UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS CURSO DE GRADUAÇÃO TECNOLÓGICA AGRICULTURA FAMILIAR E SUSTENTABILIDADE



# **RECURSOS HÍDRICOS**

4º semestre

















### Presidente da República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

### Ministério da Educação

Ministro do Estado da Educação Fernando Haddad
Secretária da Educação Superior Maria Paula Dallari Bucci
Secretário da Educação a Distância Carlos Eduardo Bielschowsky

### Universidade Federal de Santa Maria

Reitor Clóvis Silva Lima
Vice-Reitor Felipe Martins Muller
ete do Reitor João Manoel Espina R

Chefe de Gabinete do Reitor João Manoel Espina Rossés
Pró-Reitor de Administração André Luis Kieling Ries
Pró-Reitor de Assuntos Estudantis José Francisco Silva Dias
Pró-Reitor de Extensão João Rodolfo Amaral Flores

Pró-Reitor de Graduação Jorge Luiz da Cunha Pró-Reitor de Planejamento Charles Jacques Prade Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa Helio Leães Hey

Pró-Reitor de Recursos Humanos João Pillar Pacheco de Campos

Diretor do CPD Fernando Bordin da Rocha

## Coordenação de Educação a Distância

Coordenadora de EaD Cleuza Maria Maximino Carvalho Alonso
Vice-Coordenadora de EaD Roseclea Duarte Medina
Coordenador de Pólos Roberto Cassol
Gestão Financeira José Orion Martins Ribeiro

### Centro de Ciências Rurais

Diretor do Centro de Ciências Rurais Dalvan José Reinert
Coordenador do Curso de Graduação Tecnológica em Agricultura Familiar e Sustentabilidade a Distância

### Elaboração do Conteúdo

Professor pesquisador/conteudista Márcia Xavier Peiter Professor pesquisador/conteudista Adroaldo Dias Robaina

Equipe Multidisciplinar de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias da Informação e Comunicação Aplicadas à Educação - ETIC

Coordenador da Equipe Multidisciplinar

Carlos Gustavo Matins Hoelzel Cleuza Maria Maximino Carvalho Alonso Rosiclei Aparecida Cavichioli Laudermann

Silvia Helena Lovato do Nascimento

Volnei Antônio Matté Ronaldo Glufke

André Krusser Dalmazzo Edgardo Gustavo Fernández

Desenvolvimento da Plataforma Marcos Vinícius Bittencourt de Souza

Gestão Administrativa Ligia Motta Reis

Gestão do Design Diana Cervo Cassol

Designer Evandro Bertol

ETIC - Bolsistas e Colaboradores

Orientação Pedagógica Elias Bortolotto

Fabrício Viero de Araujo Gilse A. Morgental Falkembach

Leila Maria Araújo Santos

Revisão de Português Andrea Ad Reginatto

Maísa Augusta Borin

Marta Azzolin Rejane Arce Vargas

Samariene Pilon

Silvia Helena Lovato do Nascimento

Ilustração Cauã Ferreira da Silva

Evandro Bertol

Júlia Rodrigues Fabrício Mariana Rotilli dos Santos Natália de Souza Brondani

Diagramação Criscia Raddatz Bolzan

Gabriel Barbieri

Leonardo Moreira Fabrin Luiza Kessler Gama

Naieni Ferraz

Victor Schmitt Raymundo

Suporte Técnico Adílson Heck

Ândrei Componogara

Bruno Augusti Mozzaquatro

## SUMÁRIO

capítulo 1	
A ÁGUA E O MEIO AMBIENTE	6
Objetivos deste capítulo	6
1.1 Introdução	
1.2 Reservas hídricas dos mananciais superficiais	
1.3 Reservas hídricas dos mananciais subterrâneos	
1.4 Distribuição das águas	
Referências bibliográficas	17
capítulo 2	
BACIA HIDROGRÁFICA	18
Objetivos deste capítulo	
2.1 Bacia hidrográfica: noções básicas	
2.2 Bacia hidrográfica: organização	
2.3 Bacia hidrográfica: caracterização	
Referências bibliográficas	38
capítulo 3	
CICLO HIDROLÓGICO	39
Objetivos deste capítulo	
3.1 Ciclo hidrológico – conceito	
3.2 Ciclo hidrológico – processos integrantes	
3.3 Ciclo hidrológico – descrição	
3.4 Ciclo hidrológico – quantificação	
Referências bibliográficas	42
capítulo 4	
PRECIPITAÇÃO	43
Objetivos deste capítulo	
4.1 Precipitação – conceito	
4.2 Chuva – processo de formação	
4.3 Chuva – forma de medida	
4.4 Importância da precipitação pluvial na produção agrícola Referências bibliográficas	
capítulo 5	
DISPONIBILIDADE HÍDRICA E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	47
Objetivos deste capítulo	
5.1 Reservação de água no solo	
5.2 Características físicas do solo	
5.3 Conteúdo de água no solo	
5.4 Infiltração	
Referências bibliográficas	
capítulo 6	
ESCOAMENTO SUPERFICIAL	57
Objetivos deste capítulo	
6.1 Introdução	57
6.2 Aplicações e importância	60
6.3 Rede de drenagem superficial	
6.4 Componentes do escoamento dos cursos d'água	
Referências bibliográficas	63

capítulo 7	
EVAPOTRANSPIRAÇÃO	64
Objetivos deste capítulo	64
7.1 Introdução	64
7.2 Evapotranspiração máxima e real	65
7.3 Estimativa da evapotranspiração	66
7.4 Medida da evaporação da superfície das águas	67
Referências bibliográficas	69
capítulo 8	
HIDROMETRIA	70
Objetivos deste Capítulo	70
8.1 Introdução	70
8.2 Canais Abertos	71
Referências bibliográficas	85
capítulo 9	
LEGISLAÇÃO FEDERAL E ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS	
E IRRIGAÇÃO E DRENAGEM	86
Objetivos deste Capítulo	86
9.1 Introdução	86
9.2 Condicionantes para Legislação de Águas	87
9.3 Decreto Nº 24643-10/07/1934 – Código de Águas	88
9.4 Legislação de Recursos Hídricos e a Constituição Federal	
9.5 Legislação Federal - Lei 9.433/1997	89
9.6 Legislação Estadual de Recursos Hídricos	91
9.7 Legislação de Irrigação e Drenagem	
Referências bibliográficas	

# capítulo 1 A ÁGUA E O MEIO AMBIENTE

### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas, relativas à disponibilidade dos recursos hídricos e a importância da água no planeta Terra;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica, relacionada às diversas formas de disponibilidade hídrica e aos fatores que facilitam e/ou dificultam sua utilização e conservação;
- incentivar a construção de uma posição conceitual, voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

# 1.1 INTRODUÇÃO

Nosso planeta recebe o nome de Terra, mas se pudéssemos ir ao espaço e observá-lo de lá, veríamos que a cor predominante é o azul. Isto por que a maior parte da superfície é coberta por água.

Pode-se afirmar com certeza que cerca de 2/3 de nosso planeta é coberto por água. Se considerarmos este volume, a maior parte é imprópria para consumo. Do total, 97% é água do mar, muito salgada para beber e para ser usada em processos industriais; 1,750% está congelada na Antártica, na região do pólo Norte e em outras geleiras; 1,243% fica escondida no interior da Terra. Sobram apenas 0,007% de água boa para ser usada. Estes valores são importantes, pois é pela água que existe vida vegetal e animal em nosso planeta. Nosso próprio corpo é um exemplo. Você sabia que 70% de nosso corpo é composto por água?

De acordo com TUNDISI (2005), os últimos relatórios do Instituto Mundial de Recursos, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, os resultados das análises de especialistas sobre as bases biogeofísicas da sustentabilidade, os volumes disponíveis de água e os efeitos dos usos múltiplos apontam para uma crise. Esta crise, de acordo com este autor, põe em risco a sobrevivência das espécies, inclusive a humana.

Se considerarmos as reservas de água doce do planeta, encontraremos os mananciais superficiais e as reservas de água subterrânea. Os mananciais superficiais têm sua importância por serem as reservas prontamente disponíveis e mais utilizadas. Já os mananciais subterrâneos são reservas estratégicas que deveriam,

na medida do possível, ser preservadas para usos essenciais, tais como a dessedentação de populações e animais.

Busque, informe-se e construa o seu GLOSSÁRIO TÉCNICO

# 1.2 RESERVAS HÍDRICAS DOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS

Desde os primórdios da vida e também do desenvolvimento da raça humana na Terra, a água é o elemento vital para sua conservação e desenvolvimento. A história e os registros arqueológicos demonstram que, à medida que civilizações foram se desenvolvendo, sua posição geográfica, seus usos, seus costumes e seu crescimento sócioeconômico foram altamente relacionados à disponibilidade hídrica qualitativa e quantitativa.

Dentre os exemplos clássicos da Idade Antiga, pode-se citar a civilização egípcia, que floresceu às margens do RIO NILO. Esta reserva hídrica foi tão importante para o povo egípcio que chegou a influenciar sua religião. Sacrifícios eram feitos aos deuses de forma a permitir que o Rio Nilo continuasse a trazer a prosperidade às atividades agrícolas através dos períodos de cheias. Também sua organização social foi altamente influenciada pelo Rio, bem como a posição geográfica de suas maiores cidades, Tebas e Mênfis, que foram construídas próximas às margens do Nilo. Pode-se destacar também as atividades de navegação, pesca e agricultura, neste caso, como expressivamente dependentes do Nilo.

Além do RIO NILO, a história destaca alguns rios como decisivos para o crescimento de outras civilizações e outros pela sua importância na sustentabilidade dos recursos hídricos do planeta. Pode-se citar:

- a) Rios Tigre e Eufrates (Ásia): nascem nas montanhas da Turquia e deságuam no Golfo Pérsico. Influenciaram no desenvolvimento dos povos mesopotâmicos (sumérios, amoritas, assírios e caldeus), em região que atualmente corresponde ao Iraque.
- b) Rio Amarelo (Ásia): o Rio Amarelo também é conhecido como Huang He e é o segundo mais longo rio da China, com uma bacia hidrográfica de 752.000 Km² e um comprimento de aproximadamente 5.464 Km. Este Rio recebe a denominação de amarelo em decorrência da fina poeira (loess) que o vento carrega desde o norte da China e promove a coloração da sua água. A tradição chinesa afirma que a sua primeira civilização formou-se na bacia deste rio.
- c) Rio Indo (Ásia): este rio nasce no sudoeste do Tibet (China) em uma altitude de aproximadamente 5.500m e corre na direção noroeste, em um percurso de aproximadamente 2.1000 Km, entre as montanhas do Himalaia, pelas regiões de Jammu e Cashemir na

# APLICAÇÃO PRÁTICA

### Para você pesquisar:

Por que a água é chamada de solvente universal?

### d GLOSSÁRIO

Manancial: Chamam-se mananciais de água as fontes, superficiais ou subterrâneas, utilizadas para abastecimento humano e manutenção de atividades econômicas. As áreas de mananciais compreendem as porções do território percorridas e drenadas pelos cursos d´água, desde as nascentes até os rios e represas.

## az GLOSSÁRIO

**Dessedentação:** Processo pelo qual a sede é saciada.

# SAIBA MAIS

**Curiosidade:** O Rio Nilo é maior que o Rio Amazonas?

Conheça um pouco sobre este rio tão importante para a antiguidade:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio\_Nilo

Índia. Seu volume médio anual supera 200 milhões de metros cúbicos de água – duas vezes a vazão do Rio Nilo. Abastece as atividades de irrigação, pesca e navegação para o Paquistão e a Índia.

- d) Rio Amazonas (América do Sul): O RIO AMAZONAS É UM grande rio situado no norte da América do Sul, ao centro da floresta amazônica. Tem sua origem na nascente na Cordilheira dos Andes no sul do Peru, e deságua no Oceano Atlântico, junto ao rio Tocantins, no norte brasileiro. Ao longo de seu percurso, recebe, no Peru, os nomes de Apacheta, Lloqueta, Tunguragua, Marañón, Apurímac, Ene, Tambo, Ucayali e Amazonas (Peru); em território brasileiro entra com o nome de Solimões e finalmente em Manaus recebe o nome de Rio Amazonas até a foz no Oceano Atlântico.
- e) Rio Mississipi (América do Norte): este rio é considerado o quarto rio do mundo em comprimento. Seu principal tributário é o Rio Missouri, que nasce nas Montanhas Rochosas do estado americano de Montana. Já a nascente do Mississipi localiza-se no lago Itasca (Minnesota) e passa por cidades tais como Memphis e New Orleans, dirigindo-se ao Golfo do México. Sua importância principal é devido a sua utilização desde o séc. XIX como meio de transporte para pessoas, alimentos (grãos, algodão) e matérias-primas (ferro, aço e papel). Muitas cidades americanas cresceram ao longo deste rio pela facilidade de obtenção de matérias que por ali eram transportadas. Além de ser um meio de transporte, destaca-se o seu uso para irrigação.
- f) Rio Danúbio (Europa): o Danúbio nasce na Floresta Negra, em território alemão. Com aproximadamente 3000 km de extensão, passa por muitas cidades famosas tais como Viena, Budapeste e Belgrado e deságua no Mar Negro. É considerado o segundo maior rio da Europa. Sua importância está no seu grande número de tributários e por ser um rio industrial e turístico, permitindo o transporte de pessoas, metais, grãos e produtos químicos. Em alguns de seus trechos, suas hidrovias são mais eficientes que o transporte terrestre em virtude de barragens que foram construídas para aprofundar o rio e facilitar a navegação.

**OBSERVAÇÃO:** Além dos rios, outra importante reserva de água superficial é encontrada nos lagos. De um modo geral, o maior número de lagos encontra-se no Hemisfério Norte, em climas temperados (TUNDISI, 2005). Entre os maiores em área alagada, podese citar os lagos Superior (82.680 km²), Huron, Michigan, Grande Lago do Urso, Grande Lago do Escravo, Erie, Winnipeg e Ontário. No entanto, deve-se destacar o continente africano, que também apresenta um grande número de lagos tais como o lago Vitória, o qual apresenta uma área alagada de 69.000 km², além dos lagos Tanganica, Niassa e Chade. Na América do Sul, é importante fazer referência aos lagos Maracaibo e Titicaca.



### Para você pesquisar:

Busque fontes na Internet e escreva um artigo sobre o Rio Amazonas, abordando informações sobre sua nascente, extensão, afluentes, importância econômica, social e ambiental.

### Rios de Planalto × Rios de Planície

Dependendo da natureza do relevo nos diferentes ambientes por onde o rio escoa, o curso de água pode ser chamado de rio de planalto ou rio de planície.

Os rios de planalto são predominantes no território brasileiro, apresentando rupturas de declive, vales e quedas de água expressivas, que lhes conferem um alto potencial para a geração de energia elétrica. Encachoeirados e com muitos desníveis entre a nascente e a foz, os rios de planalto, em decorrência de seu perfil não regularizado, ficam prejudicados no que diz respeito à navegabilidade. Como exemplo de rio de planalto brasileiro, pode-se citar o rio Paraná.

Os rios de planície são usados basicamente para a navegação fluvial, por não apresentarem cachoeiras e saltos em seu percurso. Como exemplo de rio predominantemente de planície, pode-se citar o rio Amazonas e o Rio Paraguai.

É importante destacar que, muitas vezes, os rios apresentam trechos de planície e trechos de planalto, não podendo ser classificados de uma única forma. Neste caso, estes cursos d´água são utilizados para diferentes finalidades, tais como geração de energia elétrica e navegação fluvial, por exemplo.

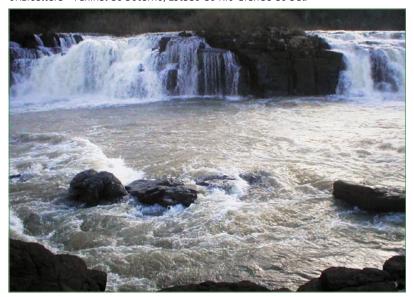
Na Figura 1.1, é apresentada uma imagem do Rio Jaguarão, próxima da cidade de Jaguarão, RS, e, na Figura 1.2, é apresentada uma imagem do Rio Soturno, que serve como fonte para irrigação de lavouras de arroz na região da Quarta Colônia. No Rio Grande do Sul, existem muitos cursos d´água com ambas características, como é o caso do Rio Uruguai, que atende o uso de navegabilidade em certos trechos e, em outros, como em Salto de Yucumã, apresenta quedas bastante perigosas para o transporte fluvial, conforme mostra a Figura 1.3.



**Figura 1.1 – Exemplo de Rio de Planície:** Rio Jaguarão – Divisa do Brasil com Uruguai no Estado do Rio Grande do Sul.



Figura 1.2 – Exemplo de Rio de Planície: Rio Soturno em região típica de orizicultura – Faxinal do Soturno, Estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 1.3 – Exemplo de Trecho Encachoeirado:** Rio Uruguai em Salto de Yucumã – Divisa do Brasil com Argentina no Estado do Rio Grande do Sul

JÁ QUE ESTAMOS FALANDO SOBRE RESERVAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS, QUAL É A MAIOR BACIA HIDROGRÁFICA DO MUNDO? A maior bacia hidrográfica do mundo é a bacia do rio Amazonas com 7.050.000 km², sendo mais da metade localizado em terras brasileiras. Abrange também terras da Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa e Suriname.

### **EXERCÍCIO**

Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as **atividades** referentes aos assuntos vistos até aqui.

### Mananciais Superficiais e a Ação Antrópica

Como os mananciais superficiais de água são as reservas mais facilmente alcançáveis, são também mais facilmente suscetíveis ao contato antrópico. À medida que civilizações foram se desenvolvendo em suas margens, os resíduos destas civilizações foram sendo gradativamente lançados nos corpos de água. Na antiguidade, estes dejetos eram, basicamente, matéria orgânica. Com a industrialização (segunda metade do séc XVIII), outros elementos passaram a ser lançados também, tais como metais, pesticidas e outros elementos de difícil decomposição e altamente deletérios à vida aquática. Infelizmente, tanto no Brasil quanto em outros países, o processo de urbanização não foi acompanhado pelo processo de tratamento dos esgotos domésticos e industriais. Sendo assim, alguns cursos d´água já não apresentam vitalidade alguma, transformando-se em meros cursos de dejetos.

Em decorrência destes processos, pesquisas realizadas pela Comissão Mundial de Água e de outros órgãos ambientais internacionais afirmam que cerca de três bilhões de habitantes em nosso planeta estão vivendo sem o mínimo necessário de condições sanitárias. Cerca de um milhão não tem acesso à água potável. Em razão desses graves problemas, espalham-se diversas epidemias de doenças como diarréia, leptospirose, esquistossomose, hepatite e febre tifóide, que matam mais de 5 milhões de pessoas por ano, sendo que um número maior de doentes sobrecarregam os hospitais e postos de saúde destes países (http://www.todabiologia.com/ecologia/poluicao\_da\_agua.htm).

### **EXERCÍCIO**

Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as **atividades** referentes aos assuntos vistos até aqui.

# 1.3 RESERVAS HÍDRICAS DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS

As reservas hídricas subterrâneas, assim como as reservas superficiais, vêm sendo aproveitadas pelo homem de muitas formas desde o período das primeiras civilizações. Embora não sejam tão prontamente disponíveis quanto as reservas superficiais, as reservas subterrâneas são uma garantia de sobrevivência em regiões onde o regime pluviométrico é mal distribuído, ou insuficiente para atender a demanda das suas populações.

Os primeiros registros de aproveitamento de água subterrânea pelo homem datam de 5.000 anos a.C. na China, onde eram utilizadas varas de bambu para perfuração de poços (REBOUÇAS et al.,



#### Curiosidade:

Produtos que mais poluem os rios, lagos e mares: detergentes, óleos de cozinha, óleos de automóveis, gasolina, produtos químicos usados em indústrias, tintas, metais pesados (chumbo, zinco, alumínio e mercúrio).

