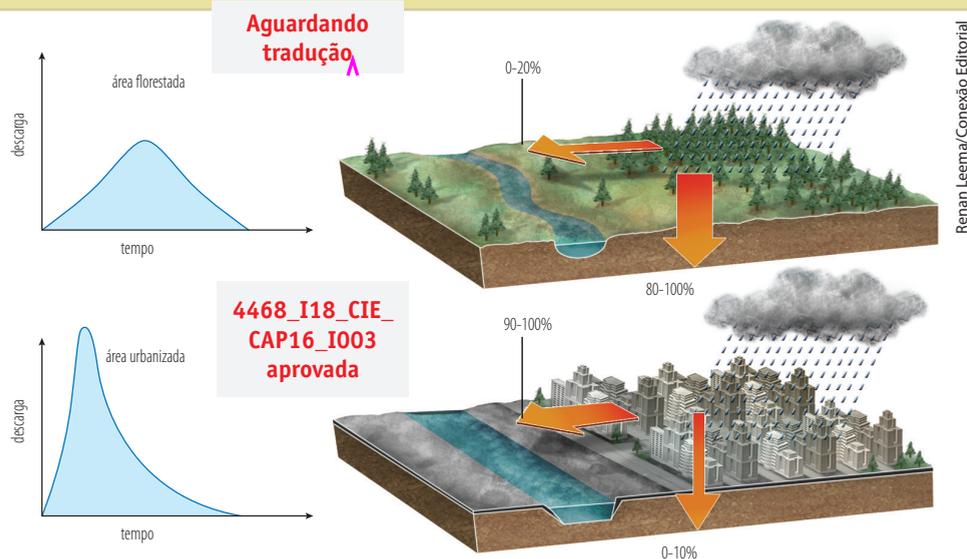
periódicos de espuma ligada ao uso de detergentes), a barragem de Barra Bonita, a barragem Três Irmãos (que permitiu o aproveitamento parcial da água do Tietê na usina de Ilha Solteira, por exemplo). A construção de barragens em vales fluviais acaba rompendo o equilíbrio natural dos rios: a montante da barragem, o nível de base sofre ascensão, alterando a forma do canal e a capacidade de transporte e provocando um aumento na produção de sedimentos para o reservatório que possui, por conseqüência, uma vida útil; no reservatório, a água que antes corria em direção à jusante é represada constituindo um meio propício pela deposição acentuada de sedimentos podendo provocar o **assoreamento** do reservatório.



4468_I18_CIE_CAP16_F007
aprovada

Fundação Wikipedia

▲ **Figura 16.7** – Calha do rio Tietê, São Paulo, SP.



▲ **Figura 16.8** – Modelo esquemático ilustrando o efeito do desmatamento e da impermeabilização da superfície no aumento do escoamento da água.

A urbanização (entre outras mudanças no uso da terra) aumenta a área de impermeabilização, causando um aumento no fluxo de água que escoam em direção ao canal

principal (**Figura 16.8**). A ocupação das margens e várzeas do rio acentua esse fenômeno com as consequências que se conhece durante as enchentes (**Figura 16.9**).



4468_I18_CIE_CAP16_F008
em repesquisa

crédito crédito crédito/crédito

▲ **Figura 16.9** – Enchente do rio Tietê, em São Paulo.

A velocidade da água (expressa em metro por segundo) também não é constante e depende da morfologia e da rugosidade do canal de um rio. Ela é máxima abaixo da superfície na direção central do escoamento e mínima no fundo e nas margens do rio. Quem já atravessou um rio nadando pôde observar esse fenômeno. A velocidade determina

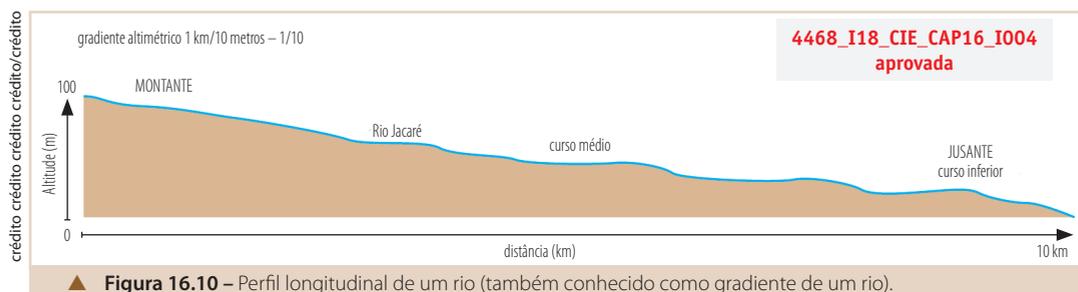
significativamente o tipo de fluxo que pode ser laminar ou turbulento. O fluxo laminar é caracterizado pelo seu movimento calmo, no qual a água se movimenta em lâminas que permanecem paralelas entre si, e gera superfícies planas de água. No fluxo turbulento, a velocidade da água é mais rápida e os filetes de água se misturam, formam turbilhões e não são mais

