

CAPÍTULO 14

A ÁGUA NA NATUREZA E O CICLO HIDROLÓGICO

1. Introdução

A água é o suporte e a componente principal de todos os seres vivos, sem ela não seria possível a existência de vida na Terra. Como sabiamente afirmou Leonardo da Vinci, a água é um dom divino da Natureza. Direta ou indiretamente, a água é indispensável a todas as atividades humanas. A água constituiu e constitui um instrumento de progresso, um fator de desenvolvimento e um agente modelador de civilizações e de culturas. A água está intimamente ligada à história da humanidade (LIMA, 1996).

Aceita-se que a quantidade de água existente na Terra, nas suas três fases possíveis (sólida, líquida e gasosa), se tem mantido constante ao longo dos tempos, pelo menos desde o aparecimento do homem. Tal quantidade de água está em permanente circulação entre os três grandes “reservatórios” pelos quais se encontra distribuída e que são, por ordem decrescente de importância, os oceanos, a atmosfera e os continentes. O ciclo hidrológico traduz e descreve essa circulação da água nos seus três estados ou fases, sendo uma consequência do princípio da conservação da água na Terra.

2. A água na natureza

A água na Terra avalia-se em 1380×10^{15} m³, o que equivale a ocupar o volume de uma esfera de 1380 km de diâmetro. Distribui-se pelos três reservatórios principais já referidos, nas seguintes percentagens aproximadas: -oceanos 96,6 % - continentes 3,4 % - atmosfera 0,013 % (HARTMAN, 1996). A quantidade da água salgada dos oceanos é cerca de 30 vezes a quantidade da água doce dos continentes e da atmosfera. A água dos continentes concentra-se praticamente nas calotas polares, glaciais e no subsolo, distribuindo-se a parcela restante, muito pequena, por lagos e pântanos, rios, zona superficial do solo e biosfera. A água do subsolo representa cerca de metade da água doce dos continentes, mas a sua quase totalidade situa-se a profundidade superior a 800 m. A biosfera contém uma fração muito pequena da água dos continentes: cerca de 1/40.000. A quase totalidade da água doce dos continentes (contida nas calotas polares, glaciais e reservas subterrâneas profundas) apresenta, para além de dificuldades de utilização, o inconveniente de só ser anualmente renovável numa fração muito pequena, tendo-se acumulado ao longo de milhares de anos. Deve se ter presente que, embora a quantidade total de água na Terra seja constante, a sua distribuição por fases tem-se modificado ao longo do tempo. Na época de máxima glaciação, o nível médio dos oceanos situou-se cerca de 140 m abaixo do nível atual.

As quantidades de água de precipitação, evaporação, evapotranspiração e escoamento, relativas a determinadas áreas da superfície do Globo, são

normalmente expressas em volume, mas podem também traduzir-se pelas alturas de água que se obteriam se essas mesmas quantidades se distribuíssem uniformemente pelas áreas respectivas. Assim, os fluxos de água vêm expressos em volume (m³) e em altura (mm). A água perdida pelos oceanos por evaporação excede a que é recebida por precipitação, sendo a diferença compensada pelo escoamento proveniente dos continentes. A precipitação anual sobre os continentes é de 800 mm e reparte-se em escoamento (315 mm) e evapotranspiração (485 mm). A precipitação anual média sobre os oceanos é de 1270 mm, resultando a precipitação anual média sobre o Globo igual a cerca de 1100 mm.