2006). Desde então, muitas técnicas foram desenvolvidas com o objetivo de identificar as reservas subterrâneas e efetivar a extração destas.

Dentre as técnicas mais antigas que se pode citar para extração de reservas hídricas subterrâneas, estão os "CANATES", que são galerias ou túneis horizontais com centenas de quilômetros de comprimento, escavados pelos povos antigos nas rochas fraturadas – calcários, arenitos e/ou vulcânicas – do Oriente Médio.

Também é importante destacar a importância que os povos ANTIGOS sempre deram aos poços, que eram fonte de água de suas populações. Desde tempos imemoriais, as águas captadas de nascentes ou poços escavados eram consideradas sagradas, um sinônimo de pureza por aflorarem do subsolo. Este fato apresenta sua fundamentação no fato de que o solo e as rochas atuam como um filtro natural deste tipo de manancial, possuindo a habilidade de retenção de impurezas e contaminações. É evidente que esta capacidade é limitada e, atualmente, identificam-se muitos poços totalmente contaminados pelos mais diversos elementos, tais como coliformes fecais, por exemplo.

No Brasil, a maior reserva, em volume, de água subterrânea encontra-se na Bacia do Paraná e corresponde, grosso modo, a 50% da RESERVA BRASILEIRA. É importante também destacar que, no contexto do semi-árido da Região Nordeste, os potenciais são muito baixos. REBOUÇAS et al. (2006) destacam que, no Nordeste brasileiro, a qualidade das águas é o fator limitante, sendo que os teores de sólidos totais dissolvidos na água são superiores a 2000 mg/l em 75% dos casos.



### Você sabia que

No período da antiguidade, quando um povo invadia e desejava exterminar uma população, era muito comum o envenenamento dos poços de abastecimento das comunidades. Em regiões áridas, como o norte da África e o Oriente Médio, essa atitude equivalia à pena de morte.

## SAIBA MAIS

# Visite e leia também as informações contidas nos seguintes sites:

http://www.ana.gov.br/guarani/index.

http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=guara

http://www.sg-guarani.org

### O Aquífero Guarani

"O Aqüífero Guarani é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo. Está localizado na região centro-leste da América do Sul, entre 12º e 35º de latitude sul e entre 47º e 65º de longitude oeste e ocupa uma área de 1,2 milhões de Km², estendendo-se pelo Brasil (840.000l km²), Paraguai (58.500 Km²), Uruguai (58.500 Km²) e Argentina (255.000 km²). Sua maior ocorrência se dá em território brasileiro (2/3 da área total), abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O Aquífero Guarani constitui-se em uma importante reserva estratégica para o abastecimento da população, para o desenvolvimento das atividades econômicas e do lazer. Esse reservatório de proporções gigantescas de água subterrânea é formado por derrames de basalto ocorridos nos Períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo Inferior (entre 200 e 132 milhões de anos). É constituído pelos sedimentos arenosos da Formação Pirambóia na Base (Formação Buena Vista na Argentina e Uruguai) e arenitos Botucatu no topo (Missiones no Paraguai, Tacuarembó no Uruguai e na Argentina).

A espessura total do aqüífero varia de valores superiores a 800 metros até a ausência completa de espessura em áreas internas da bacia. Considerando uma espessura média aqüífera de 250 metros e porosidade efetiva de 15%, estima-se que as reservas permanentes do aqüífero (água acumulada ao longo do tempo) sejam da ordem de 45.000 km³.

Texto extraído na íntegra do site

http://www.daaeararaquara.com.br/guarani.htm

Ao abordarmos a questão das reservas hídricas subterrâneas, é importante considerar alguns conceitos sobre esta importante fonte de água. Por isso, elaborou-se uma série de perguntas e respostas, que são as mais freqüentes sobre a água subterrânea.

### Frequentes perguntas feitas sobre a água subterrânea

### O que é água subterrânea?

Considera-se como água subterrânea toda a água que ocorre abaixo da superfície do solo, preenchendo poros, vazios intergranulares das rochas, fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas e que, sendo submetida a duas forças (de ADESÃO e de GRAVIDADE ), desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, no fluxo dos rios, lagos e brejos.

# Como ocorre o abastecimento?

Quando ocorre uma precipitação pluvial, parte desta água infiltra no solo e outra parte escoa superficialmente. Da precipitação pluvial que infiltra inicialmente, a água fica retida nas camadas superficiais de solo, servindo de fonte de abastecimento para a vida vegetal. No



Busque e explique ...

Força de adesão? Força de gravidade? entanto, em chuvas de maior tempo de duração, o espaço poroso do solo fica preenchido com água e a parte excedente drena para camadas mais profundas através de um processo chamado **drenagem profunda ou percolação**. Sendo assim, as águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada. Este abastecimento que ocorre através da drenagem profunda, chama-se de RECARGA NATURAL.

### Responda:

- Qual a diferença entre recarga natural e RECARGA ARTIFICIAL?
- Por que é necessária a recarga artificial dos aquíferos?
- Quais os procedimentos disponíveis para recarga artificial (à superfície fora do leito dos rios e nos leitos dos rios)?
- Descreva um método de recarga artificial em profundidade com suas palavras.

Na Figura 1.4, é apresentado o perfil de uma área onde existe aquífero confinado e sua respectiva área de recarga. Pela imagem, observa-se a importância da preservação das áreas de recarga para fins de manutenção das reservas de água subterrânea.

Qual a diferença entre um poço comum e um poço artesiano? Observe a imagem. O aqüifero confinado está sob pressão (acima da pressão atmosférica), já o poço comum, não. No caso do poço comum, como sua pressão não é maior que a pressão atmosférica (nível livre), seu nível é variável e dependente das condições de umidade do solo acima dele. Quando a própria pressão natural da água é capaz de levá-la até a superfície, temos um poço artesiano. Os poços artesianos são tubulares e profundos.

As definições de aquífero, bem como águas subterrâneas, aquífero confinado, lençol freático, poço jorrante, estão apresentados no Decreto 32.1055, de 07/02/91.

# SAIBA MAIS

### Acesse o endereço

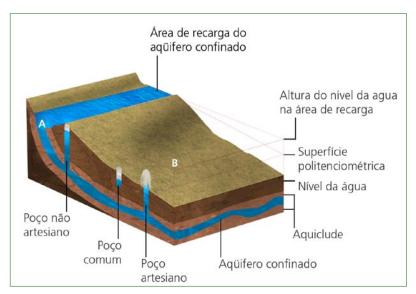
http://www.aprh.pt/7\_silusba/ ARTIGOS/68P.PDF

### d GLOSSÁRIO

**Recarga natural:** Volume de água que penetra no subsolo sem a intervenção antrópica. É um processo natural, inerente ao ciclo hidrológico.

# az GLOSSÁRIO

Recarga artificial: Procedimentos com interferência do homem que têm como objetivo incrementar o abastecimento das fontes de água subterrânea.



**Figura 1.4** – Representação esquemática de perfil do subsolo com aqüífero confinado e sua respectiva zona de recarga (Imagem retirada do endereço eletrônico: http://www.nossofuturoroubado.com.br/old/0907%20Protecao%20 das%20aguas%20USP.htm

# Quais os fatores que influenciam os processos de infiltração e de drenagem profunda?

A infiltração e a drenagem profunda no interior do subsolo ocorre durante períodos de tempo bastante variáveis, em função de muitos fatores:

**a) permeabilidade do solo**: a presença de argila no solo diminui sua permeabilidade, não permitindo uma grande infiltração;

### IMPORTANTE

### O que é permeabilidade?

Meios porosos, tais como o solo, são permeáveis por apresentar espaços intergranulares e/ou fissuras, por onde a água pode "permear", ou seja, passar. A permeabilidade é sempre quantificada como volume por unidade de tempo e é uma função das características do solo.

- **b) cobertura vegetal**: um solo coberto por vegetação retém, de forma mais eficiente, a água quando comparado a um solo desmatado;
- c) declividade do terreno: em declividades acentuadas, a água corre mais rapidamente, diminuindo a possibilidade de infiltração;
- **d) tipo de chuva**: CHUVAS INTENSAS saturam rapidamente o solo e são mais suscetíveis ao escoamento superficial, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.



### Para vocês pesquisar:

O que são chuvas intensas?

# 1.4 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS

Em nosso planeta, a DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NÃO É uniforme em qualidade nem em quantidade. Isto é decorrência das variações de latitude e longitude existentes em nosso planeta, as quais promovem distinções de clima e relevo. TUNDISI (2005) apresenta dados sobre escassez de água, demonstrando que os países com maior déficit de disponibilidade hídrica (m³/habitante) encontram-se no Oriente Médio (Faixa de Gaza, Kwait, Jordânia, Bahrein, Qatar, e outros), enquanto que os países com maior abundância de água disponível para seus habitantes estão localizados na América do Sul (Guiana Francesa, Suriname e Brasil), na África (Congo) e na Europa (Islândia).

De acordo com BARROS & AMIN (2009), o Brasil possui aproximadamente 15% de toda água doce superficial disponível no mundo, o que o faz possuir uma das maiores reservas hídricas do planeta. Na Tabela 1.1, são apresentados dados relativos à distribuição deste recurso e, também, relativos à superfície e população.

# Existe desigualdade na distribuição das reservas hídricas no Brasil?

REGIÃO	RESERVA HÍDRICA (%)	SUPERFÍCIE (%)	POPULAÇÃO (%)
Norte	68,50	45,30	06,98
Centro-Oeste	15,70	18,80	06,41
Sul	06,50	06,80	15,05
Sudeste	06,00	10,80	42,65
Nordeste	03,30	18,30	28,91

**Tabela 1.1** – Valores de reserva hídrica superficial, superfície e população relativas por região brasileira (FONTE: BARROS & AMIN, 2009).

Conforme se pode observar na Tabela 1.1, à região norte corresponde a maior superfície regional do país e também a maior disponibilidade hídrica. Estas observações vêm acompanhadas com a quantificação da população, que demonstra ser esta área pouco povoada. Em contrapartida, a região sudeste apresenta 6% da reserva hídrica do país, 10,8% da área e 42,65% da população. Estes dados ressaltam que a maior parte da população brasileira não vive nas áreas de maior disponibilidade hídrica do país.



#### Acesse:

www.agua.bio.br

http://www.nossofuturoroubado. com.br/old/0907%20Protecao%20 das%20aguas%20USP.htm

http://www.colegiosaofrancisco.com. br/alfa/meio-ambiente-agua/aguasubterranea.php

Como é possível ocorrer o processo de contaminação e poluição de um aquífero?

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- http://www.tvcultura.com.br/aloescola/ciencias/aguanaboca/in-dex.htm
- http://www.canalkids.com.br/meioambiente/planetaemperigo/planeta.htm
- http://www.rededasaguas.org.br/bacia/bacia\_03.asp
- http://www.emdiv.com.br/pt/mundo/asmaravilhas/2032-o-rio-in-do-tibet-india-e-paqistao.html
- http://pt.wikibooks.org/wiki/Hist%C3%B3ria\_da\_humanidade/Civiliza%C3%A7%C3%A3o\_do\_rio\_Amarelo
- http://www.kented.org.uk/ngfl/subjects/geography/rivers/FeatureArticles/mississippi.htm
- BARROS, Fernanda Gene Nunes; AMIN, Mário M. **Água: escassez e perspectivas para o Brasil**. Em (acesso realizado em 18/03/2009) http://www.sober.org.br/palestra/2/162.pdf
- CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher. 149p., 1974.
- LIMA, Walter de Paula. **Manejo de Bacias Hidrográficas.** Em (acesso realizado em 12/04/2009) http://www.esalq.usp.br/departamentos/lcf/lab/lhf/arquivos/CAPITULO%204.pdf
- RIBEIRO, Wagner Costa. **Distribuição política da água.** Em (acesso realizado em 18/03/2009) http://www.unizar.es/fnca/america/docu/16z2.pdf
- TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, RiMa, 2ª Ed. 2005. 251p.
- VON SPERLING, Eduardo. **Planeta água**: teremos sede no futuro? Em (acesso realizado em 18/03/2009) http://www.bvsde.paho. org/bvsacd/abes23/IV-004.pdf

# capítulo 2 BACIA HIDROGRÁFICA

### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar os conceitos fundamentais relacionados à caracterização de bacia hidrográfica, relacionando-os à Política Nacional de Recursos Hídricos;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica no que diz respeito ao uso da bacia hidrográfica como unidade de gestão e conservação;
- estabelecer relações entre os processos de produção agropecuária com a legislação relativa aos recursos hídricos e ambientais.

# 2.1 BACIA HIDROGRÁFICA: NOÇÕES BÁSICAS

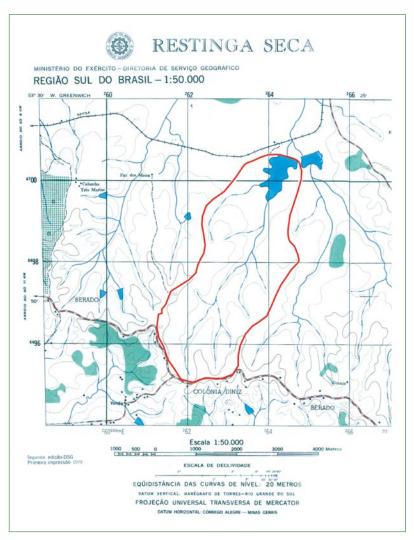
Ao abordar o tema de mananciais de água, é preciso considerar o conceito de bacia hidrográfica. De acordo com a LEI 9.433, datada de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em seu Capítulo I, Art.1º, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

# O que é uma bacia hidrográfica?

Pode-se dizer que bacia hidrográfica é o conjunto de terras drenadas por um rio principal, seus afluentes e subafluentes. A idéia de bacia hidrográfica está associada à noção da existência de nascentes, divisores de águas e características dos cursos de água, principais e secundários, denominados afluentes e subafluentes. A delimitação de uma bacia hidrográfica é feita pelos divisores de água ou divisores topográficos, que são as cristas das elevações do terreno. Elas separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes, tal como ilustrado na Figura 2.1.



A **Lei 9.433** é um elemento muito importante. Ela é complementada pelas legislações estaduais, mas continua como um fundamento para nossa relação com os recursos hídricos. Recomenda-se que você inicie a leitura do texto na íntegra. Ao longo da disciplina, iremos discutir mais sobre ela.



**Figura 2.1** – Delimitação de uma bacia hidrográfica em carta elaborada pelo Serviço Geográfico do Exército (SGE) – Escala 1:50.000

Através da imagem apresentada na Figura 2.1, pode-se observar que a delimitação corresponde às "cristas" topográficas. Dentro da área delimitada, a água que vier a precipitar deverá escoar para a rede de drenagem indicada em linhas azuis e vir a contribuir para o enchimento da barragem que corresponde à área azul da carta. Pode-se elaborar uma planta, a partir da carta. Um exemplo é apresentado na Figura 2.2.

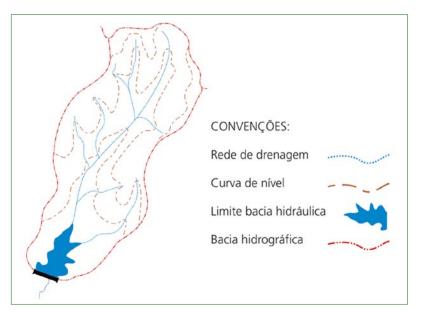


Figura 2.2 – Exemplo de uma planta da bacia hidrográfica delimitada em carta do SGE.

Nas Figuras 2.1 e 2.2, existem, além da delimitação, a apresentação dos elementos característicos de uma bacia hidrográfica. Na construção de plantas, é importante identificar a rede de drenagem, que é composta pelo rio (ou rios) que fluem dentro de sua área, bem como seus tributários. Esses cursos de água podem ser permanentes (quando transportam água durante todo o ano) ou intermitentes (quando há escoamento em alguns períodos somente). A identificação da rede de drenagem de uma bacia é um importante elemento para quantificação dos recursos hídricos disponíveis e, também, para fins de avaliação ambiental.

No caso da bacia delimitada na Figura 2.1 e desenhada em planta na Figura 2.2, observa-se que o ponto de deságue da bacia hidrográfica é uma área alagada em decorrência da construção de um BARRAMENTO OU BARRAGEM. Nesses casos, a bacia hidrográfica passa a ser uma ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO, isto é, a água das chuvas que escorrerem superficialmente sobre esta área passam a contribuir para o ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO.

No meio rural, é muito comum haver necessidade de construir barragens para fins de reservação de água seja para consumo humano, dessedentação animal, seja para outros fins tais como irrigação, piscicultura, lazer e outros.

Também existe, em grande número no território nacional, barragens construídas para outros fins, dentre os quais pode-se destacar a geração de energia elétrica. Estas construções são realizadas em rios com expressivas quedas d´água, onde a energia potencial da água é aproveitada. Diz-se, nestes casos, que o rio apresenta potencial hidroelétrico. Nestes casos, são obras de maior proporção que alteram significativamente o ambiente onde são constru-

ídas, uma vez que uma grande área vem a ser alagada e cursos de rios devem, em muitos casos, ser desviados.

# Conheça um pouco mais sobre barragens construídas no Estado do Rio Grande do Sul e no Brasil:

# Usina Hidrelétrica Leonel de Moura Brizola Barragem Maia Filho

http://www.centroserra.com.br/municipios/saltodojacui/fotos/fotos/pages/barragem%20maia%20filho\_jpg.htm

http://www.centroserra.com.br/municipios/saltodojacui/fotos/fotos/pages/UHE%20 Leonel%20de%20Moura%20Brizola\_jpg.htm

http://www.centroserra.com.br/municipios/saltodojacui/fotos/fotos/pages/UHE%20 Passo%20Real\_jpg.htm



Figura 2.3 – Vista da Barragem Engenheiro Maia Filho, construída no Rio Jacuí, RS.

# Usina Hidrelétrica de Passo Real Barragem de Passo Real

http://pt.wikipedia.org/wiki/Usina\_Hidrel%C3%A9trica\_Passo\_Real

http://www.transportes.gov.br/bit/barragens/passoreal.htm



Figura 2.4 – Imagens da Usina Hidrelétrica de Passo Real, localizada no Rio Jacuí, RS.

### Usina Hidrelétrica Dona Francisca

http://pt.wikipedia.org/wiki/Usina\_Hidrel%C3%A9trica\_Dona\_Francisca

http://www.camaraagudo.rs.gov.br/historia/localizacao/dsc02882.jpg/view

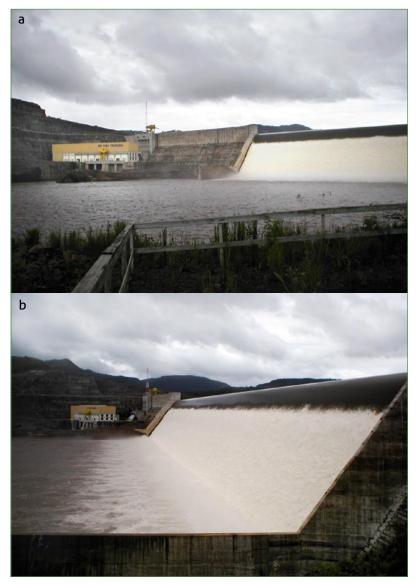


Figura 2.5 – Usina hidrelétrica Dona Francisca, localizada no Rio Jacuí, RS.