paralelos entre si ou paralelos ao fundo. É também provocado pela presença de obstáculos, que desviam as lâminas de água. Assim, a velocidade da água que determina um regime de fluxo específico durante seu escoamento tem consequências importantes sobre sua capacidade de erosão e de transporte. No entanto, a velocidade da água depende do volume de água, ou seja, quanto maior o volume mais rápido será o fluxo, o qual também é proporcional ao seu gradiente. Quanto maior for a declividade (ângulo) entre a nascente e a foz maior será sua velocidade.

O gradiente de um rio é a relação entre seu comprimento e sua altitude, em uma relação de distância e altura entre a sua nascente e a sua foz. O gradiente é mais acentuado na região das cabeceiras (nascente) e vai diminuindo em direção à jusante (foz). O perfil longitudinal típico (corte do rio da montante à jusante) é côncavo. É expresso em metros (declividade) por cada

quilômetro percorrido pelo rio. ^Através do perfil longitudinal é possível também classificar cada trecho do rio ao longo do seu canal de escoamento (**Figura 16.10**). A velocidade da água é maior no gradiente acentuado do que no gradiente mais suave. O rio Amazonas apresenta inclinação muito pequena: num trecho de 3.000 quilômetros em território brasileiro, ele inclina-se apenas 15 metros.

O nível de base de um rio é um nível horizontal imaginário abaixo do qual a deposição predomina sobre a erosão e o intemperismo e, acima do qual, a erosão e o intemperismo predominam sobre a deposição. Em outros termos, é o menor nível a partir do qual o rio pode erodir. Para a maioria dos rios, o último nível de base é o nível do mar, pois a energia do rio é quase totalmente reduzida ao entrar no oceano. No caso dos tributários, por exemplo, o nível de base corresponde à sua confluência com um rio maior.



▲ **Figura 16.10** – Perfil longitudinal de um rio (também conhecido como gradiente de um rio).

Processos de erosão fluvial

A erosão fluvial é um dos principais processos de modelagem da paisagem e da superfície terrestre. Este processo atuou, atua e atuará através dos tempos até que o sistema fluvial não exista mais e que a superfície terrestre não seja mais exposta acima do nível do mar.

Um dos exemplos mais evidentes que ilustram a ação erosiva dos rios é a formação de cânions escavados através dos paredões rochosos e rios encachoeirados. Os sistemas fluviais erodem a paisagem e evoluem através de três principais processos: a retirada do regolito, produzido pelo intemperismo de rochas (ver **Capítulo 9**), o aprofundamento do canal fluvial por abrasão e a **erosão remontante** em direção à montante, alargando seu vale fluvial até atingir seu divisor.

Ao se aprofundar em busca de seu perfil de equilíbrio, os rios entalham os vales. Esse processo atua por **abrasão** do substrato pelo material removido e carreado pela água. Ao atravessar rochas

homogêneas e pouco resistentes, os rios apresentam um perfil transversal em V, enquanto que ao atravessar rochas mais maciças e mais duras como o calcário ou o granito, por exemplo, os rios se aprofundam verticalmente formando cânions (**Figura 16.11**).



▲ **Figura 16.11** – Cânion do Buraco – Chapada Diamantina.

Adelano Lázaro/ Fundação Wikipedia

Outro exemplo de erosão é a formação de “piscinas” no pé das cachoeiras, devido à grande pressão exercida pela água em alta velocidade nas rochas do substrato e de “marmitas” por **cavitação** (Figura 16.12).

A erosão é mais intensa na entrada do vale, devido principalmente a sua relação com o declive. A água que circula através de sua rede de drenagem converge em direção ao seu **exutório** (ver Figura 16.1), onde um canal fluvial se inicia e concentra o volume de água. A água adquire mais velocidade e seu poder erosivo aumenta, consumindo e ampliando seu vale em direção à jusante. Finalmente, a erosão progressiva do relevo pelos rios conduz a formação de imensas áreas aplainadas.

4468_I18_CIE_CAP16_F010
aprovada

J. B. Sigolo

▲ Figura 16.12 – Processo de cavitação com formação de marmitas em um rio. Poços de Coudes – MG.