2.1 A água no mundo atual

A água está presente em múltiplas atividades do homem e, como tal, é utilizada para finalidades muito diversificadas, em que assumem maior importância o abastecimento doméstico e público, os usos agrícola e industrial e a produção de energia elétrica. Até um passado recente, as necessidades de água cresceram gradualmente acompanhando o lento aumento populacional. A era industrial trouxe a elevação do nível de vida e o rápido crescimento da população mundial: 1000 milhões em 1800, 2 000 milhões em 1930, 4 400 milhões em 1980, 6 200 milhões em 2000 (previsão). A expansão urbanística, a industrialização, a agricultura e a pecuária intensivas e ainda a produção de energia elétrica - que estão estreitamente associadas à elevação do nível de vida e ao crescimento populacional - passaram a exigir crescentes quantidades de água. Assim, a satisfação das necessidades de água põe na atualidade sérios problemas às comunidades. Para além das grandes quantidades exigidas, algumas das utilizações prejudicam fortemente a qualidade da água que, se restituída aos meios naturais sem tratamento prévio, para além de não poder ser utilizada, é nociva ao próprio ambiente.

Dificuldades crescentes na satisfação das necessidades de água, em consequência das elevadas quantidades exigidas e também da alteração da qualidade de água resultante dos seus usos, começaram a ser sentidas com inquietação nos países industrializados na década de cinquenta.

Com a finalidade de diminuir os volumes de água captada, têm sido adotadas novas tecnologias industriais requerendo menores quantidades da água ou menos poluidoras e tem-se procedido à reutilização e reciclagem da água. Também na rega se têm desenvolvido técnicas que requerem menores quantidades de água.

Para além dos problemas de satisfação das necessidades de água, põem-se problemas do domínio do excesso de água, que pode causar, como já se referiu, níveis freáticos prejudicialmente elevados, submersão, erosão dos solos e efeitos da corrente nos leitos de cursos de água e zonas marginais.

As crescentes necessidades de água, a limitação dos recursos hídricos, os conflitos entre alguns usos e os prejuízos causados pelo excesso de água exigem que tanto o planeamento como a gestão da utilização e do domínio da água se façam em termos racionais e otimizados devendo integrar-se na política de

desenvolvimento econômico-social dos territórios. Assim, governos e instituições internacionais têm-se preocupado desde um passado relativamente recente com os aspectos científicos e educacionais do planejamento e da gestão dos recursos hídricos e com as estruturas institucionais para a respectiva implementação, a nível nacional, regional e autárquico.

2.2 Distribuição da água na natureza

Observa-se no Quadro 1 e Figura 1 que, de toda a água existente no planeta Terra, somente 2,7% é água doce. Pode-se também verificar que de toda a água doce disponível para uso da humanidade, cerca de 98% está na forma de água subterrânea (HARTMAN, 1996).

Quadro 1. Distribuição da água na Terra (HARTMAN, 1996).

Tipo	Ocorrência	Volumes (km ³)	Porcentagem
Água doce superficial	Rios	1.250	0,00009
	Lagos	125.000	0,00919
Água doce subterrânea	Umidade do solo	67.000	0,00493
	Até 800 metros	4.164.000	0,30618
	Abaixo de 800 metros	4.164.000	0,30618
Água doce sólida (gelo)	Geleiras e Glaciais	29.200.000	2,14706
Água salgada	Oceanos	1.320.000.000	97,05882
	Lagos e mares salinos	105.000	0,00772
Vapor de água	Atmosfera	12.900	0,00095
Total		1.360.000.000	100,00

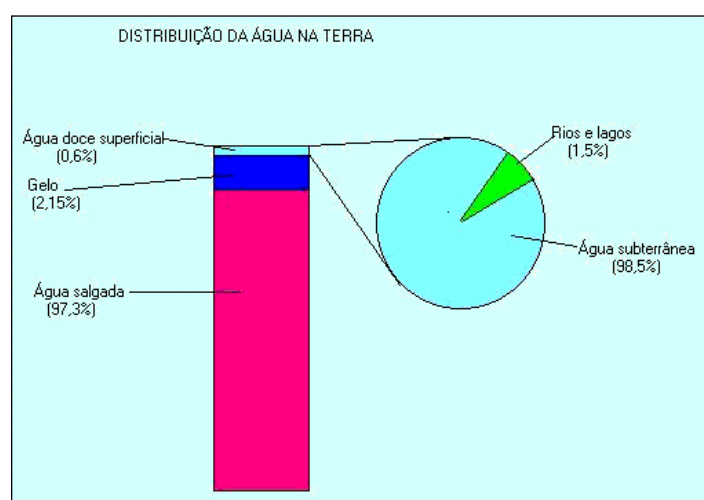


Figura 1. Distribuição da água na Terra.