Conforme pode ser observado nos exemplos apresentados, o Rio Grande do Sul apresenta muitas barragens que foram construídas para fins de geração de energia elétrica. Além das obras aqui citadas, pode-se ainda elencar as seguintes usinas hidrelétricas: Barra Grande, Bugres, Canastra, Capingüí, Ernestina, Forquilha, Guarita, Herval, Ijuizinho, Itá, Itapiranga, Itaúba, Ivaí, Machadinho, Pai Querê, Passo do Inferno, Santa Rosa.

(Obtido em http://pt.wikipedia.org/wiki/Categoria:Usinas\_hidrel%C3%A9tricas\_do\_ Rio\_Grande\_do\_Sul) Como já foi citado anteriormente, o alagamento de grandes áreas é o mais expressivo efeito da construção de obras deste porte. Para saber mais sobre o processo de construção das usinas hidrelétricas e o efeito destas, recomenda-se a leitura da dissertação de mestrado de Maria Madalena S. Marques, intitulada "A IDENTIDADE ÁGUA ABAIXO — OS REASSENTADOS DA USINA HIDRELÉTRICA DONA FRANCISCA — RS", em especial os capítulos I e II, disponíveis no endereço:

http://www.ufsm.br/extrural/dis2006PDF/Disserta%E7%E30%20da%20Maria%20 Madalena.pdf

# 2.2 BACIA HIDROGRÁFICA: ORGANIZAÇÃO

A utilização das bacias hidrográficas como unidades de planejamento teve seu início na década de 1970, com o objetivo de conservação dos recursos naturais e recuperação de áreas degradadas. O crescimento das populações, aliado ao desenvolvimento urbano, incrementou, de forma bastante expressiva, o uso da água no século XX. Com este incremento, foram verificadas também as conseqüências advindas da poluição e do uso deste recurso sem regulamentação, tais como os conflitos pelo uso da água.

Ao considerar-se a bacia hidrográfica como unidade de gestão, considera-se também que o bom ou mau uso que for feito do recurso hídrico em um determinado ponto ou área, irá provocar conseqüências sobre todos os usuários a jusante deste. Por exemplo: Imagine que ao longo de um curso d´água vários irrigantes retiram água para os seus cultivos. Caso um deles retire água excessivamente, os produtores que localizam-se à jusante, isto é, após o ponto de retirada poderão ser prejudicados por falta de água.

Retorne à Lei 9.433:

TÍTULO I

DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Capítulo I

Dos Fundamentos

Art. 1º. A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I – a água é um bem de domínio público;

II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

Observa-se que. no Art.1º, a Lei 9.433 ressalta que a água é um bem de domínio público e é também um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Isto nos indica que cabe a cada cidadão preservar o que pertence a todos e o seu uso deve ser regulado.

Deve-se considerar também que a distribuição dos recursos hídricos no Brasil não é uniforme. A região que possui a maior reserva hídrica do país é a região norte, que é também a região menos populosa do país (ANA, 2009). Em contrapartida, a região mais industrializada do país (região sudeste) apresenta somente 6% da reserva hídrica superficial do Brasil. Em virtude destas discrepâncias e objetivando a preservação e a justa distribuição deste recurso, dividiu-se o território nacional em bacias hidrográficas.

Sendo assim, no Brasil, atualmente, para fins de planejamento e gestão tem-se nove grandes bacias hidrográficas que são apresentadas na Tabela 2.1.

BACIA	VAZÃO ESPECÍFICA	PRECIPITAÇÃO PLUVIAL
HIDROGRÁFICA	(L/S/KM <sup>2</sup> )	(MM)
Amazonas	30,8	2.220
Tocantins	15,6	1.660
Atlântico Norte	48,2	2.1050
Atlântico Nordeste	5,7	1.328
São Francisco	4,5	916
Atlântico Leste	14,9	2.124
Paraná	12,5	1.385
Uruguai	23,3	1.567
Atlântico Sudeste	19,2	1.394

**Tabela 2.1** – Bacias hidrográficas brasileiras e suas respectivas vazões e precipitações pluviais médias (Fonte: REDE DAS ÁGUAS, 2009).

É importante salientar que, de acordo com a Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, o Estado do Rio Grande do Sul tem em seu território parte da Bacia do Atlântico Sul e parte da Bacia do Uruguai, conforme mostra a Figura 2.6.a. Esta divisão é diferente daquela utilizada pela Legislação Estadual, que considera, para fins de planejamento, o Rio Grande do Sul dividido em três bacias hidrográficas (Bacias Hidrográficas do Rio Uruguai, do Guaíba e Litorânea) conforme é apresentado na Figura 2.6.b.

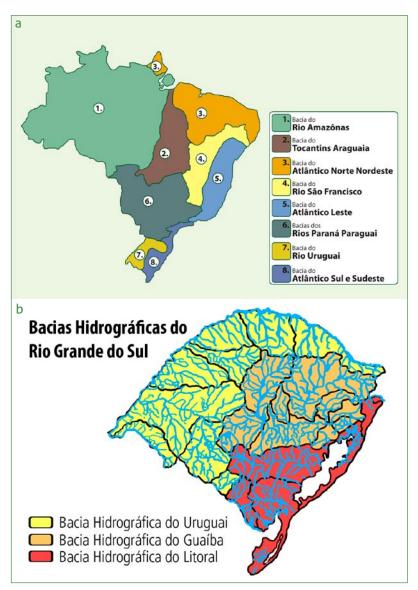


Figura 2.6 – Bacias hidrográficas brasileiras (Fonte: a. Mapa extraído na íntegra do site http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=104) e Bacias Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul (Fonte: b. Mapa extraído na íntegra do site http://www.scp. rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=547)

O território do Rio Grande do Sul é, então, formado por três grandes bacias hidrográficas: a Bacia do Uruguai, a qual faz parte da Bacia do Rio da Prata e abrange cerca de 57% da área total do Estado; a Bacia do Guaíba com 30% do total e a Bacia Litorânea com 13% do total.

Na Bacia do Rio Uruguai, o uso do solo está vinculado principalmente às atividades de pecuária extensiva e agrícola com destaque para a orizicultura irrigada. Na Bacia do Guaíba, existem áreas de grande concentração industrial e urbana. Ela é a mais densamente povoada do Estado, além de sediar atividades diversificadas, incluindo indústria, agropecuária e agroindústria, entre outras. Importante destacar, nesta região, a expressiva presença da indús-

tria coureiro-calçadista, instalada na região do Rio dos Sinos. Já na Bacia Litorânea, os usos do solo são predominantemente vinculados às atividades agropecuárias, agroindustriais e industriais. Na região litorânea, as atividades relacionadas à orizicultura irrigada bem como os novos pólos de fruticultura merecem ser citados.

Para facilitar e compartilhar a gestão dos recursos hídricos no Estado, o Estado do Rio Grande do Sul organizou estas bacias em sub-bacias para fins de gerenciamento.

Vamos retornar à Lei 9.433:

Capítulo III

Dos Comitês de Bacia Hidrográfica

Art. 37. Os Comitês de Bacia Hidrográfica terão como área de atuação:

I - a totalidade de uma bacia hidrográfica;

II - sub-bacia hidrográfica de tributário do curso de água principal da bacia, ou de tributário desse tributário; ou

III - grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas.

Parágrafo único. A instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica em rios de domínio da União será efetivada por ato do Presidente da República.

Art. 38. Compete aos Comitês de Bacia Hidrográfica, no âmbito de sua área de atuação:

I - promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;

II - arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;

III - aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;

IV - acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

V - propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes;

VI - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;

VII - (VETADO)

VIII - (VETADO)

IX - estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

Parágrafo único. Das decisões dos Comitês de Bacia Hidrográfica caberá recurso ao Conselho Nacional ou aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com sua esfera de competência.

Observe que, para fins de gerenciamento, a utilização das três bacias hidrográficas teria como conseqüência áreas muito grandes para atuação dos Comitês, conforme prevê a legislação. Sendo as-

sim, estas bacias foram divididas em sub-bacias com Comitês individuais, que são apresentados nas Tabelas 2.2 e 2.3.

BACIA HIDROGRÁFICA	DATA DO DECRETO	DECRETO ESTADUAL Nº	ESTÁGIO DE ATIVIDADES	N° DE TITULARES
Sinos – G20	17/03/1988 (criação) 08/12/1998 (adequação)	32.744 39.114	Estudos de disponibilidade e de simulação da cobrança; mobilização para o enquadramento.	40
Gravataí – G10	15/02/1989 (criação) 28/07/1999 (adequação)	33.125 39.640	Enquadramento realizado; preparação de Plano de Bacia.	40
Santa Maria – U70	01/02/94 (criação) 28/07/1999 (adequação)	n.d. 39.641	Enquadramento; programa de intervenções e modelo de tarifação.	40
Taquari–Antas – G40	08/06/1998	38.558	Início de mobilização de enquadramento.	50
Caí – G30	28/09/1998	38.903	Início de mobilização de enquadramento.	45
Lago Guaíba – G80	29/10/1998	38.989	Início de mobilização de enquadramento.	40
Pardo – G90	08/12/1998	39.116	Início de mobilização de enquadramento.	50
Tramandaí – L10	08/07/1999	39.116	Início de mobilização de enquadramento.	35
Vacacaí/Vacacaí Mirim – G60	28/07/1999	39.639	Início de mobilização de enquadramento.	35
Camaquã – L30	28/07/1999	39.638	Fase de consolidação.	45
lbicuí – U50	07/08/2000	40.226	Regimento Interno analisado, faltando a publicação no D.O.	40
Baixo Jacuí – G70	07/08/2000	40.225	Fazendo Regimento Interno.	50
Alto Jacuí – G50	11/06/2001	40.822	Aguardando Instalação.	40
ljuí – U90	30/07/2001	40.916	Aguardando Instalação.	40

**Tabela 2.2** – Comitês de Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul instalados e seus respectivos decretos datados, atual estágio de atividades e número de titulares (Fonte: CÁNEPA et al..

acesso a http://www.abes-rs.org.br/rechid/comites-2.htm em 18/03/2009).

BACIA HIDROGRÁFICA	DATA COMISSÃO PROVISÓRIA	SITUAÇÃO ATUAL	
Litoral Médio – L20	1999	Mobilização nos municípios da bacia com reuniões não muito freqüentes.	
Mirim-São Gonçalo - L40		Mobilização para formar uma nova comissão provisória.	
Mampituba – L50	abril de 2001	Mobilização nos municípios do RS e SC com reuniões de 2 em 2 meses desde maio/2001.	
Apuaê-Inhandava – U10	1999	Aplicação do questionário na bacia, já realizado e com uma sugestão de composição.	
Passo Fundo–Várzea – U20	1999	Seminários com apresentação de sugestão de composição; faltando um último seminário que será realizado em nov/2001.	
Turvo–Santa Rosa–Santo Cristo – U30	maio de 2000	Aplicação do questionário na bacia realizada e com uma sugestão de composição; seminários para apresentar a composição e discutir com a sociedade; seminário final em outubro.	
Butuí–Piratinim–Icamaquã – U40	1999	Mobilização nos municípios da bacia; reuniões não muito frequentes.	
Quaraí – U60 (inclui águas federais)		Fase de mobilização para formação da Comissão Provisória.	
Negro – U80 (inclui águas federais)		Não iniciada a preparação.	

Tabela 2.3 – Comitês de Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul a serem instalados, suas respectivas datas de Comissões Provisórias e situação atual (Fonte: CÁNEPA et al. – acesso a http://www.abes-rs.org.br/rechid/comites-2.htm em 18/03/2009).

# 2.3 BACIA HIDROGRÁFICA: CARACTERIZAÇÃO

As bacias podem ser classificadas em grandes e pequenas. No entanto, é preciso ressalvar que duas bacias de áreas idênticas podem ter comportamentos hidrológicos distintos (escoamento de água).

# Por quê?

Porque o escoamento da água não depende somente da área da bacia e sim de outros elementos tais como **declividade** da área, **tipo de solo** existente e tipo de **uso** que é dado a este solo. Quando ocorre uma chuva, uma parte da água infiltra no solo e outra escoa superficialmente. Então QUANTO MAIS ÁGUA INFILTRAR, MENOS ÁGUA VAI ESCOAR. Em áreas mais declivosas, o escoamento superficial será maior do que em áreas planas. Também com relação ao tipo de solo, a característica física que influencia de forma mais expressiva na infiltração é a textura. Solos com textura arenosa apresentam uma capacidade de armazenamento de água menor que solos com textura argilosa. E, com relação a uso do solo, considera-se se é floresta, pastagem ou lavoura temporária. Na Tabela 2.4, são apresentados valores de coeficiente de escoamento superficial para áreas em função de suas declividades, tipos de solo e uso deste solo. O coeficiente de escoamento superficial expressa

a proporção de água que escoa superficialmente quando um determinado volume de chuva precipita. Por exemplo, se o coeficiente for de 0,20, isto significa que para cada 100 mm de chuva precipitados, 20 mm escoarão superficialmente.

DECLIVIDADE (%)	COBERTURA	SOLOS ARENOSOS	SOLOS FRANCOS	SOLOS ARGILOSOS
0 – 5	Floresta	0.10	0.30	0.40
5 – 10	Floresta	0.25	0.35	0.50
10 – 30	Floresta	0.30	0.50	0.60
0-5	Pastagens	0.10	0.30	0.40
5 – 10	Pastagens	0.15	0.35	0.55
10 – 30	Pastagens	0.20	0.40	0.60
0 – 5	Terras Cultivadas	0.30	0.50	0.60
5 – 10	Terras Cultivadas	0.40	0.60	0.70
10 – 30	Terras Cultivadas	0.50	0.70	0.80

Tabela 2.4 – Valores de coeficiente de escoamento superficial em função do tipo de solo, declividade do terreno e cobertura vegetal (Fonte: Soil Conservation Service – USDA)

No caso de lavouras não irrigadas, a única fonte de água para abastecimento das plantas é a água da chuva. Também o processo de escoamento superficial pode vir acompanhado de carregamento de partículas de solo, que caracteriza a erosão do solo. Este processo se intensifica em áreas mais declivosas e em solos arenosos.

Conforme exposto, pode-se observar que duas bacias de áreas idênticas têm comportamentos distintos. E como distinguir pequenas bacias de grandes bacias?

Considera-se pequena bacia quando a quantidade de água acumulada no leito do curso d'água, devido a precipitação, for superior à quantidade de água acumulada no solo e na vegetação.

As características físicas e funcionais das bacias hidrográficas podem ser utilizadas para avaliar os diversos fatores que determinam a natureza da vazão de um rio. Avaliando-se estes fatores, pode-se estabelecer comparações entre distintas bacias, conhecer seu comportamento e fazer extrapolações. Muitas vezes, torna-se necessário subdividir as bacias em unidades menores para fins práticos. As subáreas são definidas por divisores internos, da mesma forma que a bacia principal.

Ao considerar-se um curso d'água, é preciso considerar os elementos que interferem em sua VAZÃO, que são:

- Elementos Climáticos (em especial a precipitação);
- Elementos Físicos da Bacia Hidrográfica.

# SAIBA MAIS

# Para você pensar, pesquisar e responder:

De que forma o plantio direto é vantajoso sobre o cultivo convencional? Quais as vantagens em termos de conservação de água e solo?

### az GLOSSÁRIO

**Vazão:** Denomina-se vazão ou descarga (Q) ao volume de água que escoa por uma determinada seção transversal em um determinado intervalo de tempo.

### Vamos determinar a vazão de uma torneira:

É simples. Você vai precisar de um recipiente com volume conhecido e um cronômetro. Coloque o recepiente embaixo da torneira e a abra. No mesmo momento ligue o cronômetro. Quando o recepiente estiver cheio, desligue o cronômetro e a torneira e vamos aos cálculos:

## Q = Volume (litros) ÷ Tempo (segundos)

Vamos supor que o volume coletado tenha sido 10 litros e o tempo para enchimento seja 20 segundos. Então a vazão da torneira será 10 litros ÷ 20 segundos = 0,5 l/s.

As características físicas de uma bacia podem ser relacionadas aos fatores físicos usualmente utilizados em hidrologia, que são:

- a) Área
- b) Forma
- c) Declividade
- d) Rede de drenagem (tipo e densidade)
- e) Solos (classe e uso do solo)

## a) Área

No caso da área, ela é dada como a área interna ao polígono delimitado pelos divisores de águas. Existem várias formas de se obter a área da bacia hidrográfica, a saber:

- (1) cartas do Serviço Geográfico do Exército (SGE);
- (2) imagens de satélite;
- (3) fotografias aéreas; ou
- (4) levantamento "in loco".

Na Figura 2.1, é apresentada uma carta do SGE com a bacia já delimitada para cálculo de área. No caso de cartas digitalizadas, como é o caso da imagem apresentada, existem diversos softwares que permitem o cálculo da área. Veja, na imagem apresentada na Figura 2.7, a mesma bacia hidrográfica delimitada na Figura 2.1.



**Figura 2.7** – Imagem obtida através do site http://earth.google.com/intl/pt/ e do software Google Earth 5.0.

# Dada uma determinada chuva, como podemos transformar esta precipitação pluvial em VOLUME DE ÁGUA RECEBIDO PELA BACIA?

É simples. Lembre-se da relação: 1 mm = 10 m³/ha = 1 litro/m². Exemplo: Vamos supor que tenha chovido 20 mm em uma bacia de 10 ha.

1 mm ——— 10 m³/ha

20 mm — x

 $x = (20 \times 10) \div 1 = 200 \text{ m}^3/\text{ha}$ 

O volume de água recebido pela bacia na forma de chuva é 200 m³/ha. Agora temos que multiplicar este volume que é dado por hectare pela área da bacia (ha), que no caso do exemplo é de 10 ha.

VolBACIA =  $200 \text{ m}^3/\text{ha} \times 10 \text{ ha} = 2000 \text{ m}^3 \text{ para toda a bacia.}$ 

# E se quiséssemos transformar este volume em vazão (escoamento superficial)? Como faríamos?

Basta multiplicar o volume acima (VolBACIA) pelo coeficiente de escoamento superficial da bacia analisada. Suponha-se que a bacia tenha uma declividade média de 2%, o uso do solo seja de pastagem e o tipo de solo característico seja franco. Busca-se, na Tabela 4, o valor do coeficiente de escoamento superficial (R), que neste caso é de 0,30.

Portanto, a vazão desta chuva será de:

 $Q = VolBACIA \times R$ 

 $Q = 2000 \text{ m}^3 \times 0.30$ 

 $Q = 600 \text{ m}^3$ 

#### **EXERCÍCIO**

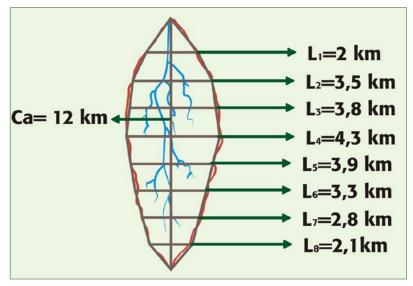
Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as **atividades** referentes aos assuntos vistos até aqui.

## b) Forma da bacia

De uma forma geral, as grandes bacias apresentam forma de leque. Já as bacias pequenas apresentam diversos formatos, que são conseqüência dos processos e materiais de formação dos solos do local. Existem vários índices na literatura para a quantificação da forma de uma bacia. Neste semestre, serão vistos dois deles: (1º) fator de forma e (2º) índice de compacidade.

## 1º Fator de forma

O fator de forma de uma bacia, também chamado de índice de Gravelius, é a relação entre o seu comprimento axial (Ca) e a sua largura média (L). Considera-se como comprimento axial a distância dada entre o ponto mais remoto da bacia e a sua saída, conforme é mostrado na Figura 2.8. A largura média da bacia é dada pela média aritmética das larguras, desde o início da bacia até a sua saída. Observe o exemplo dado na Figura 2.8:



**Figura 2.8** – Bacia hidrográfica com elementos característicos para determinação do fator de forma  $(F_{\epsilon})$ .