Processos de transporte fluvial

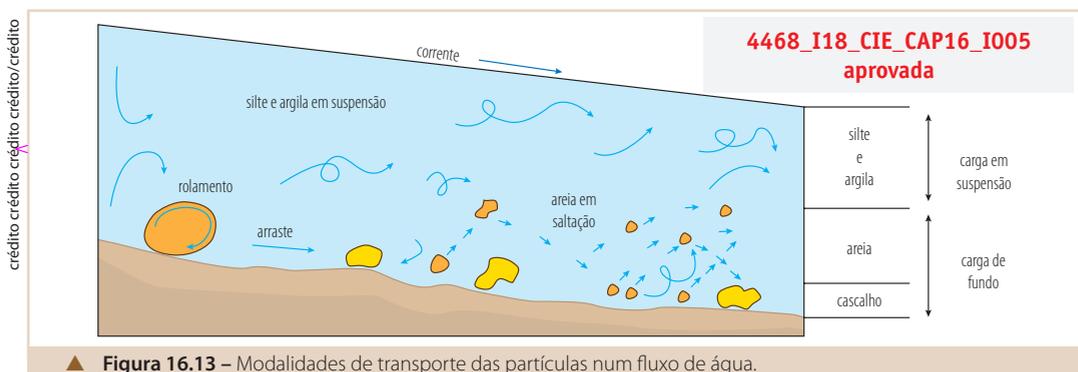
A água tem um papel importante na transformação da paisagem carreando e transportando também grandes quantidades de sedimentos. Esse material disponibilizado após ter sido arrancado da superfície pela erosão está pronto para ser transportado. A capacidade de um fluido em mobilizar e transportar sedimentos depende principalmente de sua velocidade.

A carga de um rio é constituída por diferentes tipos de materiais: um material grosso que é movimentado no fundo (carga do leito) e um material fino que fica em suspensão na água (carga em suspensão). A carga em suspensão é geralmente a mais significativa; para o rio Amazonas, estima-se que 95% do material particulado seja transportado em suspensão, enquanto que a carga de fundo representaria somente 1 a 2% do transporte de material. Os rios transportam também quantidades consideráveis de elementos em solução, tais como cálcio (Ca^{2+}), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloretos (Cl^-) e muitos outros compostos solúveis em água, oriundos principalmente do intemperismo

de rochas, do escoamento da água e da alimentação provida pelas águas subterrâneas, constituindo, dessa maneira, uma carga em solução.

A capacidade de transporte de um rio é a quantidade máxima de sólidos que a água pode transportar em um determinado ponto por unidade de superfície e por unidade de tempo ($10 \text{ g/m}^2/\text{s}$, por exemplo). A competência de um rio designa o maior tamanho de partículas sólidas que ele pode carrear. Essas propriedades dependem da velocidade e do tipo de fluxo da água.

No rio, os sedimentos podem ser transportados por vários tipos de transporte: rolamento e arraste no fundo, saltação (transporte por pequenos saltos devido ao impacto sucessivo de partículas) e transporte em suspensão. As partículas roladas e arrastadas no fundo constituem a carga do leito, geralmente formada por cascalhos, seixos e areias grossas. A carga em suspensão é principalmente composta por argilas e siltes, o que confere o caráter barrento dos cursos d'água. As partículas intermediárias (areia fina) são transportadas por saltação (alternância entre cargas de suspensão e de fundo), (Figura 16.13).



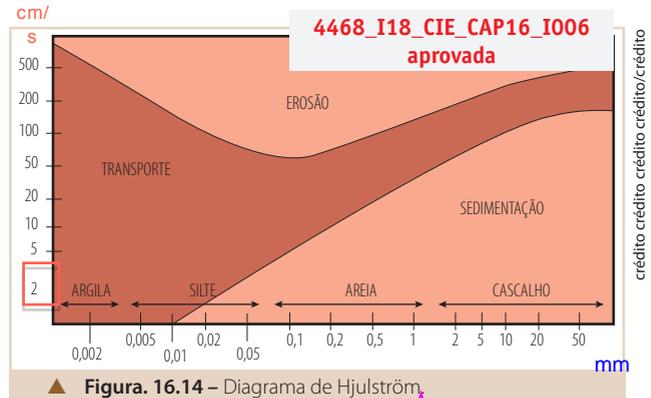
Desse modo, a granulometria das partículas sedimentares influencia o seu transporte e sua velocidade de sedimentação. Essas relações estão sintetizadas no diagrama de Hjulström (Figura 16.14). Este gráfico mostra a velocidade mínima necessária para a água mobilizar, transportar e depositar grãos de granulometria variável. A parte superior do gráfico (erosão) mostra que, para as partículas médias e grossas (areias finas a cascalhos), a velocidade da água necessária para movimentar os grãos aumenta com sua granulometria. Mas, para as partículas finas, (0,1 mm) a curva mostra um aumento da velocidade e uma diminuição da granulometria. Este comportamento pode parecer paradoxal, mas ele é a consequência da intensa coesão que existe entre as partículas finas. Assim, um grão de areia de 0,1 mm é erodido e transportado pela água com uma velocidade superior a 20 cm/s, é transportado ainda se a velocidade é