Da água que se precipita sobre as áreas continentais, calcula-se que a maior parte (60 a 70%) se infiltra. Vê-se, portanto, que a parcela que escoar diretamente para os riachos e rios é pequena (30 a 40%). É esta água que se infiltra, que mantém os rios fluindo o ano todo, mesmo quando fica muito tempo sem chover. Quando diminui a infiltração, necessariamente aumenta o escoamento superficial das águas das chuvas.

A infiltração é importante, portanto, para regularizar a vazão dos rios, distribuindo-a ao longo de todo o ano, evitando, assim, os fluxos repentinos, que provocam inundações.

Não adianta culpar a natureza. Esta relação, entre a quantidade de água que se precipita na forma de chuva, a quantidade que se infiltra, a que tem escoamento superficial imediato, e a que volta para a atmosfera, na forma de vapor, constitui uma verdade da qual não podemos escapar. As cidades são aglomerados, onde grande parte do solo é impermeabilizado, e a consequência lógica disto é o aumento de água que escoar, provocando inundações das áreas baixas. Se estiver correta as previsões de que está havendo um aquecimento global, e de que este levará ao aumento das chuvas, é de se esperar um agravamento do problema de inundações nos países tropicais.

2.2.1 Distribuição da água no Brasil

A distribuição das águas doce de superfície e da população no Brasil é mostrado no Quadro 2. Já o Quadro 3 mostra a distribuição da água conforme as regiões do Brasil.

O Brasil apresenta 8% de toda água doce disponível no mundo. As Figuras 2 e 3 apresentam o consumo e a tendência de consumo de água por setor para o Brasil.

Quadro 2. Distribuição das águas doce de superfície e da população no Brasil.

Região	Porcentagem das águas doce de superfície	Porcentagem da população
Norte	68,5	6,83
Centro-Oeste	15,7	6,42
Nordeste	3,3	28,94
Sudeste	6,0	42,73
Sul	6,5	15,07
Total	100	100

Quadro 3. Distribuição da água conforme as regiões do Brasil.

Região	Vazão urbana (km ³ /ano)	Vazão Industrial (km ³ /ano)
Norte	0,36	0,50
Centro-Oeste	0,59	0,14
Nordeste	2,06	0,55
Sudeste	5,17	5,56
Sul	1,74	1,45
Total	9,92	8,20

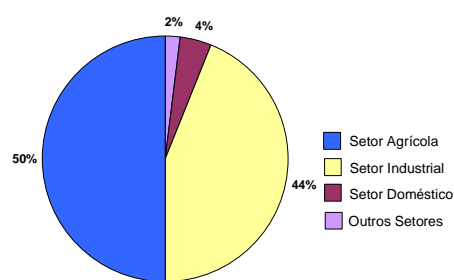
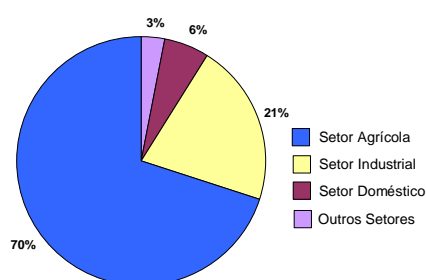


Figura 2. Consumo de água por setor no Brasil.

Figura 3. Tendência de consumo de água por setor no Brasil.

3. O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico de acordo com LIMA (1986) representa o movimento da água no meio físico. Dentro do ciclo hidrológico, a água pode estar no estado gasoso, líquido ou sólido, distribuindo-se tanto na subsuperfície e superfície da Terra como na atmosfera. Portanto, a água está em constante circulação, passando de um meio a outro e de um estado físico a outro, sempre mantendo o equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no sistema (Figura 4).