### **EXEMPLO DE CÁLCULO:**

Sejam as larguras dadas:

L1 = 2

L2 = 3.5

L3 = 3.8

L4 = 4.3

L5 = 3.9

L6 = 3.3

L7 = 2.8

L8 = 2,1

# Como fazer a média (L)? É simples:

- Conte o número de valores que você tem (no nosso caso temos 8);
- Faça a soma deles (2+3.5+3.8+4.3+3.9+3.3+2.8+2.1=25.7)
- Divida pelo número de valores que você tem  $(25,7 \div 8 = 3,21)$

Agora, deve-se medir o comprimento axial. Vamos supor que, no nosso exemplo, seja 12 km.

Então, o fator de forma (F<sub>E</sub>) será

$$F_F = Ca \div L = 12 \div 3,21$$
  
 $F_F = 3,74$ 

### **EXERCÍCIO**

Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as atividades referentes aos assuntos vistos até aqui.

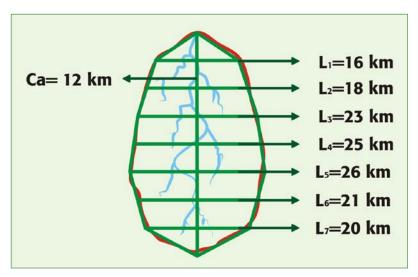


Figura 2.9 – Exemplo de bacia hidrográfica para determinação F<sub>F</sub>

## 2º Índice de compacidade:

O índice de compacidade (Ic) é definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência do círculo de área igual ao da bacia. O Ic pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$Ic = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Em que P é o perímetro da bacia (km) e A é a área (km²).

### **EXEMPLO**

Dada uma bacia com perímetro de 41 km e área de 77 km2. Calcule o seu índice de compacidade.

$$Ic = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28 \times 41}{\sqrt{77}} = 1.31$$

Quanto mais próximo de 1,0 for o Ic, mais próxima da forma circular será a bacia. Este índice é importante porque, em círculos, a convergência da água de uma chuva se dá em tempos similares para um determinado trecho de rio. Isto implica também o aumento da probabilidade de ocorrência de picos de enchentes.

### **EXERCÍCIO**

Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as **atividades** referentes aos assuntos vistos até aqui.

### c) Declividade

A declividade da bacia ou de um terreno é um dos fatores que mais influencia o escoamento superficial e, consequentemente, a contribuição para um rio ou, um conjunto deles.

Ao abordar o elemento declividade, deve-se conceituar a **amplitude altimétrica de uma bacia**. Trata-se da diferença de nível entre o ponto mais elevado e o ponto mais baixo da bacia hidrográfica em estudo. Estes valores podem ser obtidos pelas cartas do SGE ou por levantamento da área estudada. Se dividir esta diferença de nível pelo comprimento da bacia, obtém-se um gradiente denominado DECLIVIDADE GERAL DA BACIA.

### EXEMPLO

Seja dada uma bacia onde o ponto mais alto encontra-se na cota 435m e o ponto mais baixo na cota 397m. O comprimento desta bacia é de 95m. Qual sua declividade geral média?

Resolução:

$$D = (435 - 397) \div 95 = 0.4 \text{ m/m}$$

Atualmente, existem programas computacionais que determinam a declividade de uma área ou de várias subáreas de uma área maior. São chamados de SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG'S).



http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\_ de\_informa%C3%A7%C3%A3o\_ geogr%C3%A1fica Quando se discute sobre declividade, outro elemento importante é a declividade dos cursos d'água. Esta declividade é fundamental para estudar o regime de um curso d'água e seu comportamento quando da ocorrência das precipitações pluviométricas. Em algumas avaliações, além da declividade, é importante o traçado do perfil do curso d'água. Este traçado pode ser feito através de levantamento "in loco", no qual se determina, de trecho em trecho, com distâncias conhecidas, as cotas para traçado do perfil longitudinal.

## d) Rede de drenagem

Rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é o conjunto do rio principal e seus tributários. Este conjunto abrange desde pequenos cursos d´água por onde escoam águas de chuvas até rios com maiores dimensões. A rede de drenagem pode ser bastante variável, de acordo com o relevo do terreno, formação geológica e clima.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1974), as redes de drenagem podem ser classificadas em:

- Exorreicas: é característica das bacias que possuem escoamento contínuo de água até o mar, isto é, deságuam no mar.
- **Endorreicas**: é característica das bacias internas, isto é, bacias que desaguam em lagos ou dissipam-se em desertos.
- Arreicas: é a característica principal de áreas desérticas, onde não há estruturação de uma rede de drenagem.
- Criptorreicas: é característica de bacias subterrâneas.
   Além da classificação exposta, segundo LIMA (2009), os cursos
   Tágua podem ser classificados de acordo com as características de

d'água podem ser classificados de acordo com as características de seu escoamento em:

- **Perenes:** são os cursos d'água onde há fluxo todo o ano, ou, pelo menos 90% do ano, em canal bem definido.
- Intermitentes: são os cursos d'água onde há fluxo durante 50% do período ou menos.
- **Efêmeros**: neste caso, o curso d'água só ocorre durante as chuvas e seus canais não são bem definidos.

O formato da rede de drenagem dentro da bacia pode apresentar consideráveis variações, em função das interações existentes entre o clima, os materiais e o histórico de processos geológicos do local considerado. Observando os formatos de um significativo número de bacias hidrográficas, é possível classificar a rede de drenagem de acordo com a forma. Estas formas são conhecidas como padrões de drenagem e são apresentados na Figura 2.10.

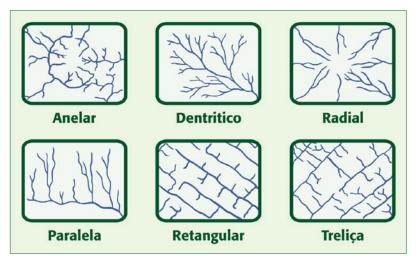


Figura 2.10 – Padrões de drenagem (adaptado CRISTOFOLETTI, 1974).

A classificação fundamentada na forma das redes de drenagem e apresentada na Figura 2.10, pode assim ser descrita:

- a) Rede de drenagem dendrítica: É o formato arborescente ou, ainda, que lembra as nervuras de uma folha vegetal. É característica de regiões onde predominam rochas horizontais e não fraturadas.
- **b)** Rede de drenagem retangular: Neste padrão, os cursos d'água se encontram em ângulos aproximadamente retos. Este formato é característico de locais onde as rochas apresentam fraturamentos e/ou falhamentos e a drenagem é regulada pelas estruturas das rochas. Estas áreas são mais suscetíveis ao processo de erosão.
- c) Rede de drenagem treliça: Padrão caracterizado pela existência de cursos d'água longos e por um conjunto de tributários de cursos curtos e que desembocam em ângulos retos no curso maior.
- d) Rede de drenagem paralela: Neste tipo de padrão, os cursos d'água são paralelos ou subparalelos entre si. É um padrão típico de regiões onde houve um intenso falhamento em uma única direção. É comum em regiões de vertentes com acentuada declividade.
- **e) Rede de drenagem radial**: Padrão caracterizado por cursos d'água que se dispõem radialmente a uma estrutura ou região mais elevada. Ocorre em estruturas vulcânicas.
- **f) Rede de drenagem anelar**: É um padrão onde uma drenagem radial se associa a uma drenagem concêntrica devido a estruturas concêntricas.

# SAIBA MAIS

**Dendrítica** é uma palavra originada do grego dendros, que significa árvore.

# SAIBA MAIS

A etimologia da palavra **treliça** vem do francês trellis, que significa cerca ou grade.

(Fonte: http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/Padr%C3%A3o\_de\_drenagem#Dendr. C3.ADtico)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- http://www.tvcultura.com.br/aloescola/ciencias/aguanaboca/in-dex.htm
- http://www.canalkids.com.br/meioambiente/planetaemperigo/planeta.htm
- http://www.rededasaguas.org.br/bacia/bacia\_03.asp
- http://www.emdiv.com.br/pt/mundo/asmaravilhas/2032-o-rio-in-do-tibet-india-e-pagistao.html
- http://pt.wikibooks.org/wiki/Hist%C3%B3ria\_da\_humanidade/Civiliza%C3%A7%C3%A3o\_do\_rio\_Amarelo
- http://www.kented.org.uk/ngfl/subjects/geography/rivers/FeatureArticles/mississippi.htm
- BARROS, Fernanda Gene Nunes; AMIN, Mário M. **Água: escassez e perspectivas para o Brasil.** Em (acesso realizado em 18/03/2009) http://www.sober.org.br/palestra/2/162.pdf
- CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher. 149p. 1974.
- LIMA, Walter de Paula. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Em (acesso realizado em 12/04/2009) http://www.esalq.usp.br/departamentos/lcf/lab/lhf/arquivos/CAPITULO%204.pdf
- RIBEIRO, Wagner Costa. **Distribuição política da água**. Em (acesso realizado em 18/03/2009) http://www.unizar.es/fnca/america/docu/16z2.pdf
- TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, RiMa, 2ª Ed. 2005. 251p.
- VON SPERLING, Eduardo. **Planeta água**: teremos sede no futuro? Em (acesso realizado em 18/03/2009) http://www.bvsde.paho. org/bvsacd/abes23/IV-004.pdf

# capítulo 3 CICLO HIDROLÓGICO

#### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas ao ciclo hidrológico e seus processos integrantes;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica relacionada ao ciclo hidrológico no meio agrícola;
- incentivar a construção de uma posição conceitual, voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

## 3.1 CICLO HIDROLÓGICO - CONCEITO

De acordo com TUNDISI (2005), o ciclo hidrológico é o princípio unificador de tudo o que se refere à água no planeta Terra. Este autor destaca que a água está sempre em movimento cíclico entre as reservas sólida, líquida e gasosa. Para o homem, assim como para outras espécies animais e vegetais, a fase líquida é a de maior importância para satisfação de suas necessidades.

# 3.2 CICLO HIDROLÓGICO — PROCESSOS INTEGRANTES

Os processos componentes do ciclo hidrológico são:

**Precipitação** – É a água que chega à superfície terreste a partir da atmosfera. Esta água pode ser líquida (precipitação pluvial ou chuva) ou sólida (neve ou gelo).

**Evaporação** – É o processo através do qual a água, que está na fase líquida, transforma-se para fase gasosa. Este processo é mais intenso nas superfícies líquidas de lagos, rios e oceanos e dependente das condições climáticas do local. Regiões com valores altos de temperatura e radiação solar bem como baixos valores de umidade relativa do ar são propensos a apresentarem maiores intensidades de evaporação.

**Transpiração** – Trata-se da perda de vapor d'água pelas plantas. Em geral, denominam-se EVAPOTRANSPIRAÇÃO de uma cultura as perdas de água ocorridas pelas plantas de uma determinada área por transpiração, acrescidas da evaporação de água que ocorre na superfície do solo.

**Infiltração** – Processo pelo qual a água é absorvida pelo solo. **Percolação** – Processo pelo qual a água transloca-se do solo para camadas mais profundas e através das formações rochosas.

Escoamento superficial – Processo pelo qual uma parcela da

precipitação pluvial, que excede a capacidade de absorção do solo, escoa superficialmente e contribui para a rede de drenagem de uma bacia.

Quando a água atinge a superfície de uma bacia pode infiltrar ou escoar superficialmente, vindo a contribuir para os reservatórios de água integrantes desta. A Figura 3.1 mostra este processo cíclico e as interações que vêm a ocorrer. Todos os processos envolvidos são diretamente influenciados pelas condições climáticas do local. Também influenciam fortemente nestes processos as características do solo e do subsolo do local e as condições de uso e manejo do solo.

Observe que quando o homem cultiva uma área, ocorrem modificações na paisagem original de uma determinada região. Estas alterações também promovem modificações quantitativas nos processos que envolvem a água neste local. Um solo preparado para o cultivo, como é o caso da Figura 3.1, vai apresentar taxas de infiltração de água diferenciadas das que ocorriam na paisagem original.

Outra modificação importante é a utilização dos sistemas de irrigação, que visam fornecer água em quantidades adequadas para as culturas agrícolas quando as precipitações pluviométricas de uma determinada localidade são insuficientes ou mal distribuídas. A irrigação é uma "chuva artificial" e, assim, se mal manejada, pode provocar escoamento superficial e, consequentemente, erosão do solo. O uso de técnicas de irrigação implica também, em muitos casos, a utilização de barragens para reservação de água. A construção dessas obras também implicam modificações consideráveis na paisagem e no ciclo hidrológico da bacia onde será localizada.

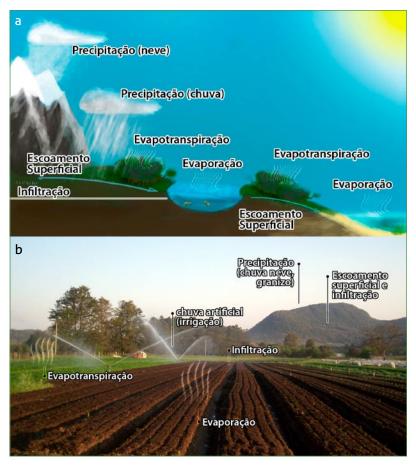


Figura 3.1 – Ciclo hidrológico.

# 3.3 CICLO HIDROLÓGICO - DESCRIÇÃO

De acordo com Naghettini (2006), sob efeito da radiação solar e da turbulência atmosférica, a evaporação ocorre a partir das superfícies de água, formando uma massa de ar úmido. O resfriamento deste ar úmido provoca a condensação do vapor e a formação de minúsculas gotas de água, as quais se prendem aos sais e às partículas higroscópicas presentes na atmosfera, dando origem às nuvens, que são formas de nebulosidade em suspensão no ar atmosférico. O choque entre as gotículas em suspensão provoca seu crescimento, tornando-as suficientemente pesadas para se precipitarem sob a forma de chuva, neve ou granizo.

Na segunda fase do ciclo, uma parte da precipitação (que varia de acordo com a região e a época do ano) que cai pode ser retida pelo dossel vegetativo de culturas ou na estrutura de plantas diversas. Esta parcela é chamada de interceptação e grande parte retorna para a atmosfera na forma de vapor d'água. Outra parcela da precipitação vai atingir o solo e escoar superficialmente, vindo a contribuir para os cursos d'água da bacia. Da parcela de chuva que infiltra no solo, uma parte vai permanecer nas camadas superficiais do solo e contribuir como reserva hídrica aos sistemas radiculares

# SAIBA MAIS

#### Curiosidade

PIELOU (1998) e TUNDISI (2005) relatam que, até o final da década de 1980, acreditava-se que o ciclo hidrológico no planeta era fechado, ou seja, que a quantidade total de água permanecera sempre a mesma a partir do início de formação do planeta. No entanto, descobertas recentes sugerem que "bolas de neve" de 20 a 40 toneladas, denominadas de "pequenos cometas" provenientes de outras regiões do Sistema Solar podem atingir a atmosfera da Terra. As chuvas de "bolas de neve" vaporizam-se quando se aproximam da atmosfera terrestre e podem ter acrescentado 3 milhões de toneladas de água a cada 10.000 anos.

#### CONTEÚDO RELACIONADO

## Acesse os seguintes sites para conhecer melhor o ciclo hidrológico:

http://www3.cptec.inpe.br/~ensinop/ciclo\_hidrologico.htm

http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo\_hidrol%C3%B3qico

http://www.manejodesoloeagua.ufba.br/welcome\_arquivos/ AulasPq/3Ciclo%20Hidrologico.pdf das plantas ou, ainda, evaporar. Outra parte, excedente, vai percolar, vindo a contribuir para as camadas mais profundas do solo e com as reservas de água subterrânea.

O ciclo hidrológico completa-se pelo retorno da água à atmosfera através da evaporação das superfícies de solo, cursos d'água e, mesmo, das gotas remanescentes da interceptação. Além disso, a água retorna também para a atmosfera através do processo de transpiração, que é importantíssimo para a produção vegetal. LINSLEY et al. (1975) estimam que aproximadamente 75% do volume de água que atinge o solo retorna através da evapotranspiração.

# 3.4 CICLO HIDROLÓGICO - QUANTIFICAÇÃO

O ciclo hidrológico e seus processos podem ser quantificados em diferentes escalas, por exemplo, em uma bacia hidrográfica ou mesmo em uma área cultivada. A contabilização dos volumes de água ao longo do tempo nos diferentes processos que fazem parte do ciclo hidrológico é chamada de BALANÇO HÍDRICO.

Este procedimento, nas inúmeras variantes que são disponíveis na literatura, é fundamental para os estudiosos da área de recursos hídricos. Trata-se de um procedimento matemático que permite quantificar as entradas e saídas de um determinado sistema bem como os fatores intervenientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NAGHETTINI, M. Mananciais superficiais: aspectos quantitativos. In: HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para o consumo humano.** Belo Horizonte, UFMG, p.223-274. 859p. 2006.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, RiMa, 2ª Ed. 251p.

LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, L.H. **Hydrology for Engineers**. Nova Iorque, McGraw-Hill, 1975.



# Leia os textos disponíveis nos seguintes sites:

http://pt.wikipedia.org/wiki/ Balan%C3%A7o\_h%C3%ADdrico

http://www.esalq.usp.br/ departamentos/lcf/lab/lhf/arquivos/ CAPITULO%203.pdf

# capítulo 4 PRECIPITAÇÃO

#### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas à precipitação e seus processos integrantes;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica relacionada à avaliação da precipitação no meio agrícola;
- incentivar a construção de uma posição conceitual, voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

# 4.1 PRECIPITAÇÃO - CONCEITO

De acordo com PINTO et al. (1976), a precipitação é a água proveniente do vapor d'água da atmosfera, depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Na maioria dos livros e trabalhos desenvolvidos no Brasil, enfoca-se somente a chuva (também conhecida por precipitação pluvial), porque a quantidade de neve que precipita no território nacional não é expressiva. Para a agricultura, a forma mais importante de aporte de água é a chuva. Dessa forma, nesta apostila, será utilizada a palavra precipitação como sinônimo de chuva ou precipitação pluvial.

Muitas vezes, utiliza-se a palavra chuvisco para uma determinada chuva. De acordo com Naghettini (2006), chuvisco são chuvas que apresentam gotas com diâmetros que variam de 0,1 a 0,5mm, enquanto que a chuva possui gotas com diâmetros de 0,5 a 5mm. No caso do chuvisco, as gotas se precipitam sob a superfície em intensidades tão baixas que, às vezes, parecem flutuar no ar atmosférico.

# 4.2 CHUVA – PROCESSO DE FORMAÇÃO

De acordo com PEREIRA et al. (2001), para que haja condensação do vapor d'água na atmosfera, é necessária a presença de núcleos de condensação, em torno dos quais são formadas as gotículas que constituirão as nuvens. Estes autores apresentam os núcleos de condensação como partículas higroscópicas, entre as quais o NaCl, de origem marítima, é a mais abundante, visto que 2/3 da superfície terrestre é coberta por oceanos. Além da presença de núcleos de condensação, o vapor de água na atmosfera condensase quando as condições tendem a saturação. Isso pode ocorrer de duas maneiras: (a) pelo aumento da pressão de vapor d'água de-

vido à evaporação e a evapotranspiração e, (b) por resfriamento do ar. Estes processos podem ocorrer simultaneamente, mas, na natureza, o segundo é bastante efetivo em promover a formação de orvalho e nuvens.

É importante destacar que o processo de condensação, de forma singular não é suficiente para promover a precipitação, pois as gotículas formadas são muito pequenas e permanecem em suspensão, sustentadas pela força de flutuação térmica. Estas gotículas são chamadas de elementos de nuvem.