5

mantida acima de 2 cm/s, mas se deposita se a velocidade for inferior. A uma velocidade de 100 cm/s, a água transporta em suspensão as partículas de tamanho inferior a 0,005 mm, erode e transporta as partículas de tamanho entre 0,005 e 10 mm e deposita as partículas de tamanho superior a 10 mm.

A distribuição dos sedimentos no sistema fluvial depende da distribuição da velocidade da água. Os sedimentos mais grossos são concentrados onde a velocidade é mais alta enquanto que os mais finos são distribuídos nas zonas de velocidade decrescente. Mas a granulometria dos sedimentos

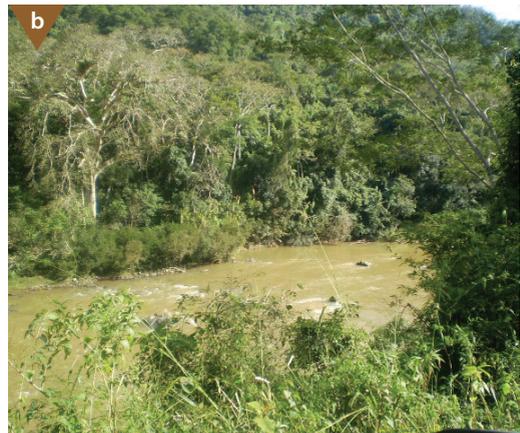
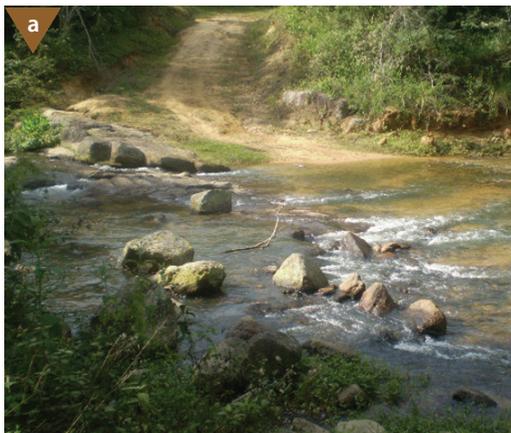
diminui em direção à jusante, pois o sedimento mais fino é transportado com maior facilidade e para mais longe que o material mais grosso. Além disso, com o tempo, as partículas mais grossas são progressivamente erodidas, reduzindo seu tamanho por abrasão e impactos e aumentando a carga de sedimentos mais finos.



▲ Figura. 16.14 – Diagrama de Hjulström

A composição das águas varia também ao longo do sistema fluvial. Os rios geralmente atravessam vários tipos de terrenos, e a carga do fundo vai mudando devido à introdução ao longo do sistema fluvial de sedimentos de composição diferente (Figura 16.15a). Muitas vezes observamos, ainda, diferenças de coloração ou transparência nas águas de um rio. Isto ocorre porque a produção de sedimentos também varia com o tempo e ao longo do sistema, o que implica que os processos erosivos e de transporte ocorrem em diferentes taxas (Figura 16.15b).

J. B. Sigolo



J. B. Sigolo

▲ Figuras 16.15 – Diferença de coloração em rios devido ao seu tipo de carga. a) carga em solução; b) carga em suspensão.