Os processos que permitem esta circulação da água são: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo.

A transferência de água da superfície do Globo para a atmosfera, sob a forma de vapor, dá-se por evaporação direta, por transpiração das plantas e dos animais e por sublimação (passagem direta da água da fase sólida para a de vapor).

A quantidade da água mobilizada pela sublimação no ciclo hidrológico é insignificante perante a que é envolvida na evaporação e na transpiração, cujo processo conjunto se designa por evapotranspiração.

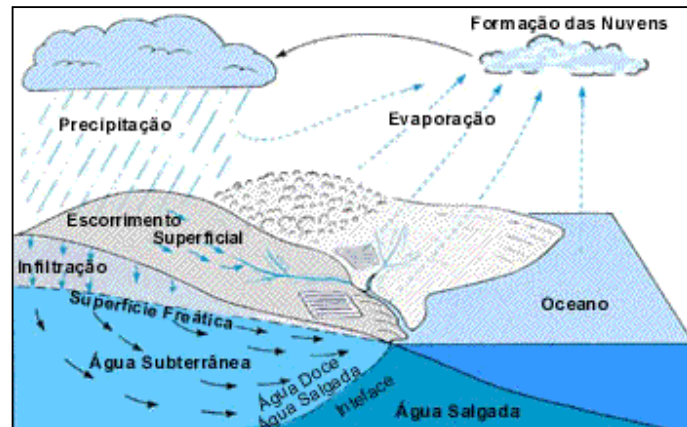


Figura 4. Representação esquemática do ciclo hidrológico.

O vapor de água é transportado pela circulação atmosférica e condensa-se após percursos muito variáveis, que podem ultrapassar 1000 km. A água condensada dá lugar à formação de nevoeiros e nuvens e a precipitação a partir de ambos.

A precipitação pode ocorrer na fase líquida (chuva ou chuveiro) ou na fase sólida (neve, granizo ou saraiva). A água precipitada na fase sólida apresenta-se com estrutura cristalina no caso da neve e com estrutura granular, regular em camadas, no caso do granizo, e irregular, por vezes em agregados de nódulos, que podem atingir a dimensão de uma bola de tênis, no caso da saraiva.

A precipitação inclui também a água que passa da atmosfera para o globo terrestre por condensação do vapor de água (orvalho) ou por congelação daquele vapor (geada) e por intercepção das gotas de água dos nevoeiros (nuvens que tocam no solo ou no mar).

A água que precipita nos continentes pode tomar vários destinos. Uma parte é devolvida diretamente à atmosfera por evaporação; a outra origina escoamento à superfície do terreno, escoamento superficial, que se concentra em sulcos, cuja reunião dá lugar aos cursos de água. A parte restante infiltra-se, isto é, penetra no interior do solo, subdividindo-se numa parcela que se acumula na sua parte superior e pode voltar à atmosfera por evapotranspiração e noutra que caminha em profundidade até atingir os lençóis aquíferos (ou simplesmente aquíferos) e vai constituir o escoamento subterrâneo.

Tanto o escoamento superficial como o escoamento subterrâneo vão alimentar os cursos de água que desaguam nos lagos e nos oceanos, ou vão alimentar diretamente estes últimos.

O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois dela. Por seu turno, o escoamento subterrâneo, em especial quando se dá através de meios porosos, ocorre com grande lentidão e continua a alimentar os cursos de água longo tempo após ter terminado a precipitação que o originou.

Assim, os cursos de água alimentados por aquíferos apresentam regimes de caudal mais regulares.

Os processos do ciclo hidrológico decorrem, como se descreveu, na atmosfera e no globo terrestre, pelo que se pode admitir dividido o ciclo da água em dois ramos: aéreo e terrestre.