Para haver a ocorrência de precipitação, deve haver a formação de gotas maiores em decorrência da coalescência das gotas pequenas, de forma que a força da gravidade supere a força de sustentação. Estas gotas maiores são chamadas de elementos de chuva e a coalescência é um processo resultante de diferença de temperatura, tamanho, cargas elétricas e de movimentos para dentro da nuvem. Quanto mais intensa é a movimentação dentro da nuvem, maior será a probabilidade de choque entre as gotas, resultando em gotas sempre maiores até o limite da tensão superficial.

#### 4.3 CHUVA - FORMA DE MEDIDA

Um índice de medida da chuva é a altura pluviométrica, que é a altura de água precipitada, expressa em milímetros (mm). A chuva que precipita sobre uma determinada área pode ser medida em um dado ponto por meio de aparelhos denominados pluviômetros. Em alguns casos, pode-se medir a sua extensão e variação espacial por meio do radar meteorológico.

O PLUVIÔMETRO é um recepiente metálico, com volume capaz de conter as maiores precipitações possíveis em um intervalo de 24 horas. Esse recipiente possui uma superfície horizontal de captação da chuva, tal que o total diário de precipitação pode ser obtido por:

$$P = 10 \times \frac{V}{A}$$

no qual  $\mathbf{P}$  é a altura de precipitação diária de chuva (mm);  $\mathbf{V}$  é o volume de água recolhido no recepiente (cm³); e  $\mathbf{A}$  é a área da superfície de captação (cm²).

Na Figura 4.1, é apresentado um pluviômetro, instalado em uma Estação Meteorológica de uma área de pesquisa agropecuária. De acordo com TUBELIS (2001), os pluviômetros devem ser instalados afastados de árvores e construções que sejam impedimentos para a água atingir diretamente a área de captação do deste, ou, então, se a água das construções e, ou, fios estão gotejando no instrumento. Em ambos os casos, isto provocaria erros de medida.

Dentre os pluviômetros disponíveis no mercado, pode-se des-



Figura 4.1 – Pluviômetro.



## Saiba mais sobre pluviômetros:

http://www.pluviometros. com.br/?gclid=CIPh-OOwnpoCFQSwFQod-S\_e9Q

http://www.squitter.com.br/ produtos/sensores\_int/s1610/s1610. htm

http://www.if.ufrgs.br/~mitza/ rltO5\_1t\_1s.pdf tacar: Hellmann, Paulista, Convencional, Ville de Paris, Transparente e de Construção Caseira (TUBELIS, 2001).

Para transformar em volume a altura de lâmina de água precipitada sobre um determinado terreno, pode-se utilizar a equivalência:

## 1 mm de chuva = 1 litro/m² de água = 10 m³/ha de água

Além da medida da altura de lâmina precipitada em uma determinada chuva, pode-se medir também a intensidade desta chuva. Denomina-se intensidade (i) a altura de lâmina precipitada por unidade de tempo, dada por:

### i = mm/hora

O valor de intensidade pode ser dado também em mm/min e é muito importante para projetos de drenagem agrícola, por exemplo, onde não basta conhecer a altura total precipitada, mas também em que intervalo de tempo esta altura de lâmina precipitou. Imagine uma chuva de 50mm: se ela precipitar em uma hora ou se ela precipitar em 10 horas. O dimensionamento dos canais deverá variar, de acordo com o volume que afluirá para eles.

Para medir a intensidade de chuva, o pluviômetro não é suficiente. Neste caso, é necessário um sistema de registro contínuo da quantidade e da hora de ocorrência das chuvas em um equipamento denominado PLUVIÓGRAFO.

Estes equipamentos devem ser instalados a uma altura de 1,5m, devendo a água de captação estar bem nivelada. A coleta dos dados deve ser feita diariamente às 7h no posto agrometeorológico convencional. Nas estações automáticas, o registro é contínuo, obtendo-se valores de intensidade e altura total diária das 0h às 24h.

Na Figura 4.2, é apresentada a imagem de um pluviógrafo.

#### EXERCÍCIO

Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as **atividades** referentes aos assuntos vistos até aqui.

# 4.4 IMPORTÂNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

De acordo com BERLATO (1994), a precipitação anual normal do Rio Grande do Sul é da ordem de 1.540 mm, variando de 1.235 mm (Santa Vitória do Palmar) até 2.162 mm (São Francisco de Paula). De



Figura 4.2 - Pluviógrafo.

# SAIBA MAIS

Vamos conhecer um pouco sobre a distribuição espacial da chuva no Brasil

http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/feijao/doc\_127.pdf

http://www.if.ufrgs.br/~mitza/ rlt05\_1t\_1s.pdf acordo com estes autores, chove mais na metade norte do estado (latitude acima de 30° S), com totais anuais acima de 1.500 mm, enquanto que, na metade sul do estado, os totais anuais médios são inferiores a 1.500 mm.

Apresentando estes valores médios de precipitação pluvial, em comparação com outras regiões do país, pode-se afirmar que a quantidade de chuva é suficiente para suprir a demanda hídrica das culturas agrícolas. A análise das séries históricas demonstram que, apesar de a chuva ser bem distribuída nas quatro estações do ano (verão = 24%, outono = 25%, inverno = 25%, primavera = 26%), a DEMANDA EVAPORATIVA da atmosfera é maior no verão, o que faz com que, em alguns casos, ocorram veranicos em períodos críticos das culturas.

O Brasil, por ser um País de dimensões continentais, apresenta uma grande variabilidade em relação à ocorrência e quantidade da precipitação pluvial. Na região do semi-árido nordestino, por exemplo, a seca é histórica. Já na região centro-oeste do País, existem duas estações definidas (seca e chuvosa).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre, UFRGS, 125p. 1992.

NAGHETTINI, M. Mananciais superficiais: aspectos quantitativos. In: HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para o consumo humano.** Belo Horizonte, UFMG, p.223-274. 859p. 2006.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI; L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas.** Guaíba, Agropecuária, 480p. 2001.

TUBELIS, A. **Conhecimentos práticos sobre clima e irrigação**. Viçosa, Aprenda Fácil, 2001. 224p.



## Você saberia definir o que é um período de alta demanda evaporativa?

Trata-se de um período, imagine um dia, com alta intensidade de radiação solar ("O sol está forte hoje!"), baixa umidade relativa do ar ("aqueles dias em que a roupa seca em um instante, quando colocada no varal") e temperaturas altas ("Como está quente hoje! Pode-se transpirar dentro de casa sem fazer exercícios").

# SAIBA MAIS

#### Vamos pesquisar:

Busque informações sobre a distribuição da precipitação pluviométrica nas diferentes regiões do País.

Busque, em jornais ou revistas ou através da Internet, informações sobre a ocorrência de períodos secos que provocaram queda de safra na sua região ou cidade.

# capítulo 5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

## **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas à infiltração e seus processos integrantes;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica, relacionada à avaliação da infiltração no meio agrícola;
- incentivar a construção de uma posição conceitual voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

## 5.1 RESERVAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

O estudo do processo de infiltração de água no solo implica a consideração das características deste meio como receptor de água. O solo é um meio poroso que, no caso da ocorrência de uma chuva, passa a ser um meio de reservação de água.

Assim, é importante considerar que a constituição do solo é de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas fazem um arranjo poroso tal que os espaços vazios, denominados de poros, têm a capacidade de armazenar líquidos e gases.

A parte sólida é formada principalmente por minerais, que podem ser classificados, de acordo com o seu tamanho, em areia, silte ou argila. As proporções destas classificações determinam o que chamamos de TEXTURA DO SOLO. De acordo com REICHARDT (1990), estas partículas são arranjadas pelos efeitos cimentantes dos materiais orgânicos e inorgânicos, formando o que chamamos de ESTRUTURA DO SOLO. Os materiais orgânicos, de acordo com este autor, podem ser resíduos vegetais e animais, parte dos quais são vivos e o restante apresenta-se em diversos estágios de decomposição, denominados húmus.

Com relação à parte líquida do solo, esta se constitui por água, contendo minerais dissolvidos e materiais orgânicos solúveis. Ela ocupa parte (ou quase o todo) do espaço vazio entre as partículas sólidas, dependendo da umidade do solo. Esta água é absorvida pelas raízes das plantas ou é drenada para camadas mais profundas do solo e é reposta periodicamente pela água das chuvas ou pela irrigação, de forma a promover o adequado crescimento dos vegetais cultivados, mesmo em períodos de déficit hídrico.

A parte gasosa do solo ocupa os espaços vazios que não são ocupados pela água. A parte gasosa tem sua importância porque as

raízes dos vegetais, em geral, necessitam de aeração para desenvolver-se corretamente. O excesso de água pode ser tão prejudicial quanto a sua falta. Existem algumas exceções tais como o arroz irrigado por inundação, que é tão comum no sul do Brasil. Neste caso, o solo é saturado, isto é, todo o espaço poroso é preenchido por água e ainda coloca-se um volume extra para formar uma lâmina sobre o solo saturado. No restante das culturas agrícolas tais como soja, feijão, milho e outras, é importante manter um balanço entre a porção de poros preenchida por água e a porção ocupada por ar.

### 5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

#### Textura

Dentre as propriedades físicas mais influentes sobre o processo de infiltração, pode-se destacar a textura. A escala de tamanho das partículas de solo varia bastante, desde o cascalho, que apresenta diâmetro da ordem de centímetros, até partículas diminutas como os colóides, que não podem ser vistos a olho nu. O tamanho das partículas é de grande importância, pois determina o número de partículas por unidade de volume ou de peso e a superfície que estas partículas expõem (REICHARDT, 1990).

Quanto menor é o diâmetro de uma partícula, maior é a superfície exposta desta. Este é o fundamento para a retenção de água:

Quanto menores forem as partículas constituintes de um solo, maior será a sua superfície exposta e, por consequência, maior será a sua retenção.

## Grau de compactação

Outro fator que influencia fortemente na retenção de água pelo solo é o seu grau de compactação. A compactação consiste na redução do espaço poroso de um solo e pode ser relacionada à estrutura do solo. A compressão em um material poroso faz com que a mesma massa de material sólido possa ocupar um volume menor. O processo de compressão afeta a estrutura, o arranjo de poros, o volume de poros e as características de retenção de água.

Dentre as formas disponíveis para avaliar o grau de compactação de um solo, pode-se destacar a porosidade total e a densidade do solo (também chamada de densidade global do solo).

#### Densidade do solo

A densidade do solo (ds) é a relação entre a massa de uma amostra de solo e o volume que ela ocupa, na condição natural (amostra não deformada) e pode ser representada matematicamente por:

$$ds = \frac{m}{V}$$

onde:

**m** – massa das partículas sólidas, sem água. Para isso, é necessário que o solo seja seco em estufa a 105oC, até perder toda água livre.

 ${f V}$  — volume de solo da amostra. A coleta de amostras é feita com o auxílio de um anel de metal (geralmente inox) chamado de anel volumétrico.

Na Figura 5.1, é apresentada uma representação esquemática do anel volumétrico com os elementos necessários para determinação do volume (diâmetro e altura). Com estas medidas, o volume será dado por:

$$Volume = h \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

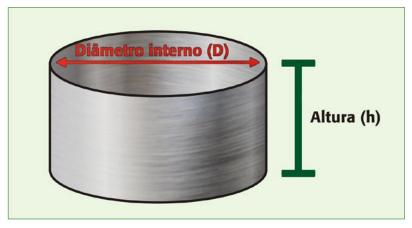


Figura 5.1 – Representação esquemática do anel volumétrico utilizado para coleta de amostras não deformadas de solo.

Para maiores detalhes com relação a cuidados e procedimento desta metodologia, recomenda-se a leitura de REICHARDT (1990) e CAUDURO e DORFMAN (1992).

### **EXEMPLO**

Seja um anel de diâmetro interno D=6 cm e de altura h=8 cm. Quanto vale o seu volume?

Volume = 
$$h \times \frac{\pi \times D^2}{4} = 8 \times \frac{\pi \times 6^2}{4} = 226,2 \text{ cm}^3$$

Agora considere que o peso do solo seco desta amostra vale 325g. Qual é a densidade deste solo?

$$ds = \frac{m}{V} = \frac{325}{2262} = 1.4$$

De acordo com REICHARDT (1990), as amplitudes de variação das densidades globais de solos, em geral, situam-se dentro dos seguintes limites médios:

- solos argilosos de 1,0 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>;
- solos arenosos de 1,2 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>
- solos humíferos (ricos em matéria orgânica) de 0,7 a 1,0 g/cm<sup>3</sup>.

A densidade do solo, em geral, aumenta com a profundidade do perfil, devido às pressões exercidas pelas camadas superiores, provocando a compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores também contribui para a redução dos espaços porosos, aumentando a densidade aparente dessas camadas.

Solos com ds entre 1,70 e 1,80 g/cm³ dificultam a penetração de raízes; solos de diversas texturas com ds = 1,90 g/cm³, ou solos argilosos com ds = 1,60 a 1,70 g/cm³ podem não apresentar raízes (KIEHL, 1979).

#### Porosidade

Além da densidade do solo, outro elemento físico importante é a porosidade, que é definida pela relação entre o volume ocupado pelos poros e o volume total do solo. Pode-se quantificar a porosidade através da seguinte expressão:

$$\alpha = \left[1 - \frac{ds}{dp}\right] \times 100$$

onde:

 $\alpha$ : porosidade do solo (%);

ds: densidade do solo;

dp: densidade de partículas ou massa específica média das partículas sólidas. Caso não se tenha realizado determinação de densidade de partículas, pode-se utilizar o valor médio de 2,65 (KIEHL, 1979), que não varia significativamente para a maioria dos solos minerais. Para solos com teores de matéria orgânica acima de 5%, recomenda-se a determinação laboratorial de dp.

### **EXEMPLO**

Seja dada uma análise de solo, na qual determinou-se que a ds = 1,30 e sabe-se que é um solo mineral. Qual a sua porosidade?

$$\alpha = \left[1 - \frac{ds}{dp}\right] \times 100 = \left[1 - \frac{1.3}{2.65}\right] \times 100 = 50.94\% \approx 51\%$$



# **A** ATENÇÃO

Para reduzir o valor da densidade do solo, recomenda-se o uso de resíduos orgânicos e o bom manejo do solo. A aração do solo com bom teor de umidade contribui para a agregação deste assim como a manutenção e incorporação dos restos de cultura ao solo.

#### **IMPORTANTE**

Enquanto que para a agricultura a redução do espaço poroso do solo (compactação) é um processo indesejável (dificulta a penetração das raízes e a extração de água), para outras finalidades, tais como construção de obras de terra, é desejável e benéfico. No caso de construção de barragens, por exemplo, é recomendável ensaiar o solo com o qual será construído o maciço e verificar qual o teor de umidade ótimo para que o processo de compactação seja adequado. Solos muito secos ou solos muito úmidos não permitem a adequada compactação da camada de solo.

O ensaio que deve ser feito é chamado de Ensaio Normal de Proctor e encontra-se descrito na NBR 7182. O resultado deste ensaio informa qual o teor de umidade ótimo com o qual se deve proceder a passagem do rolo compactador na camada de solo. Quando o solo encontra-se muito seco, recomenda-se o umedecimento, que pode ser feito através de caminhões irrigadeiras. Já quando o solo encontra-se muito úmido, é recomendável o seu revolvimento (gradagem, por exemplo) para secagem até atingir o ponto ideal. Durante todo o processo, recomenda-se o controle do teor de umidade.

#### 5.3 CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

Quando se considera conteúdo de água no solo ou umidade do solo, é preciso considerar que esta medida pode ser expressa de duas formas:

a) Umidade gravimétrica (Ug): quando a informação dada é em massa, ou seja, g de água/g de solo. Exemplo: Suponha-se que o solo apresente 25% ou 0,25 de umidade gravimétrica. O que isto significa? Significa que existem 0,25g de água em cada 1 g de solo.

Para determinar a Ug, coleta-se as amostras de solo e, trazendo para o laboratório, determina-se a massa úmida (Mu), isto é, a massa com o teor de umidade existente a campo. Seca-se as amostras em estufa a 105°C até atingirem peso constante e verifica-se a massa seca (Ms). A Ug será dada pela seguinte expressão:

$$u = \left[\frac{Mu - Ms}{Ms}\right] \times 100$$

**b)** Umidade volumétrica (θ): neste caso, a informação é dada em volume, ou seja, cm³ de água/ cm³ de solo. Se um solo apresenta uma umidade volumétrica de 30% ou 0,30, isto significa que existem 0,30cm³ de água para cada cm³ de solo.

E qual a relação entre  $Ug \in \theta$ ?

A relação entre Ug e  $\theta$  pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\theta$$
 = Ug × ds

Como se pode observar na expressão acima, se determinarmos a Ug e conhecermos a ds, poderemos calcular a umidade volumétrica, que é fundamental para determinar o volume de água existente em uma determinada camada de solo.

E como devemos fazer?

Para conhecer o volume de água armazenado em um determinado perfil de solo, veja o exemplo a seguir:

#### **EXEMPLO**

Na lavoura do Sr. João, as plantas estão se desenvolvendo na camada de 0-20 cm de profundidade. Sabe-se que a densidade de solo nesta camada é de 1,25. Foi feita uma determinação de Ug e verificou-se que é de 28%. Quanto de água existe nesta camada?

Cálculo da umidade volumétrica:

$$\theta = Ug \times ds = 0.28 \times 1.25 = 0.35$$
 ou 35%

Determinação da altura de lâmina de água existente na camada de solo:

Al = 200mm × 0,35 = 70mm de água na camada

Observe que multiplicamos a umidade volumétrica pela espessura da camada onde desejamos saber a altura de lâmina de água existente. Se a camada varia de 0 até 20 cm, isto significa que ela possui 20 cm de espessura ou 200 mm (1cm possui 10mm).

Por que utilizamos mm para altura de lâmina de água?

Porque é uma unidade muito utilizada em trabalhos de irrigação, agrometeorologia e recursos hídricos em geral. Vejamos, como exemplo, as medidas de chuva. Elas são usualmente expressas em mm. E esta medida não se restringe à bibliografia específica da área, mas é utilizada até mesmo em jornais e meios de comunicação dedicados ao público leigo..

E se quiséssemos transformar esta altura de lâmina em volume? A relação é muito simples: 1 mm de altura de lâmina = 10 m³/ha

Então, se 1 mm equivale a 10m³/ha 70 mm equivalem a 10m³/ha

# 5.4 INFILTRAÇÃO

Chama-se de infiltração o processo de entrada de água no solo através de sua superfície. Isto ocorre quando a superfície do solo recebe água pela chuva ou irrigação, de cima para baixo, molhando desde a primeira camada até as mais profundas. Assim, mesmo durante o processo de infiltração, a água distribui-se dentro do solo, movimento este que não pára, mesmo quando cessa a infiltração. Quando a água se movimenta dentro do solo, dizemos que é redistribuição.

No caso de fornecimento localizado, como é o caso da IRRIGA-ÇÃO POR SULCOS, a infiltração e a redistribuição se dão em todas as direções, pois a água sempre se movimenta de acordo com o seu estado energético (potencial de água).

#### **IMPORTANTE**

#### Vamos explicar...

O potencial é o estado energético de um meio poroso. Vamos imaginar dois blocos de solo, retirados do mesmo local (mesmo tipo de solo) com diferentes teores de umidade. Uma amostra está bem úmida e outra bem seca. Se encostarmos a amostra úmida na amostra seca, a tendência é haver movimentação da água, SEMPRE DO SOLO MAIS ÚMIDO PARA O SOLO MAIS SECO. Porque o potencial é menor no solo seco e maior no solo úmido. A água se movimenta no sentido de equilibrar os potenciais.