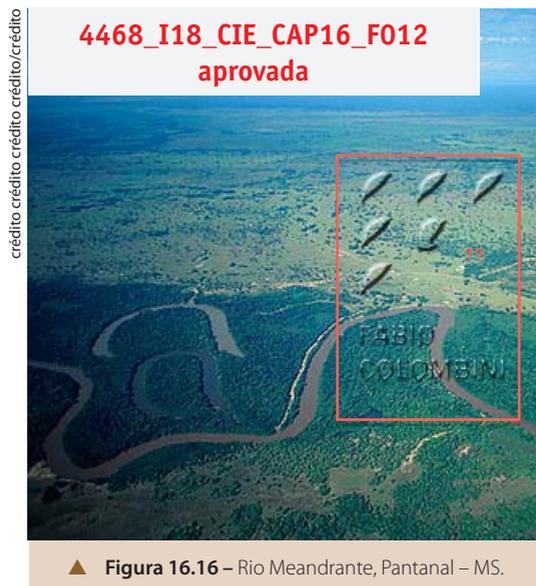
4468_I18_CIE_CAP16_F011a,b aprovada



Processos de deposição fluvial

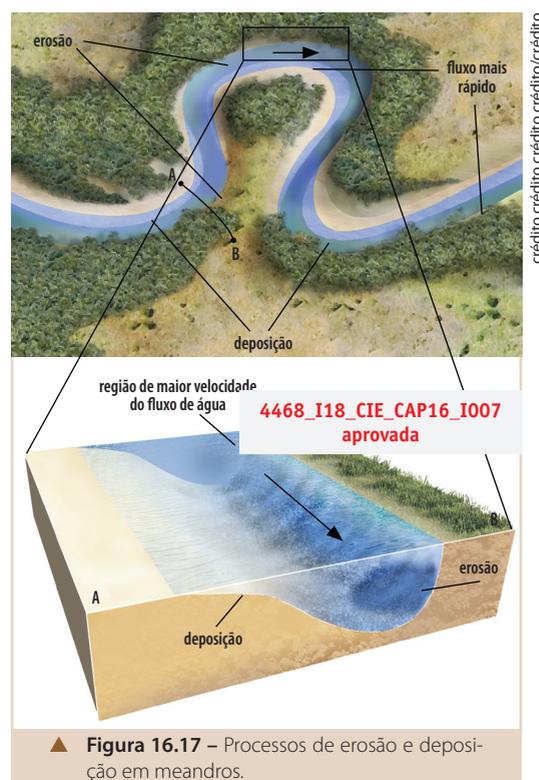
A acumulação do material erodido e transportado corresponde aos processos de deposição ou sedimentação. Esses processos geralmente ocorrem de maneira mais significativa no baixo curso de um rio, onde a declividade é menos acentuada. Desse modo, quando o rio começa a perder energia devido a uma mudança do seu gradiente, por exemplo, seu poder de transporte diminui e o rio começa a depositar uma parte de sua carga em **vales aluviais**, na **planície de inundação**, em ilhas e bancos de areias no canal do rio e nos **deltas** ao entrar no oceano. Porém, a acumulação de sedimentos não é sempre aparente, pois ocorre também no leito fluvial ou no fundo de lagos.

As planícies de inundação (ou várzeas) representam a forma mais comum da deposição fluvial. Ela é formada durante as enchentes quando a água transborda do canal principal e invade as áreas vizinhas. Nela são depositados **aluviões** e outros materiais carregados pelo rio. No limite entre a planície de inundação e o canal fluvial, existem saliências alongadas, formadas por sedimentos e chamadas **diques marginais**. Os rios que ocupam as planícies de inundação são caracterizados por um **canal meandrante** com curvas sinuosas (Figura 16.16) ou um **canal entrelaçado** (ou **anastomosado**), onde vários canais se cruzam, devido a variações na carga de sedimentos e às flutuações do volume de água.



▲ Figura 16.16 – Rio Meandrante, Pantanal – MS.

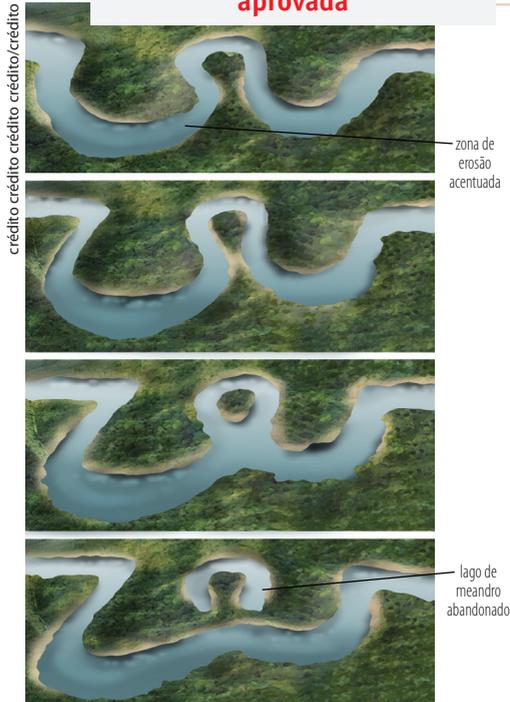
Os meandros que nascem em meio aos depósitos aluviais correspondem a uma configuração do curso d'água buscando otimizar o escoamento da água. A erosão das margens côncavas e o depósito nas margens convexas (formando **barreiras de deposição**) acabam deslocando lateralmente o leito do rio, movendo o curso do rio (Figura 16.17). À medida que o processo evolui, a curva do meandro é cada vez mais erodida até chegar na fase em que o rio corta e deixa abandonado o meandro inicial, formando um tipo de lago em forma de meia-lua (Figura 16.18).