A água que precipita nos continentes vai, assim, repartir-se em três parcelas: uma que é reenviada para a atmosfera por evapotranspiração e duas que produzem escoamento superficial e subterrâneo.

Esta repartição é condicionada por fatores vários, uns de ordem climática e outros respeitantes às características físicas do local onde incide a precipitação: pendente, tipo de solo, seu uso e estado, e subsolo.

Assim, a precipitação, ao incidir numa zona impermeável, origina escoamento superficial e evaporação direta da água que se acumula e fica disponível à superfície. Incidindo num solo permeável, pouco espesso, assente numa formação geológica impermeável, produz escoamento superficial (e, eventualmente, uma forma de escoamento intermédia - escoamento subsuperficial), evaporação da água disponível à superfície e ainda evapotranspiração da água que foi retida pela camada do solo de onde pode passar à atmosfera. Em ambos os casos não há escoamento subterrâneo; este ocorre no caso de a formação geológica subjacente ao solo ser permeável e espessa.

A energia solar é a fonte da energia térmica necessária para a passagem da água das fases líquida e sólida para a fase do vapor; é também a origem das circulações atmosféricas que transportam vapor de água e deslocam as nuvens.

A atração gravítica dá lugar à precipitação e ao escoamento. O ciclo hidrológico é uma realidade essencial do ambiente. É também um agente modelador da crosta terrestre devido à erosão e ao transporte e deposição de sedimentos por via hidráulica. Condiciona a cobertura vegetal e, de modo mais genérico, a vida na Terra.

O ciclo hidrológico à escala planetária pode ser encarado como um sistema de destilação gigantesco, estendido a todo o Globo. O aquecimento das regiões tropicais devido à radiação solar provoca a evaporação contínua da água dos oceanos, que é transportada sob a forma de vapor pela circulação geral da atmosfera, para outras regiões. Durante a transferência, parte do vapor de água condensa-se devido ao arrefecimento e forma nuvens que originam a precipitação. O retorno às regiões de origem resulta da ação combinada do escoamento proveniente dos rios e das correntes marítimas.

A quantidade de água e a velocidade a que esta circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos factores como, por exemplo, o coberto vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.

4. Bacias hidrográficas

O conceito de bacia hidrográfica está associado a uma compartimentação geográfica delimitada por divisores de água (Figura 5 e 6). Em outros termos,

pode ser compreendida como uma área de captação natural, que drena para um curso d'água principal, incluindo a área entre o divisor topográfico e a saída (foz) da bacia (LIMA, 1976).

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como o conjunto das áreas com declividade no sentido de determinada seção transversal de um curso de água, medidas as áreas em projeção horizontal. Pode-se também definir bacia hidrográfica como sendo uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto (GARCEZ & ALVAREZ, 1988 e VIESSMAN et al., 1972).

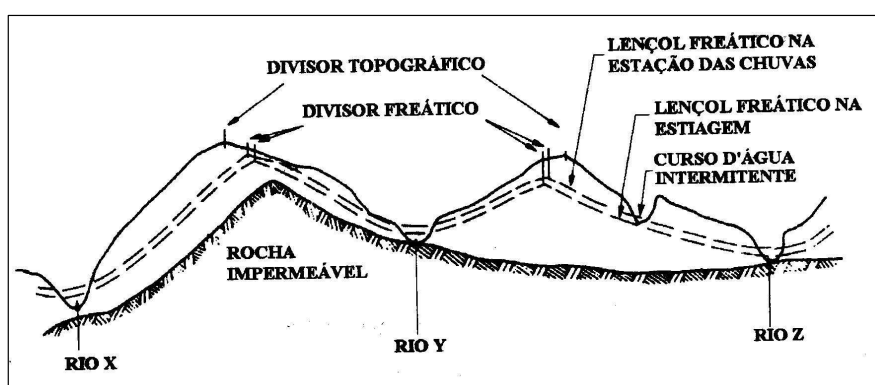


Figura 5. Esquema de uma bacia hidrográfica com o seu divisor topográfico e freático.