## **EXEMPLIFICANDO**

Na natureza, podemos ver este fenômeno toda vez que ocorre uma chuva. Imagine uma chuva ocorrendo após muitos dias quentes e secos. A absorção é extremamente rápida, porque a água chegou ao solo que está com potenciais muito baixos (solo seco).

Agora imagine uma chuva ocorrendo quando o solo já está bem úmido. A infiltração é mais lenta, porque o solo já está úmido (seu potencial de água é alto em relação ao caso anterior).

Na Figura 5.2, é apresentada uma representação gráfica de um sistema de irrigação por sulcos.

#### az GLOSSÁRIO

Irrigação por sulcos: Trata-se de um procedimento de irrigação bastante antigo, que foi mais utilizado em períodos em que não havia a grande diversificação que há atualmente de tubulações, equipamentos diversos e tecnologias. Consiste na abertura de sulcos que vão funcionar como canais para a distribuição de água. Estes sulcos são abertos entre linhas de plantas. Trata-se de um método no qual as perdas de água são expressivas e que necessita de uma declividade do terreno abaixo de 2% para evitar erosão (OLLITA, 1989).



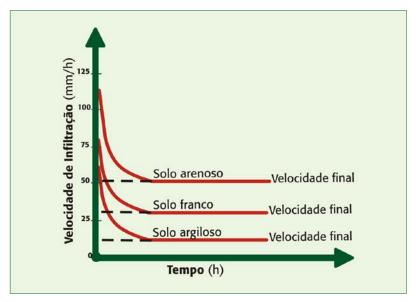
**Figura 5.2** – Representação de um sistema de irrigação por sulcos (Fonte: adaptado de GUIA RURAL, 1991).

## Medida da infiltração

De acordo com CAUDURO e DORFMAN (1992), o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é importante para o cálculo do tempo de irrigação de culturas agrícolas, para escolha do método de irrigação, para o projeto do sistema de irrigação e para estimar a necessidade de revestimento de canais de condução de água.

A taxa de infiltração é máxima no início da chuva ou da irrigação, mas diminui e tende a estabilizar-se, com o tempo, no decorrer da precipitação. A umidade do solo, no início da aplicação de água, é um dos fatores que afetam a infiltração, pois, quanto maior o conteúdo de água no solo, menor a taxa de infiltração. Outros fatores que afetam a taxa de infiltração são a classe textural do solo, o tipo de argila, o estado de agregação das partículas do solo, a cobertura vegetal e o grau de compactação.

Na Figura 5.3, é apresentada uma representação gráfica da taxa de infiltração (mm/h) em função do tempo para três tipos de solo. Pela Figura, pode-se verificar que solos arenosos infiltram mais rapidamente do que solos argilosos. No entanto, estes valores são médios, podendo sofrer alterações em função do manejo do solo. Assim, solos muito arenosos podem vir a apresentar problemas de retenção de água, isto é, necessitam de irrigações ou chuvas freqüentes para suprir as necessidades das culturas agrícolas que nele se desenvolvem.



**Figura 5.3** – Taxa de infiltração em função do tempo em três classes texturais características (adapatado de WITHERS e VIPOND, 1977).

De acordo com WITHERS e VIPOND (1977), o desenvolvimento radicular nas camadas superficiais beneficia o processo de infiltração, particularmente no caso de solos argilosos, cujas raízes rompem-lhe a estrutura. A adição de matéria orgânica aos solos arenosos propicia ligamentos entre as partículas, reduzindo a velocidade de infiltração; nos argilosos, ela melhora a estrutura, sendo benéfica em ambos os casos.

Existem vários métodos de campo para determinação da taxa de infiltração da água no solo. Um dos mais usados é o método dos cilindros concêntricos, o qual utiliza dois cilindros metálicos de 30 cm de altura, com diâmetros de 30 cm e 50 cm respectivamente e uma borda biselada para facilitar sua penetração no solo. Na Figura 5.4, são apresentados os cilindros metálicos componentes do infiltrômetro de anéis.



Figura 5.4 – Infiltrômetro de anéis.

O procedimento de instalação do infiltrômetro e o procedimento para realizar o ensaio de infiltração são descritos em detalhes em CAUDURO e DORFMAN (1991).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre, PRONI/ UFRGS,1992.

KIEHL, J.E. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo, Ceres,1979.

OLITTA, A.F.L. **Os Métodos de Irrigação**. São Paulo, Nobel.. 1989.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, Manole, 1990.

WITHERS, B.; VIPOND, S. Irrigação: projeto e prática. São Paulo, EPU/EDUSP. 1977.

# capítulo 6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas ao escoamento superficial e seus processos integrantes;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica relacionada avaliação do escoamento superficial no meio agrícola;
- incentivar a construção de uma posição conceitual, voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

# 6.1 INTRODUÇÃO

De acordo com PRUSKI et al. (2003), o escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. Estes autores destacam que este segmento do ciclo hidrológico é de fundamental importância para o projeto de obras no meio rural, porque a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

Conforme foi explanado nos capítulos anteriores, se considerar o ciclo hidrológico, será verificado que parte do volume total de chuva é interceptado pela vegetação, enquanto que o restante atinge a superfície do solo. Ao atingir a superfície, uma parte infiltra enquanto que o restante "empoça" nas depressões do terreno ou vem a escoar sobre ele. Isto normalmente acontece quando a intensidade da chuva é superior à capacidade de infiltração de água no solo.

### IMPORTANTE

Quando se dimensiona um sistema de irrigação pressurizado, podese fazer uso dos aspersores, que são equipamentos utilizados para distribuir a água na forma de "chuva" para as plantas. Esses equipamentos apresentam uma ficha técnica na qual são discriminadas suas características, entre as quais podemos destacar a sua taxa de aplicação, isto é, a intensidade de aplicação (mm/h). NUNCA DEVE-MOS SELECIONAR UM EQUIPAMENTO QUE APRESENTE UMA TAXA DE APLICAÇÃO SUPERIOR À CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO SOLO DE NOSSA ÁREA, CASO CONTRÁRIO PROVOCAREMOS A OCORRÊNCIA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.

#### PARA VOCÊ CONHECER...

Na Figura 6.1, são apresentadas duas imagens de uma área irrigada com sistema de irrigação por aspersão convencional. Além dos sistemas de aspersão convencional, existem outras categorias de sistemas de irrigação que também são enquadrados como aspersão. Um dos mais conhecidos é o sistema de irrigação do tipo pivô central, que é apresentado nas imagens da Figura 6.2. Este sistema é utilizado em áreas maiores para irrigação de grandes culturas, enquanto que o sistema convencional tem maior utilização em áreas pequenas (até 5 ha aproximadamente), sendo preferencialmente utilizado na olericultura.



Figura 6.1 – Vista de uma área cultivada e irrigada por aspersão.



Figura 6.2 – Imagens de um sistema de irrigação do tipo pivô central.

Quando é esgotada a capacidade de retenção de água do solo, a água vai escoar com maior intensidade. Juntamente com o escoamento superficial, haverá também o transporte de partículas sólidas do solo que sofrem deposição somente quando a velocidade do escoamento superficial é reduzida. Associadas às partículas de solo em suspensão, ocorre também o transporte de compostos químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que,

em muitos casos, contribuem significativamente para a poluição dos cursos d'água.

## 6.2 APLICAÇÕES E IMPORTÂNCIA

São diversas as aplicações da avaliação e quantificação do escoamento superficial, dentre os quais se pode citar:

- elaboração de projetos de conservação (controle da erosão);
- elaboração de projetos para irrigação por inundação;
- elaboração de projetos de estruturas de reservação de água (barragens);
- elaboração de projetos de drenagem agrícola (retirada do excedente de água).

Os projetos relacionados à retirada de volumes excedentes de água provenientes de chuvas em um determinado local adquirem, em certos casos, grande importância. Observe, por exemplo, os noticiários relativos ao efeito de chuvas de longa duração e intensidade sobre cidades brasileiras, como São Paulo. É bastante comum a ocorrência de inundações em áreas residenciais, rodovias e locais públicos. Isto é decorrência da falta de estruturas em quantidade ou dimensões suficientes para receber e conduzir a vazão excedente de forma a evitar inundações. Tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, estas ocorrências são consideradas desastres, pois provocam perdas significativas de vidas e bens.

Vejamos a notícia abaixo, publicada em 09/05/2009 no site http://gazetaonline.globo.com/\_conteudo/2009/05/85686-chuvas+ja+causaram+44+mortes+em+oito+estados.html

#### Chuvas já causaram 44 mortes em oito estados

09/05/2009 - 09h26

#### Casas inundadas em Sobral, no Ceará

Os desastres provocados por fortes chuvas e enchentes que atingem o país já deixaram 126.376 pessoas desabrigadas, aquelas que tiveram de deixar suas casas e dependem de abrigos públicos, e 57.249 desalojadas, ou seja, estão hospedadas com amigos ou familiares. Os números foram divulgados, nesta sexta-feira (8), pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (Sedec).

Segundo a Sedec, 44 pessoas morreram por causa dos desastres em oito estados: Ceará (12), Maranhão (9), Paraíba (2), Pernambuco (1), Bahia (7), Alagoas (4), Amazonas (8) e Santa Catarina (1). As informações foram enviadas à Sedec pelas defesas civis estaduais.

Cruz Vermelha quer ajuda para enviar donativos para vítimas das cheias Após 14 dias, rodovia destruída pela chuva no Maranhão é liberada Após chuvas, BR-316 é liberada parcialmente no MA Sobe para 72 total de cidades atingidas por chuva no CE Helicóptero leva medicamentos às vítimas da chuva no Maranhão Vai a sete total de mortes provocadas pelas chuvas na BA Central do Piauí arrecada doações para afetados por chuva.

Os danos causados pelo excesso de chuva atingiram 320 municípios em 11 estados: Ceará, Maranhão, Piauí, Paraíba, Rio Grande do Norte, Bahia, Alagoas, Amazonas, Pará, Pernambuco e Santa Catarina. Nesses estados, 911.469 pessoas foram afetadas.

No Nordeste, o Ceará, atualmente, é o estado que tem o maior número de municípios atingidos (72), seguidos pelo Maranhão (68), Piauí (37), Paraíba (22), Rio Grande do Norte (15), Bahia (11), Pernambuco (7) e Alagoas (3). São 235.874 cearenses vitimados de alguma forma pelas enchentes, enxurradas e desabamentos, destes, 43.832 estão desabrigados ou desalojados. No Maranhão, a população afetada chega a 181.590 pessoas, com 34.597 desalojados e 24.246 desabrigados. Na Bahia, são 4.972 desalojados e 1.732 desabrigados. No Piauí e no Rio Grande do Norte, a chuva afetou a vida de 65.695 e 44.808 pessoas, respectivamente.

Na Região Norte, o Amazonas é o estado com o maior número de municípios atingidos, 47, com 46.242 pessoas desalojadas e 10.196 desabrigadas. No Pará são 28 municípios atingidos e 25.985 pessoas afetadas direta ou indiretamente pela chuva.

Em Santa Catarina, os danos causados pela chuva atingiram 10 municípios e uma população de 3.550 pessoas.

A Sedec informou que foram enviados para as vítimas das chuvas cestas de alimentos, material de limpeza e kits de abrigamento. Foram disponibilizadas 129.150 cestas de alimentos, de 23 quilos cada, compostas por arroz, feijão, açúcar, óleo, leite em pó, farinha de mandioca e macarrão. Um total de 1,4 milhão de itens como colchões, cobertores, travesseiros, fronhas, lençóis, filtros, lonas e mosquiteiros foram enviados às regiões onde a chuva fez estragos.

## 6.3 REDE DE DRENAGEM SUPERFICIAL

De acordo com GARCEZ e ALVAREZ (1988), se considerar a situação da água livre (água que escoa livremente pela superfície do terreno), estas seguem sempre as linhas de maior declive, variando no tempo e no espaço. À medida que a chuva perdura, existe um incremento do escoamento, até ser atingido um estado de equilíbrio, a partir do qual a distribuição das diferentes parcelas torna-se constante.

Na fase inicial da precipitação, o escoamento superficial forma uma película laminar que recobre as pequenas depressões do terreno. Com a continuação do processo, a lâmina superficial vai se tornando mais espessa, passando a escoar um volume que representa a diferença entre a precipitação total e os volumes retidos, infiltrados, evaporados e acumulados nas depressões. Essas águas, que não têm ainda um caminho preferencial de escoamento, mas tão somente um sentido de escoamento dado pela linha de maior declive do terreno, são conhecidas como **ÁGUAS LIVRES**. Seu estudo é importante para o conhecimento do processo de erosão: interessa, sobretudo, à agricultura nos problemas ligados à conservação do solo (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

À medida que as águas livres vão fluindo para os pontos mais



#### Veja ainda:

http://180graus.brasilportais.com. br/geral/180graus-foi-as-ruas-e-registrou-os-desastres-apos-as-forteschuvas-195233.html

#### Acesse o site:

http://www.geographyatthemovies. co.uk/Rivers.html

#### E assista aos vídeos:

Bangladesh Flooding

Boscastle Flood

Effects of flooding

**Doncaster Floods** 

Pesquise outros vídeos e elabore seu comentário.

baixos do terreno, elas passam a escoar em conjunto pelos pequenos canais que formam a microrrede de drenagem. O processo erosivo natural se encarrega de ir aumentando as dimensões dos pequenos canais que forma esta rede, demarcando, assim, a rede preferencial de escoamento da água.

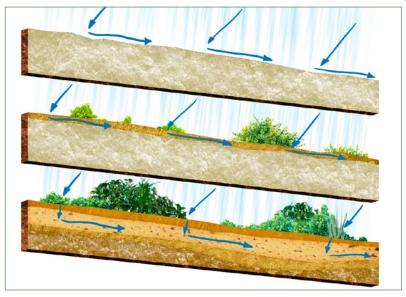
Estes pequenos canais deságuam em canais de maiores dimensões (largura e profundidade), formando os cursos d'água que apresentam regime perene devido a contribuição das chuvas e dos aqüíferos. Constitui-se, dessa forma, a rede de drenagem propriamente dita – compreendendo os formadores, subafluentes e afluentes do curso de água principal. Essa rede de drenagem encaminha as águas para seu destino final.

# 6.4 COMPONENTES DO ESCOAMENTO DOS CURSOS D'ÁGUA

De acordo com PINTO et al. (1976), as águas provenientes das chuvas atingem o leito do curso de água por quatro vias diversas:

- escoamento superficial;
- escoamento subsuperficial (hipodérmico);
- escoamento subterrâneo;
- precipitação direta sobre a superfície livre.

A Figura 6.3 indica esquematicamente o andamento do fenômeno. Observa-se que o escoamento superficial começa algum tempo após o início da precipitação. O intervalo de tempo decorrido corresponde à ação de intercepção pelos vegetais e obstáculos, à saturação do solo e à acumulação nas depressões do terreno.



**Figura 6.3** – Elementos componentes do escoamento dos cursos d´água (adaptado de PINTO et al., 1976).

Conforme se observa pelo gráfico da Figura 6.3, a intercepção e a acumulação tendem a reduzir-se no tempo e a infiltração tende à constância. Já o escoamento que ocorre nas camadas superiores do solo é difícil de ser separado do escoamento superficial. O escoamento subterrâneo dá uma contribuição que varia lentamente com o tempo e é o responsável pela alimentação do curso de água durante a estiagem. Já a contribuição do escoamento superficial cresce com o tempo até atingir um valor sensivelmente constante, à medida que a precipitação prossegue. Cessada esta, ele vai diminuindo até anular-se.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 2ª Ed. 1988.

PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia básica**. São Paulo, Edgard Blücher/MEC. 1976.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa, UFV, 2003.

# capítulo 7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

## **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas à evapotranspiração e seus processos integrantes;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica, relacionada avaliação da evapotranspiração no meio agrícola;
- incentivar a construção de uma posição conceitual, voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

# 7.1 INTRODUÇÃO

Chama-se de evapotranspiração à transferência de água na forma de vapor d´água, do sistema solo-planta para a atmosfera. Este fluxo é normalmente medido em mm/dia. De acordo com REICHARDT (1990), em regiões tropicais com alta disponibilidade hídrica, este fluxo pode chegar a 10 mm/dia em dias ensolarados com baixa umidade relativa do ar e vento razoável. Em dias nublados, a umidade relativa do ar é alta e o fluxo se reduz. A perda de água pelo processo conhecido como evapotranspiração é a soma das perdas por evaporação (principalmente pela superfície do solo) e as perdas por transpiração (saída de água na forma de vapor d´água através dos estômatos).

## Você sabe o que são ESTÔMATOS?

Estômatos são pequenas estruturas epidérmicas existentes principalmente nas folhas, mas podem ser encontrados em frutos, flores e caules jovens. Os estômatos são formados por duas células estomáticas (células guardas), que delimitam uma fenda (ostíolo), duas ou mais células anexas (acessórias ou subsidiárias) adjacentes e uma câmara subestomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares. Através dos estômatos, há uma comunicação direta do interior da planta com o ambiente

O número de estômatos nas folhas varia entre 1000 e 100.000 por centímetro quadrado (em cactáceas e em algumas plantas decíduas, respectivamente).

O tamanho médio dos estômatos varia de 3 a 12  $\mu$ m de largura por 7 a 40  $\mu$ m de comprimento e quando abertos 100  $\mu$ m quadrados de área. Os estômatos ocupam, em uma folha, cerca de 1 a 2% da área foliar total.

Fonte: SANTOS (2009) – Extraído na íntegra de http://www.joinville.udesc. br/sbs/professores/arlindo/materiais/TEXTO\_24\_Estomatos\_2005.pdf

# SAIBA MAIS

### Veja agora imagens dos estômatos:

http://www.joinville.udesc.br/sbs/ professores/arlindo/materiais/ TEXTO\_24\_Estomatos\_2005.pdf

http://www.infoescola.com/biologia/transpiracao/ Em se tratando de plantas cultivadas, é desejável a maximização do processo de transpiração e a minimização do processo de evaporação. Isto porque o incremento do processo de transpiração é diretamente relacionado ao incremento de produção de matéria vegetal. Trata-se de um processo desejável e importantíssimo na produção vegetal. Quando ocorrem "períodos de seca", também chamados de períodos de deficiência hídrica, o processo de transpiração das plantas é desacelerado. Isto se reflete na produção final do cultivo agrícola. Já o processo de evaporação implica perdas de água para atmosfera que não são relacionadas à produção da cultura. Sendo assim, a evaporação é um processo a ser evitado.

Portanto, podemos afirmar que:

# EM ÁREAS CULTIVADAS, A REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO SIGNIFICA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA.

Exemplos de tecnologias empregadas para auxiliar:

- a utilização de cobertura vegetal no solo é uma prática cultural que reduz o processo de evaporação quando comparado ao solo desnudo;
- as técnicas de irrigação classificadas como irrigação localizada também tem por objetivo aplicar água em quantidade suficiente para suprir a transpiração da planta, reduzindo o desperdício com a evaporação.

## Saiba um pouco mais sobre irrigação localizada

Na irrigação localizada, a água é aplicada no vegetal através de peças denominadas gotejadores, que tem por objetivo aplicar a água na região próxima ao sistema radicular da planta. Este procedimento minimiza as perdas por evaporação, pois "economiza" a água que seria aplicada entre linhas e entre plantas em outros sistemas de irrigação, tais como os sistemas de aspersão.