▲ Figura 16.17 – Processos de erosão e deposição em meandros.

Todo rio apresenta variações na profundidade do seu leito ou na velocidade do escoamento da sua água, até as partes mais retilíneas do curso d'água apresentam um fundo acidentado com concavidades e saliências. Pouco visíveis durante as épocas de cheias (Figura 16.19a), estes pequenos relevos são expostos em períodos de estiagem quando a superfície das zonas pouco profundas ondula sob o sol, criando verdadeiros bancos de areia (Figura 16.19b).

4468_I18_CIE_CAP16_I008
aprovada



crédito crédito crédito/crédito

4468_I18_CIE_CAP16_F013
aprovadas



Oliver Kurmis/Wikimedia Commons

▲ **Figura 16.18** – Esquema de evolução de um rio meandrante e formação de meandros abandonados.

J.B. Sigolo

a
4468_I18_CIE_CAP16_F014a,b
aprovadas



J.B. Sigolo

▲ **Figura 16.19** – (a) Rio Abobral em época de cheia. (b) Bancos de areia no mesmo rio em época de estiagem.

Ao desaguar em um oceano ou no mar, ou seja, onde o rio atinge seu nível de base, a água do rio que não é mais confinada no seu canal perde velocidade e tende a se espalhar. A acumulação do material carregado pelo rio nessas regiões costeiras pode conduzir à formação de um delta. Sua formação é o resultado da interação entre os processos fluviais e os processos marinhos e é condicionada a pouca dispersão dos sedimentos pelas ondas e as marés. Portanto, não é sempre que um delta se forma quando um rio entra no oceano. Em mares interiores ou lagos, também pode haver formação de deltas.

Existem diversos tipos de sistemas deltaicos, pois dependem dos processos dominantes no local. Assim, podem encontrar-se sob o domínio fluvial ou sob o domínio das ondas ou das marés (**Figura 16.20**). A evolução de um sistema deltaico é o deslocamento do curso d'água em distributários sucessivos, progredindo aos poucos em direção ao mar. À medida que o sistema evolui, ocorre uma distribuição das partículas depositadas em função de seu tamanho; assim, as partículas mais grossas se acumulam mais perto da desembocadura do rio do que as partículas mais finas que



são levadas e depositadas mais longe. No Brasil, somente o rio Parnaíba forma um delta ao chegar no oceano (Figura 16.20).

Em regiões áridas, os sedimentos carregados pelos rios são depositados na base das áreas de altitude mais elevada, como no pé das montanhas, por exemplo. A deposição decorre da perda brusca de velocidade da água declive abaixo.

O canal do rio é rapidamente obstruído pela carga elevada de sedimentos, e a água tende a se espalhar em busca de novos caminhos para escoar. Este processo promove a construção de leques aluviais (Figura 16.21), que diferem dos deltas pelo fato de não progredirem no oceano e apresentarem sedimentos mais grosseiros e pouco intemperizados (Figura 16.22).

google.com.br/maps

4468_I18_CIE_CAP16_F015
aprovada



▲ **Figura. 16.20** – Quando encontra o Atlântico, o Parnaíba desdobra-se num universo de ramais aquáticos (acima): cinco barras, 73 ilhas, milhares de igarapés, manguezais, dunas, praias. Visto do alto, esta formação lembra um triângulo invertido. É o único do Brasil.

crédito crédito crédito/crédito

DELTA

acumulação de sedimentos na desembocadura do rio em um lago ou no oceano

4468_I18_CIE_CAP16_I009
aprovada



NASA/earthobservatory.nasa.gov

Wikimedia Commons



Jacques Desclotres/Wikimedia Commons

▲ **Figura. 16.21** – Deltas do Mississippi, Nilo e Ganges.

4468_I18_CIE_CAP16_F016
aprovadas

4468_I18_CIE_CAP16_F017
 PROCURAR IMAGEM NA CORDILHEIRA DOS ANDES PARA A BORDA DO PACÍFICO.
 LÁ TEM DIVERSOS EXEMPLOS. PROXIMO A SANTIAGO NO CHILE HÁ UM DELES NA
 REGIÃO DE "CAJON DEL MAIPU"

▲ **Figura 16.22** – Leques aluviais entre as montanhas de Kunlun e Altun nas bordas do deserto de Taklimakan na China. Os canais ativos do rio aparecem em azul ao chegar ao pé da montanha, no canto superior direito da imagem de satélite, formando canais entrelaçados que desaparecem no deserto. Os canais antigos e secos aparecem em cinza na parte inferior da imagem.