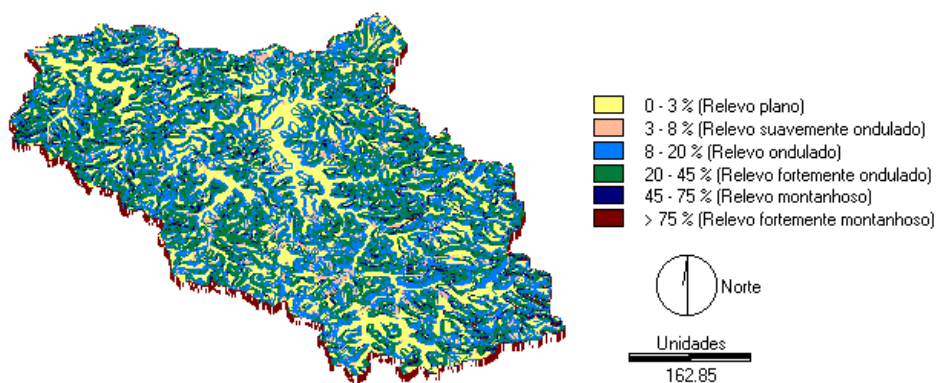


Figura 6. Perspectiva ortográfica da bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, MG (SANTOS, 2001).

As características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais

nos quais faltem dados (VILLELA & MATTOS, 1975). As principais características físicas de uma bacia hidrográfica são :

- área de drenagem (A);
- perímetro (P);
- comprimento do curso d'água principal (L);
- coeficiente de compacidade (Kc);
- fator de forma (Kf);
- ordem dos cursos de água;
- declividade média da bacia (Dm);
- curva hipsométrica;
- elevação média da bacia (E);
- declividade entre a foz e nascente (S1);
- declividade de equivalência entre áreas (S2);
- declividade equivalente constante (S3);
- retângulo equivalente.

Pelo caráter integrador, GERRA & CUNHA (1996) citam que as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nesta ótica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza. Ainda, de acordo com esses autores, em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica também tem sido utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água e garantindo sua qualidade e quantidade.

O termo “manejo de bacias hidrográficas” refere-se à regularização, controle e manejo dos recursos naturais de uma bacia, com a finalidade de proteção e aumento de produção das fontes de água. Este manejo visa à interação do uso do solo, vegetação, água e outros recursos presentes (LIMA, 1986 e BORMANN et al., 1994).

Várias causas deram origem, no início do século XX, ao conceito de manejo de bacias hidrográficas (LIMA, 1976), destacando-se:

- conhecimento cada vez melhor do ciclo da água;
- aumento da demanda de água em consequência do rápido desenvolvimento tecnológico;
- aumento crescente da população e da demanda dos recursos naturais;
- novos e complexos problemas de água, tais como poluição e ocupação antrópica das planícies de inundação;
- reconhecimento da bacia hidrográfica como a melhor unidade natural para o manejo de recursos.

5. Referências bibliográficas

BORMANN, B.T.; BROOKES, M.H.; FORD, E.D.; et al. **A framework for sustainable-ecosystem management**. Portland: Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station, 1994. 61 p. (General thechnical report-PNW – GTR – 331).

- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP. 1988.
- GERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 337-339. 1996.
- HARTMAN, D, M. **Global Physical Climatology**. New York. Department of Atmosphere Sciences, University Washington. 408 p., 1994.
- LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/USP. 143p. 1976.
- LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba; ESALQ/USP, 1986, 242p.
- SANTOS, A. R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, Viçosa, MG**. Viçosa: UFV, 130 p, 2001.
- VISSMAN Jr. W.; HARBAUGH, T. E. & KNAPP, J. W. **Introduction to hydrology**. Ney York, Intext Educational. 1972.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 245p., 1975.