## 7.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA E REAL

De acordo com MATZENAUER (1992), o conhecimento da evapotranspiração máxima (consumo de água em condições de ótima disponibilidade de água no solo) das plantas cultivadas durante seu ciclo, assim como nos diferentes períodos de desenvolvimento, é fundamental para o planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. No caso de cultivos não irrigados, essa informação também é útil na adoção de práticas culturais que permitam o melhor aproveitamento das disponibilidades hídricas naturais de cada região, especialmente o ajustamento de épocas de semeadura, de modo que os períodos críticos das plantas em relação à

# SAIBA MAIS

## Veja imagens e mais alguns detalhes sobre a irrigação localizada:

http://www.netafim.com.br/626/ http://casa.hsw.uol.com.br/irrigacao3. htm

http://www.cnph.embrapa.br/public/folders/tomate.html

http://www.abbabatatabrasileira.com. br/revista03\_018.htm

http://www.agrovisao.com/det. asp?id=004 água não coincidam com períodos de menor disponibilidade de água no solo.

Muitos autores consideram a **evapotranspiração** como a **necessidade hídrica** ou **consumo de água da cultura**. Isto é verdadeiro se considerarmos desprezíveis as quantidades de água utilizadas nas atividades metabólicas o que, de acordo com ROSENBERG (1974), é aproximadamente 1% da água absorvida pela planta.

O processo de evapotranspiração é influenciado por vários fatores, entre os quais deve-se destacar o teor de umidade do solo e a demanda evaporativa da atmosfera. Se considerarmos o teor de umidade no solo, vão existir ocasiões, como por exemplo, após uma chuva de média a longa duração, em que o suprimento de água disponível para o sistema radicular é máximo. Nestes casos, o processo de translocação de água desde o solo até a atmosfera através da planta é regido pela demanda evaporativa da atmosfera e a planta transpirará o que seu potencial genético permite. Diz-se então que ocorre a evapotranspiração máxima para a cultura.

À medida que a planta transpira e ocorre evaporação pela superfície, o suprimento de água do solo vai sofrendo uma proporcional redução. Simultaneamente, as plantas apresentam cada vez mais dificuldade em extrair água porque com a redução da umidade, a água remanescente fica cada vez mais fortemente retida nos insterstícios do solo. Esta dificuldade de extração crescente reflete-se no processo de transpiração da planta que, paulatinamente, também sofre redução. Essa desaceleração, dependendo da intensidade e duração do déficit, pode conduzir as plantas a uma redução significativa da produção. Sendo assim, ao longo da ocorrência de déficit hídrico, a evapotranspiração das plantas é menor que a evapotranspiração máxima. Por isso, é chamada de **evapotranspiração real**.

# 7.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

De acordo com BERNARDO (1989), existem várias formas de determinar a evapotranspiração, sendo que a maioria delas estima a evapotranspiração máxima ( $\mathrm{ET}_{\mathrm{máx}}$ ), ou seja, a evapotranspiração que ocorre quando não há deficiência de água no solo que limite seu uso pelas plantas. No entanto, este autor ressalta que a  $\mathrm{ET}_{\mathrm{máx}}$  varia de cultura para cultura. Assim, verificou-se a necessidade de definir a evapotranspiração máxima de uma cultura de referência. Este valor foi chamado de evapotranpiração de referência (ETo) e foi relacionada com os demais cultivos agrícolas.

Pode-se, portanto, definir evapotranspiração de referência como "a evapotranspiração de uma superfície extensiva, totalmente coberta com grama de tamanho uniforme, com 8 a 15 cm de altura e em fase de crescimento ativo, em um solo com ótimas condições de umidade."

**Observação**: Normalmente, utiliza-se a gramínea *Paspalum no-tatum*, também conhecida com grama batatais para a ETo.

A relação entre a  $ET_{máx}$  de uma determinada cultura e a evapotranspiração de referência (ETo) pode ser expressa através da seguinte equação:

$$ET_{máx} = Kc \times ETo$$

Em que **Kc** é o COEFICIENTE DE CULTURA, também chamado de coeficiente cultural.

# Você tem idéia de quanta água as culturas agrícolas necessitam?

Na Tabela 7.1 são apresentados os valores de consumo de água de algumas culturas agrícolas.

CULTURA	CONSUMO DE ÁGUA NO CICLO (MM)
Cana de açúcar	1000 – 2000
Feijão	300 – 600
Milho	400 – 800
Soja	400 – 800
Sorgo	300 – 600
Algodão	550 – 1100
Batata	350 – 700

**Tabela 7.1** – Água necessária para o ciclo de algumas espécies cultivadas (Fonte: BERNARDO, 1989)

# 7.4 MEDIDA DA EVAPORAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS ÁGUAS

A medida da evaporação das águas, de acordo com PINTO et al. (1976), pode ser realizada com o auxílio de evaporímetros, que dão as indicações referentes a pequenas superfícies de água calma. São recepientes achatados, em forma de bandeja, de seção quadrada ou circular, com água no seu interior e instalados sobre o solo nas proximidades da massa de água cuja intensidade de evaporação se quer medir ou sobre a própria massa de água (medidores flutuantes).

No local onde se fazem as medidas com evaporímetros, deve-se instalar equipamentos próprios para medida das grandezas intervenientes no fenômeno tais como temperatura, vento e umidade relativa do ar. Além disso, para correções nas leituras do evaporímetro, em conseqüência de chuvas, recomenda-se a instalação de um pluviômetro também.

Como exemplos de evaporímetros mais utilizados, pode-se destacar o Tanque Classe "A" e o Tanque Colorado, sendo o primei-

#### d GLOSSÁRIO

Coeficiente de cultura: Os valores de coeficiente de cultura têm variação em função da cultura e do estádio de desenvolvimento. Foram inicialmente apresentados em tabelas por Doorenbos e Pruitt (1977) e descritos para diferentes culturas por Doorenbos e Kassam (1994). Esses valores foram baseados em pesquisas desenvolvidas em diferentes regiões onde existiam trabalhos e atuação da FAO (Food and Agriculture Organization), que é a entidade responsável por avaliações na área agrícola para a ONU (Organização das Nações Unidas). No entanto, sabe-se que os valores de Kc variam de acordo com as condições clima e solo do local, bem como com a cultivar ou variedade empregada.



### **Leituras Complementares**

Acesse os sites abaixo e leia os artig níveis sobre coeficientes culturais ou, ainda, acesse o portal Google e digite como palavras-chave coeficiente cultural Kc.

http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/XIVCBA/CBAgro2005\_7.pdf

http://www.propg.ufscar.br/ publica/4jc/ixcic/PIBIC/495-oliveira. htm

http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/ v11n5/v11n05a04.pdf

http://www.agriambi.com.br/revista/ v3n2/173.pdf ro bastante conhecido e de uso difundido no Brasil.

Na Figura 7.1, são apresentadas imagens do Tanque Classe "A". Pode-se observar que este tipo de medidor é instalado sobre o terreno em pequenas vigas de madeira, permitindo que o fundo do aparelho fique a 15 cm acima do solo. Suas dimensões são 1,2115 m de diâmetro e 0,254m de altura. O nível da água é mantido geralmente a 5 cm da borda. Normalmente, é construído em inox ou aço galvanizado e possui um poço tranqüilizador de 25 cm de altura com 10 cm de diâmetro, onde é instalado um parafuso micrométrico de gancho com capacidade de medir variações de 0,01mm. Nas Figuras 7.2 e 7.3, pode-se observar os detalhes do poço tranqüilizador e do parafuso micrométrico.



Figura 7.1 – Tanque Classe "A"



Figura 7.2 – Poço tranqüilizador



Figura 7.3 – Parafuso micrométrico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. Viçosa, UFV, 1989.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande, FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water water requirements**. 2 ed. Roma, FAO, 1977 (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).
- MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre, UFRGS, 1992.
- PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia básica**. São Paulo, Edgard Blücher/MEC, 1976.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, Manole, 1990.
- ROSENBERG, N. **Microclimate: the biological environment**. Nova lorque, J.Wisley, 1974.

# capítulo 8 HIDROMETRIA

### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas à hidrometria de condutos forçados e de canais abertos;
- induzir o acadêmico à pesquisa bibliográfica relacionada à estimativa de vazão no meio agrícola;
- incentivar a construção de uma posição conceitual voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

# 8.1 INTRODUÇÃO

Ao considerar o uso eficiente da água, um elemento muito importante é a quantificação do seu uso. Medir a vazão de um canal, um conduto ou um sistema de abastecimento é o primeiro passo para o estabelecimento de metas de redução do consumo. Um exemplo típico disso é a existência do medidor de vazão doméstico (hidrômetro), que é instalado para fins de cobrança nas residências e estabelecimentos das cidades. O hidrômetro é uma das formas existentes de medida de vazão. No entanto, existem muitas outras e estes procedimentos serão estudados neste capítulo de hidrometria.

Quando pensamos em medida de vazão, é importante destacar as formas existentes para condução de água que, hidraulicamente, são duas:

- Condutos forçados
- CANAIS ABERTOS

Nos condutos forçados, a seção transversal do conduto é totalmente preenchida com água e sob pressão. São muito utilizados em sistemas onde é necessário conduzir água de um ponto mais baixo até um ponto mais alto, com auxílio de um sistema de bombeamento. Em geral, os condutos forçados têm formato circular e os materiais mais comuns na área agrícola são PVC e aço galvanizado.



Nos canais abertos, a água se movimenta sempre em função da diferença de nível existente entre dois pontos (do mais elevado até o mais baixo). Na Figura 8.1, é apresentada uma representação esquemática de condução em canais. Observe que mesmo com tubulação fechada pode haver escoamento do tipo canal aberto quando a seção transversal é parcialmente preenchida com água e o movimento se dá por gravidade (diferença de nível).

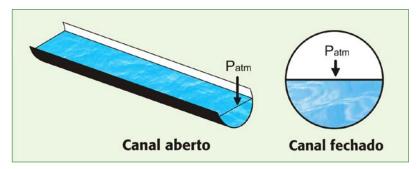


Figura 8.1 – Detalhe do escoamento em canais.

Os canais abertos podem ser naturais ou construídos. Os canais abertos naturais são os cursos d´água. A seção transversal é irregular, determinada por vários fatores tais como velocidade da água, sedimentos transportados e relevo do local, por onde ocorre o escoamento. Já os canais construídos apresentam formato geométrico. O formato geométrico recomendado para canais de terra é o formato trapezoidal. Caso o canal seja revestido por concreto, por exemplo, pode-se utilizar o formato retangular. Em canais utilizados para irrigação por sulcos, o formato comum é o triangular. Na Figura 8.2, são apresentadas as principais seções transversais de canais, utilizados na área de hidráulica agrícola.

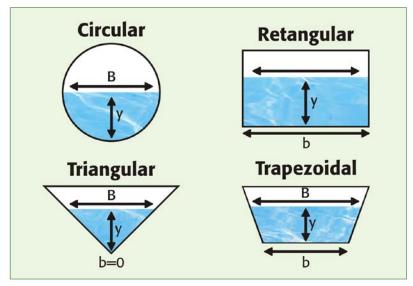


Figura 8.2 – Seções transversais de canais construídos.

## 8.2 CANAIS ABERTOS

No meio rural, como já foi dito anteriormente, os canais mais comuns são os canais de terra. Isso se deve a vários fatores, entre os quais pode-se destacar o custo para sua construção. No entanto, a eficiência de condução observada nestes casos pode sofrer expressivas reduções em função das perdas que ocorrem por infiltração e por evaporação.

#### IMPORTANTE

Como se calcula a eficiência de condução de um canal? A eficiência de condução (Ec) é dada pela seguinte expressão:

$$Ec_{\%} = \frac{Vol_{final}}{Vol_{inicial}} \times 100$$

Em que:

Vol<sub>final</sub> é o volume de água que atinge o final do canal;

 $\operatorname{Vol}_{\operatorname{inicial}}$  é o volume de água que entra no canal;

Ec é a eficiência de condução (expressa em %).

Observemos que, se o Volfinal for igual ao Volinicial, a Ec será de 100%, isto é, não existem perdas de água ao longo do canal. À medida que ocorrem perdas, o valor de Volfinal se reduz e a Ec também.

Uma das formas de reduzir as perdas em canais, através do processo de infiltração, é aplicar um revestimento. Na Figura 8.3, é apresentada uma imagem de um canal sendo revestido em concreto. Este procedimento é bastante efetivo no sentido de reduzir estas perdas. Sua principal desvantagem encontra-se no fato de ser extremamente oneroso. Em áreas áridas e semi-áridas, como é o caso do Nordeste Brasileiro, faz-se necessário o revestimento, porque o solo é altamente permeável e as perdas por evaporação já são significativas, de forma que, em muitos desses locais, não é viável a construção sem revestimento.



Figura 8.3 – Revestimento de um canal aberto de terra.

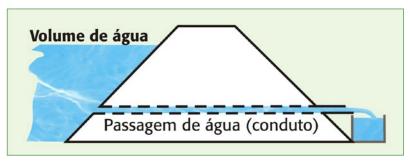
Existem diversos procedimentos para determinação da vazão em canais abertos, sejam eles construídos ou naturais. Estes pro-

cedimentos diferem bastante em função das dimensões do canal, do volume de água que escoa na unidade de tempo e dos recursos disponíveis para medição. A seguir, serão apresentados alguns procedimentos, mas a literatura é vasta neste assunto, disponibilizando ao leitor interessado muitas outras metodologias que aqui não são citadas.

# 8.2.1 Medição Direta

Este processo é a metodologia mais simples de medida da vazão. Sua restrição está na aplicabilidade que se restringe a pequenos regatos. O procedimento deve seguir as seguintes etapas:

a) Construa um dique no curso d´água, instalando neste dique uma tubulação de descarga conforme a Figura 8.4.



**Figura 8.4** – Representação esquemática de um dique para medida de vazão pelo método direto.

Observe que a descarga da tubulação inserida no dique é colocada em um recipiente. É importante conhecer o volume de água necessário para o enchimento deste recipiente (Quantos litros são necessários para encher o recipiente?). Para conhecer este valor, pegue um recipiente menor (uma garrafa pet de 2 litros, por exemplo) e encha o reservatório contabilizando o volume.

- b) Simultaneamente, isto é, ao mesmo tempo, coloque o reservatório embaixo da tubulação de descarga e marque com um cronômetro o tempo necessário para encher o reservatório.
  - c) Aplique a seguinte fórmula para determinar a vazão:

$$Q = \frac{Volume}{tempo}$$

Em que:

Volume é o volume do reservatório (litros);

**Tempo** é o tempo necessário para enchimento do reservatório (segundos);

**Q** é a vazão ou descarga do curso d´água (litros/segundo).

#### **EXEMPLO**

Foi construído um dique em um regato para determinação da vazão. O volume do recipiente foi determinado pelo produtor e é de 50 litros. O tempo de enchimento deste reservatório foi de 83 segundos.

# Qual a vazão deste córrego?

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} = \frac{50}{83} = 0.60 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}}$$

## 8.2.2 Método do Flutuador

O método do flutuador é baseado na equação da continuidade, também conhecida com equação de Castelli ou conservação de massa. Esta equação pode ser expressa através da seguinte expressão:

$$Q = A \times V$$

Em que:

 ${\bf Q}$  é a vazão que escoa em uma determinada seção do curso d´água.

 ${\bf A}$  é a área da seção transversal por onde ocorre o escoamento (m²);

V é a velocidade da água na seção (m/s).

Sendo assim, para utilizar este método, são necessários dois elementos: a **área da seção transversal** e a **velocidade de escoamento**.

# Área da seção transversal

A área da seção transversal, em canais construídos com seções geométricas conhecidas, pode ser calculada através de fórmulas apresentadas em livros de hidrometria e de hidráulica. Em canais trapezoidais, a área da seção transversal é dada pela seguinte expressão:

$$A = by + my^2$$

onde:

**b** é a largura do fundo do canal (metros);

y é a altura da lâmina de água no canal (metros);

**m** é a inclinação dos taludes do canal.

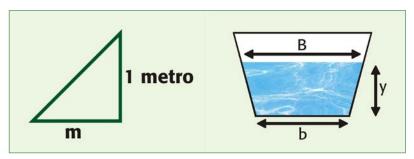


Figura 8.5 – Representação esquemática para determinação da inclinação do talude de um canal trapezoidal, sua largura de fundo (b) e sua altura de lâmina de água (y).

Para o caso de cursos de água naturais, é necessário construir o perfil da seção para determinar a área. Imagine uma seção irregular, como é o caso da seção de um curso d´água. Vamos transformar esta seção irregular em um conjunto de formas geométricas conhecidas para conseguirmos calcular sua área.

## DE QUE FORMA?

Se o curso d´água não for muito profundo e nem muito extenso, vamos precisar de uma trena e uma régua para o procedimento que poderá ser feito entre duas pessoas. Uma permanece na margem e a outra irá percorrer toda a seção do curso d´água, medindo a profundidade e a distância da margem. Veja a representação esquemática apresentada na Figura 8.6.



**Figura 8.6** – Representação esquemática das medidas de distância e profundidade no perfil transversal de um curso d´água.

Uma pergunta que surge é: Qual o espaçamento entre medidas que se deve tomar? FILL (1987) sugere as distâncias entre as verticais, isto é, o espaçamento de acordo com a largura do rio, seguindo recomendação dada na Tabela 8.1.



Observe a Figura 8.5. Para cada metro de altura existem "m" metros de largura na inclinação do canal. Por exemplo, vamos supor que o nosso talude seja 1:3. Isto significa que a cada metro de altura, a largura é equivalente a 3 metros.

LARGURA DO RIO (M)	DISTÂNCIA ENTRE AS VERTICAIS (M)				
≤ 3,0	0,30				
3,0 – 6,0	0,50				
6,0 – 15,0	1,00				
15,0 – 50,0	2,00				

TABELA 8.1 – Distância recomendada entre as verticais (adaptado de FILL, 1987).

Depois de determinadas as verticais, calcula-se a média aritmética destes valores e multiplica-se pela largura do rio através da seguinte fórmula:

Área da seção transversal (m²) = Média das verticais (m) × largura rio

#### **IMPORTANTE**

# Você sabe como calcular uma média aritmética de um conjunto de dados?

É simples. Basta fazer a soma dos valores e dividir pelo número de dados do conjunto.

Por exemplo:

Vamos supor que o João tirou as seguintes notas no colégio:

1ª Nota - 6,5

2ª Nota - 7,5

3ª Nota - 7,0

4<sup>a</sup> Nota – 8,5

Para calcularmos a média aritmética destes valores, devemos fazer a soma deles e dividir por 4 (porque o conjunto é composto de 4 dados). Então teremos:

Média aritmética = 
$$\frac{6.5 + 7.5 + 7.0 + 8.5}{4}$$
 = 7,375

#### EXERCÍCIO

Consulte o ambiente ou entre em contato com o seu professor ou tutor para saber mais detalhes sobre as **atividades** referentes aos assuntos vistos até aqui.

# Velocidade de escoamento da água

Para determinar a velocidade da água através do método do flutuador, devemos determinar dois pontos deste trecho, medindo a distância entre eles. A distância será usada para medir a velocidade do escoamento, marcando o tempo necessário para o deslocamento do flutuador. Este flutuador pode ser uma garrafa PET, que deverá ser lançada no ponto central da seção transversal.

Na Figura 8.7, é apresentada uma representação esquemática do método do flutuador.

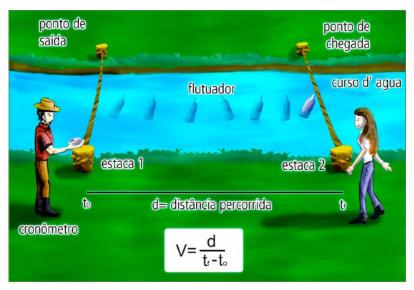


Figura 8.7 – Representação esquemática do método do flutuador.

Os tempos gastos pelo flutuador para atravessar a distância entre os pontos extremos devem ser anotados, fazendo-se a média de cinco repetições do tempo de deslocamento do flutuador.