Registros característicos de um rio

Foi demonstrado que um rio deposita no seu canal (ou canais) quantidades de seixos, cascalhos e areias na forma de barreiras. Durante as cheias ou enchentes, o rio invade sua planície de inundação e deposita materiais mais finos (siltes, argilas). O sedimento depositado apresenta ainda características que permitam associá-lo com os processos fluviais: os grãos são arredondados, classificados e estratificados.

Existe, portanto uma seleção horizontal e vertical (**Figuras 16.23 e 16.24**) das partículas depositadas pelo rio que se observa nos diferentes registros geológicos deixados pelo rio (**Figura 16.25**).

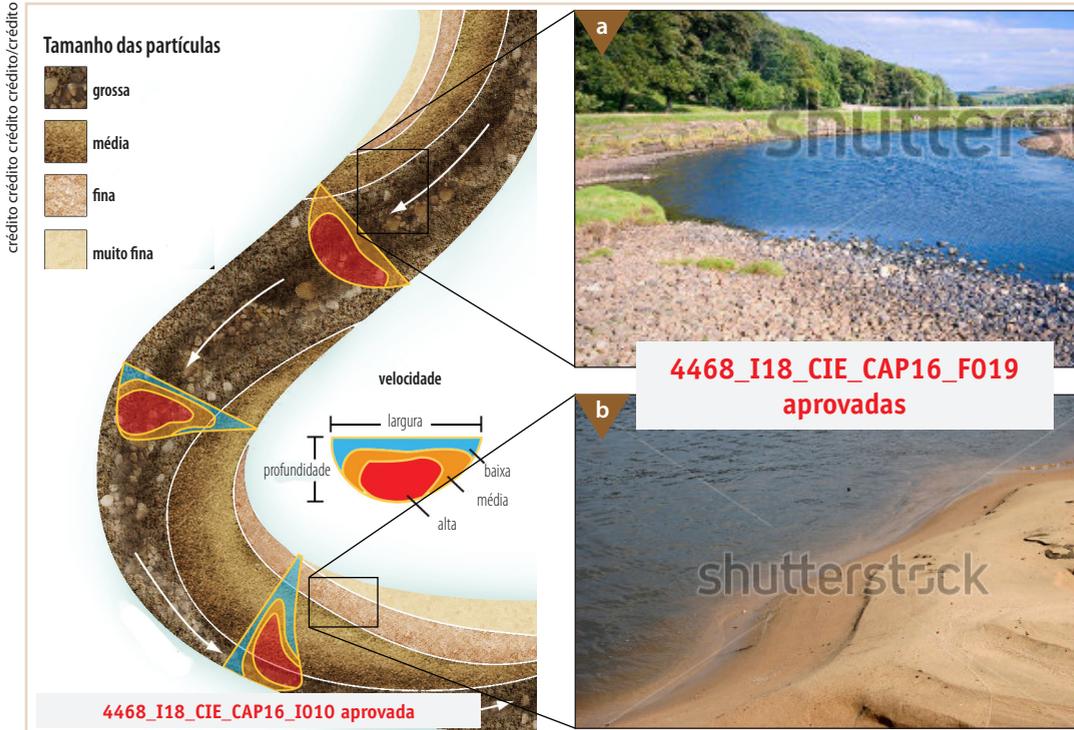
Os **terraços fluviais** são antigas planícies de inundação que foram abandonadas. Eles se apresentam como áreas aplainadas, limitados por uma escarpa em direção ao curso d'água. Ou seja, são





localizados a uma altitude mais elevada em relação ao rio, e representam os vestígios de um antigo leito no qual o rio se aprofundou (Figura 16.26 a e b). Terraços podem ser construídos por aluviões (terraços aluviais) (Figura 16.27) ou ser o produto do jogo

da erosão de um leito rochoso (terraço rochoso) ou de um antigo terraço. A gênese desses terraços pode ser atribuída a diversos processos, tais como a variação do nível do mar, movimentos tectônicos e mudanças climáticas.



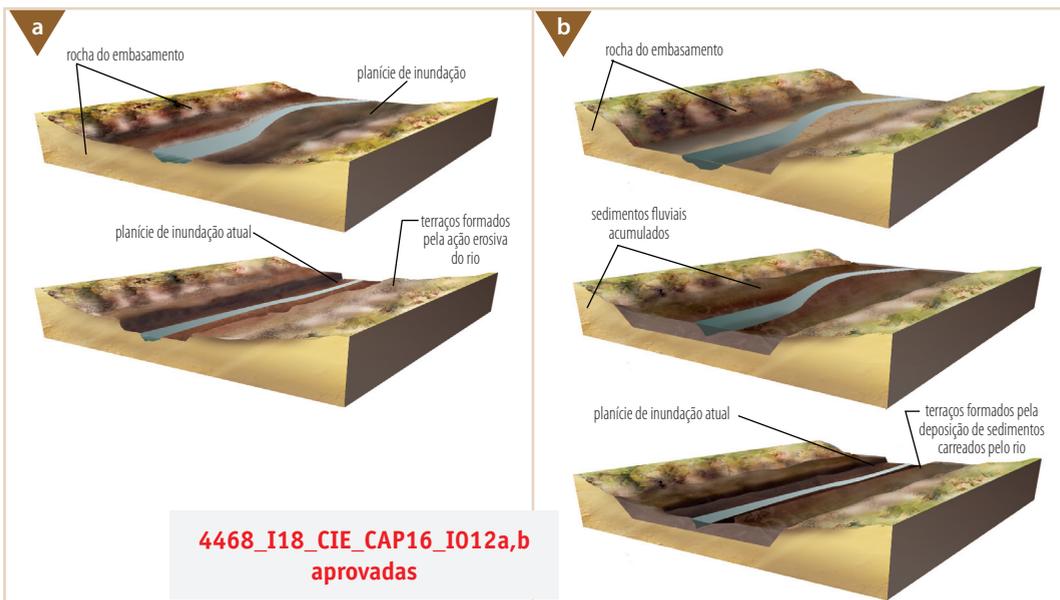
▲ **Figura 16.24** – Classificação granulométrica das partículas pelo escoamento de água de um rio. Em (a) imagem exemplo de sedimentos grosseiros. Em (b), imagens de sedimentos finos.

J.B. Sigolo

4468_I18_CIE_CAP16_F020 aprovadas



▲ **Figura 16.25** – Registro de um depósito fluvial. Cascalhos arredondados do Rio Ribeira de Iguape. A base avermelhada é o antigo leito do rio constituído por antigas rochas completamente alteradas pelo intemperismo (ver **Capítulo 9**).



▲ **Figura 16.26** – Formação de terraços fluviais. (a) Terraços abandonados formados quando o rio ocupava uma posição mais elevada em relação à sua posição atual. (b) Terraços formados pela deposição sucessiva e alternada de sedimentos carreados pelo rio na planície de inundação.

4468_I18_CIE_CAP16_F021 aprovada



▲ **Figura 16.27** – Terraços fluviais no Rio Ribeira de Iguape. Terraço no nível do rio é o mais moderno e o terraço elevado é o mais antigo, observado na porção mediana direita da fotografia.

Síntese

O gradiente de um rio diminui sistematicamente da cabeceira (montante) em direção à desembocadura ou foz (jusante), enquanto que a descarga, a velocidade e as dimensões do canal aumentam. Em

resposta a certa quantidade de escoamento, os sistemas fluviais se desenvolvem com o tamanho e o espaço estritamente necessários para mover a água de cada parte da superfície com a maior eficiência.



Um rio jovem se caracteriza por vales em V. O rio é dito maduro quando as vertentes são menos acentuadas, os vales são mais amplos, apresenta a formação de meandros e uma planície de inundação; ele é senil quando suas águas são calmas no seio de uma planície muito ampla e com a presença de meandros abandonados.

Após um domínio da erosão profunda (curso superior do rio), o rio segue com seu curso médio, com menor declividade e correnteza. O rio erode na zona central do escoamento da água e nas zonas externas mais turbulentas (erosão lateral e profunda), enquanto que onde a água é mais calma, ocorre uma acumulação de materiais devido à diminuição de sua energia. Processos de erosão e acumulação equivalentes caracterizam o curso central do rio. No seu curso inferior, predominam os processos de deposição. Por erosão lateral, o rio cria meandros que podem se entrecortar e formar zonas de águas calmas (braço morto do rio).

Revisão de conceitos

- ▶ Qual é o papel de um rio no ciclo hidrológico?
- ▶ Qual é a organização de um sistema fluvial?
- ▶ Quais são os principais processos geológicos que atuam em um sistema fluvial?
- ▶ Como ocorre o transporte de material em um sistema fluvial?
- ▶ Quais são as principais características dos sedimentos fluviais?
- ▶ Quais são os parâmetros a serem considerados no quadro de controle de enchentes em área urbana?

Leitura recomendada

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial* – Vol. 1. O canal fluvial. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1981.

HAMBLIN, W. K.; CHRISTIANSEN, E. H. *Earth's dynamic systems*. 8th ed. New York: Prentice Hall, 1998.

SKINNER, B.J.; PORTER, S.C. *The dynamic Earth – An introduction to Physical Geology*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, INC, 1995.

PRESS, et al. *Para entender a Terra*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.