A velocidade será dada pela seguinte expressão:

## **EXEMPLO**

Para determinar a vazão do córrego, fez-se a determinação da área de seção transversal no ponto central entre as estacas que são distantes entre si 20 metros. Verificou-se uma área de 5,5 m². Largou-se o flutuador no ponto 1 cinco vezes e cronometrou-se os tempos para atingir o ponto 2. As medidas de tempo registradas foram:

- 10 s
- 11 s
- 9 s
- 8 s
- 12 s

Calcule a vazão deste curso d'água.

**Passo 1**: Cálculo da média dos tempos de deslocamento do flutuador (MTF):

MTF = 
$$\frac{10+11+9+8+12}{5}$$
 = 10 segundos

Passo 2: Cálculo da velocidade da água (V) no curso d´água:

Velocidade = 
$$\frac{\text{distância (m)}}{\text{Tempo (s)}} = \frac{20 \text{ metros}}{10 \text{ segundos}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

No exemplo, a distância entre as estacas é de 20m

Passo 3: Cálculo da vazão (Q) do curso d'água:

$$Q = \text{Área} (m^2) \times \text{Velocidade} (m/s) = 5.5 \times 2 = 11 \text{ m}^3/s$$

Portanto, a vazão deste curso d´água é de 11 m3/s.

E se quiséssemos transformar esta vazão em litros/segundo? É simples:

# 1 M3 EQUIVALE A 1000 LITROS

Portanto

11  $m^3/s \times 1000 \text{ litros/m}^3 = 11000 \text{ litros/segundo}$ 

## 8.2.3 Método do molinete

O método do molinete, assim como o método do flutuador, é baseado na equação da continuidade. Sua diferença encontra-se na forma de determinar a velocidade da água. Neste caso, utiliza-se um instrumento específico para determinar a velocidade da água, chamado de MOLINETE. Este instrumento assemelha-se a um catavento, apresentando hélices que giram com a menor ou maior velocidade do fluxo de água no ponto onde ele é instalado. Na Figura 8.7, é apresentada a imagem de um molinete.

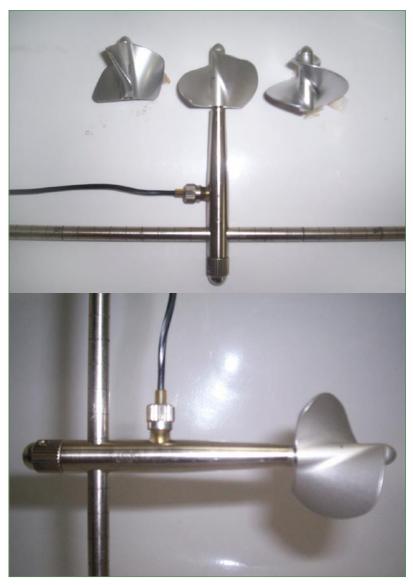


Figura 8.7 – Molinete hidrométrico.

As hélices dos molinetes são ligadas em um eixo de rotação que aciona, por meio de uma rosca sem fim, através de uma engrenagem, o comando de um contato elétrico que, por sua vez, aciona um contador de revoluções. Os mancais do molinete trabalham em um banho de óleo e é muito importante usar nas medições o mesmo óleo utilizado na calibração do equipamento. Normalmente, este instrumento é vendido com um certificado de calibragem, no qual consta a fórmula a usar no cálculo da velocidade a partir do número de rotações por segundo (FILL, 1987). Essa relação é tipicamente linear, do tipo:

 $V = a \times n + b$ 

# SAIBA MAIS

No endereço abaixo você encontrará um artigo que apresenta detalhes das medidas a serem feitas com o molinete hidrométrico para fins de determinação da vazão fluvial.

http://www.ufrgs.br/lageo\_geodesia/iisapqu/CorrealCS.pdf

# onde:

- **V** é a velocidade da água no ponto (m/s);
- n é o número de rotações por segundo;
- ${\bf a}$  e  ${\bf b}$  são coeficientes de calibração do equipamento e normalmente fornecidos pelo fabricante.

Acoplado ao molinete propriamente dito, temos também um registrador, no qual são feitas as leituras das rotações. Na Figura 8.8, é apresentado o detalhe de um registrador.



Figura 8.8 – Registrador de molinete hidrométrico.

Via de regra, os molinetes possuem um intervalo de velocidades para o qual funcionam adequadamente. Por essa razão, muitas empresas fabricantes comercializam o equipamento com várias hélices de forma que, com sua troca, ampliem o intervalo de velocidades que podem ser medidas.

# E onde devemos instalar o molinete?

A velocidade da água não é idêntica em toda seção transversal do curso d'água. Nos pontos mais próximos do fundo do rio e de suas margens, a velocidade gradativamente sofre uma redução. Próximo da superfície, isto também se verifica. Portanto, é recomendável a realização de mais de uma leitura.

## Cuidados na medição:

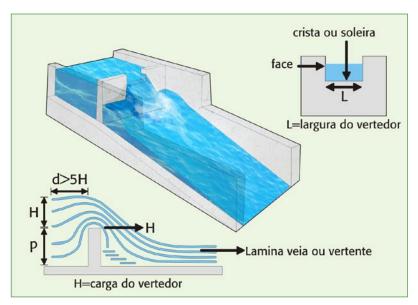
- nunca utilizar o molinete com limites de velocidade para os quais ele não foi aferido. Neste caso, deve-se substituir as hélices ou, no caso de velocidades muito pequenas, utilizar os micromolinetes;
- se necessário, calibrar o molinete. A calibração é feita em um canal próprio com velocidade constante e conhecida. O equipamento é preso sobre uma ponte. No Rio Grande do Sul, este serviço é oferecido pelo IPH.
- o número de rotações em cada ponto de medida deve ser superior a 20, pois, para um número menor de giros, o erro de uma rotação no registro resultará superior a 5%.

## 8.2.4 Método do vertedor

Um vertedor nada mais é do que uma passagem, colocada no alto de um anteparo artificial, equivalendo a um orifício sem borda superior, por onde a água escoa livremente.

Os vertedores são largamente utilizados na medição de águas correntes, dando um valor bem próximo da realidade, se convenientemente empregados.

Na Figura 8.9, é apresentada uma imagem de um vertedor e seus elementos característicos.



**Figura 8.9** – Representação esquemática de um vertedor com identificação da crista, bordas verticais e carga hidráulica.

# az GLOSSÁRIO

**Crista ou Soleira**: borda horizontal **Bordas verticais**: constituem as faces do vertedor.

Carga hidráulica H do vertedor é a altura atingida pela água, a contar da cota da soleira do vertedor.

## Tipos de vertedores

Os vertedores podem ser classificados quanto à forma da secção de escoamento da água em simples (retangulares, trapezoidais, triangulares, etc.) e compostas (muito pouco utilizadas na prática); quanto à altura da soleira em relação a altura da lâmina de água, a jusante em vertedores livres ou completos e vertedores afogados ou incompletos (devem ser evitados na prática); quanto à espessura da sua parede, em vertedores de parede delgada (são utilizados para a medição de vazão) e vertedores em parede espessa (espessura da parede do vertedor maior do que 0,66H); e quanto à largura da soleira em vertedores sem contração lateral e vertedores com contração lateral.

# Cuidados na instalação do vertedor

O vertedor deve ser instalado de modo que a sua soleira fique nivelada e perpendicular à corrente de água.

A distância da crista ao fundo e aos lados do canal deve ser igual a 2 ou 3H e, no mínimo, 20 a 30 cm.

A carga hidráulica deve ser maior que 5 cm e o comprimento da soleira deve ser, no mínimo, igual a 3H.

Convém que haja um trecho retilíneo a montante do vertedor e o nível de jusante não deve estar próximo da crista, para não afogar o medidor.

# Como fazer a medição da medição da carga h

A carga hidráulica, que não deve ser maior que 60 cm, deverá ser medida a uma distância de 5H, para não ser influenciada pelo abaixamento da superfície da lâmina de água e, se possível, deve-se medi-la num poço lateral para não haver influência das ondas da superfície da água.

# Cálculo da vazão utilizando vertedores triangulares

Dentre os vários tipos de vertedores triangulares, será considerado um tipo especial com área da secção de escoamento em formato de triângulo isósceles com faces inclinadas de 45° e abertura de 90°, conhecido como vertedor de Thompson.

O cálculo da vazão em um vertedor triangular isósceles de 90° é feito medindo-se a carga hidráulica H e o uso da tabela a seguir.

De uma maneira geral, a medição de vazão com o uso de vertedores triangulares não é recomendada para vazões maiores do que 300 l/s.

Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S))	Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)
3	0,22	10	4,43	17	16,68	24	39,51	32	81,10
4	0,45	11	5,62	18	19,24	25	43,75	35	101,46
5	0,78	12	6,98	19	22,03	26	48,26	40	141,67
6	1,23	13	8,53	20	25,04	27	53,03	45	190,18
7	1,81	14	10,27	21	28,29	28	58,08	50	247,49
8	2,53	15	12,20	22	31,78	29	63,40	55	314,08
9	3,40	16	14,34	23	35,52	30	69,01	60	390,40

**Tabela 8.2** – Valores da vazão Q (l/s) em vertedores triangulares isósceles de 90° em relação à carga hidráulica H (cm).

#### **EXEMPLO**

Em uma medição de vazão de um canal de irrigação, foi utilizado um vertedor triangular isósceles de 90°e a carga hidráulica medida foi de 14 cm. Determine a vazão correspondente.

Solução:

Com o auxílio da tabela anterior, pode-se ver que, para uma carga hidráulica de 14 cm, temos uma vazão de 10,27 litros/s.

Cálculo da vazão utilizando vertedores retangulares

Dentre os vários tipos de vertedores retangulares será considerado
um tipo padrão (com duas contrações laterais).

O cálculo da vazão em um vertedor retangular padrão medindo-se a carga hidráulica H e o uso da Tabela 8.3, a seguir.

H(CM)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)	H(CM)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)
5	20,34	17	124,45	29	270,39	41	442,96	53	634,01
6	26,69	18	135,31	30	283,89	42	458,26	54	650,58
7	33,56	19	146,44	31	297,57	43	473,69	55	667,24
8	40,92	20	157,82	32	311,42	44	489,24	56	683,98
9	48,73	21	169,45	33	325,43	45	504,90	57	700,80
10	56,96	22	181,32	34	339,61	46	520,68	58	717,69
11	65,58	23	193,41	35	353,94	47	536,56	59	734,67
12	74,57	24	205,73	36	368,42	48	552,56	60	751,72
13	83,91	25	218,26	37	383,05	49	568,65	62	786,03
14	93,58	26	231,00	38	397,83	50	584,85	64	820,60
15	103,57	27	243,94	39	412,74	51	601,14	68	890,48
16	113,87	28	257,07	40	427,78	52	617,53	70	925,74

**Tabela 8.3** – Valores da vazão Q (l/s) em vertedores retangulares padrão em relação à carga hidráulica H (cm).

Se a largura da soleira for diferente de 1m (maior ou menor), o resultado obtido na tabela deverá ser multiplicado por um fator de correção, de modo que tenhamos a vazão correta.

O fator do coeficiente de correção C é calculado pela fórmula

$$C = \frac{L - 0.2H}{100 - 0.2H}$$

na qual o valor da largura da soleira **L** deve ser expresso em centímetros.

#### **EXEMPLO**

Em uma medição de vazão de um canal de irrigação, foi utilizado um vertedor retangular padrão. A carga hidráulica medida foi de 23 cm. Determine a vazão correspondente, considerando uma soleira de 1m de largura.

Solução:

Com o auxílio da tabela anterior, pode-se ver que para uma carga hidráulica de 23 cm e uma largura de soleira de 1m temos uma vazão de 193,41 litros/s.

#### **EXEMPLO**

Em uma medição de vazão de um canal de irrigação, foi utilizado um vertedor retangular padrão. A carga hidráulica medida foi de 26 cm. Determine a vazão correspondente considerando uma soleira de 1,2 m de largura.

Solução:

Com o auxílio da tabela anterior, pode-se ver que, para uma carga hidráulica de 26 cm e uma largura de soleira de 1m, temos uma vazão de 231,00 litros/s.

Como a soleira é diferente de 1m, ou seja, neste caso igual a 1,2 m, ou 120 cm de largura, devemos calcular o coeficiente de correção que, neste caso específico, é:

$$C = \frac{120 - 0.2 \times 26}{100 - 0.2 \times 26} = 1.211$$

O valor dado pela tabela deve ser multiplicado pelo fator de correção C, de modo que o resultado correto é 231,00 x 1,211 = 279,74 litros/s.

Cálculo da vazão utilizando vertedores trapezoidais

Dentre os vários tipos de vertedores trapezoidais, vamos considerar apenas um tipo especial conhecido como vertedor Cipoletti. Este tipo de vertedor trapezoidal apresenta as faces inclinadas na relação 1:4 (Horizontal para vertical).

H(CM)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)	Н(СМ)	Q(L/S)
5	20,80	17	130,37	29	290,48	41	488,30	53	717,67
6	27,34	18	142,04	30	305,63	42	506,28	54	738,08
7	34,45	19	154,04	31	321,04	43	524,46	55	758,68
8	42,09	20	166,36	32	336,70	44	542,87	56	779,46
9	50,22	21	179,00	33	352,60	45	561,48	57	800,43
10	58,82	22	191,93	34	368,75	46	580,30	58	821,59
11	67,86	23	205,17	35	385,14	47	599,32	59	842,93
12	77,32	24	218,69	36	401,76	48	618,55	60	864,45
13	87,18	25	232,50	37	418,62	49	637,98	62	908,03
14	97,43	26	246,59	38	435,70	50	657,61	64	952,32
15	108,06	27	260,95	39	453,01	51	677,44	68	1042,98
16	119,04	28	275,58	40	470,55	52	697,46	70	1089,33

Tabela 8.4 – Valores da vazão (l/s) em vertedores Cipoletti em relação a carga hidráulica H (cm) e para uma largura de soleira de 1m.

Se utilizarmos uma soleira diferente de 1 m (maior ou menor), o resultado obtido na Tabela 8.4 deverá ser multiplicado pelo comprimento real da soleira, a fim de se obter a vazão correta.

#### **EXEMPLO**

Em uma medição de vazão de um canal de irrigação, foi utilizado um vertedor trapezoidal do tipo Cipoletti. O comprimento de sua soleira é de 1m e a carga hidráulica medida foi de 32 cm. Determine a vazão correspondente.

Solução:

Com o auxílio da tabela anterior, pode-se ver que, para uma carga hidráulica de 32 cm, temos uma vazão de 336,70 litros/s.

## **EXEMPLO**

Em uma medição de vazão de um canal de irrigação, foi utilizado um vertedor trapezoidal do tipo Cipoletti. O comprimento de sua soleira é de 1, 5m e a carga hidráulica medida foi de 20 cm. Determine a vazão correspondente.

Solução:

Com o auxílio da tabela anterior, pode-se ver que, para uma carga hidráulica de 20 cm, temos uma vazão de 166,36 litros/s. Como a largura do vertedor é de 1, 5m, o valor dado pela tabela deve ser multiplicado pela largura da soleira, de modo que o resultado correto é  $166,36 \times 1,5 = 249,54$  litros/s.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FILL, Heinz Dieter. Informações hidrológicas. In: BARTH, Flávio Terra et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo, Nobel, 1987. 526p.

# capítulo 9

# LEGISLAÇÃO FEDERAL E ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS E IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

#### **OBJETIVOS DESTE CAPÍTULO**

- apresentar informações básicas relativas à legislação de recursos hídricos de forma generalizada e, especificamente, irrigação e drenagem;
- induzir o acadêmico ao estudo e entendimento da legislação brasileira de recursos hídricos e seus usos na área rural;
- incentivar a construção de uma posição conceitual, voltada à conservação ambiental e à proposta de desenvolvimento sustentável.

# 9.1 INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade, o homem reconhece o valor da água como bem imprescindível para sua sobrevivência. Em praticamente todas as civilizações organizadas politicamente, verifica-se o cuidado e a preocupação com este bem. Exemplo disto são: o código Manu (Índia), o Talmud (Judeus) e o Alcoorão (Muçulmanos).

Esta preocupação varia de acordo com a forma de governo dos povos, seus usos, costumes e, evidentemente, o regime pluviométrico da região. Em áreas áridas, onde a água é recurso escasso até mesmo para o ser humano, o rigorismo da legislação tende a ser incrementado. Já em regiões úmidas, outros usos não tão nobres e, por vezes, desperdícios são tolerados pela Instituição Governamental.

O Brasil é um país de colonização européia. Por conseguinte, herdou em sua estrutura político-administrativa os fundamentos legislativos da Europa que, em sua maior parte, segue o Modelo Romano.

O Modelo Romano de gestão das águas adotou estratégias de gestão que, até hoje, são seguidas em grande parte da civilização ocidental. Com relação aos cursos de água superficiais, por exemplo, o Código Romano regulamenta a situação de bens de uso comum do povo, conforme as Institutas de Justiniano.

Após a fundação de Roma, os moradores costumavam retirar a água, para uso próprio, diretamente de cursos de água, de poços e fontes. A partir de 312 a.C., o governo romano iniciou a construção dos aquedutos. O primeiro deles foi o Aqua Appia e seguindo-se a este vieram muitos outros que abasteciam toda a cidade de Roma e redondezas em um sistema que, com o aumento populacional, foi adqui-

rindo, paulatinamente, complexidade. Esta complexidade demandou estudos hidrodinâmicos e construtivos para o seu funcionamento.

Em 97 d.C., foi nomeado Comissário das Águas o patrício Julius Frontinus VI. Este romano deixou um grande legado à área de estudos hidráulicos através de suas notas em "De aquedutu". Nesta obra, verificam-se os rudimentos ou similares procedimentos aos princípios de gestão que hoje são adotados. A água captada era classificada de acordo com o seu uso em:

- (i) Nomine Caesari,
- (ii) Privatis, e,
- (iii) Usus Publici.

Na primeira categoria, encontravam-se as águas destinadas ao Imperador e às adjacências do Palácio. Na segunda categoria (Privatis), encontrava-se a água destinada ao uso da população, pela qual havia cobrança de taxa, de acordo com o volume destinado. Na terceira categoria (Usus Publici), encontra-se a água destinada a prédios da Administração Pública, Regimentos do Exército Romano e Reservas de Emergência.

Os antecedentes legais da gestão de recursos hídricos no Brasil remontam a 1850, quando, ainda sob domínio espanhol, Portugal subscreve as Ordenações Filipinas, uma abrangente legislação que regulava diversos aspectos da sociedade da época e, entre eles, continha dispositivos específicos sobre a gestão da água.

# 9.2 CONDICIONANTES PARA LEGISLAÇÃO DE ÁGUAS

Existem, na elaboração de legislação específica para águas, muitos condicionantes que devem ser observados, dos quais podemos salientar:

- a) Tipo de Estado ao qual se destina o recurso: o fato de ser dirigido a um estado unitário ou a uma federação deve ser levado em conta, principalmente, pela necessidade de respeito à autonomia das unidades federadas ou de entidades locais;
- b) Convenções Internacionais já assinadas: os ajustes internacionais, bi ou plurilaterais, após aprovação pelos poderes competentes, integram-se ao direito dos países signatários, sendo, por isto, condicionantes da legislação nacional. Em muitos casos, os países pertencentes à mesma comunidade econômica assumem o compromisso de estabelecer normas legais semelhantes, em especial no que se refere à qualidade das águas, para que os usos sejam onerados de forma equânime, sem que leis pouco exigentes beneficiem usuários de um país em comparação com os outros;
- c) Doutrina, Jurisprudência, usos e costumes do país: os ensinamentos da doutrina jurídica, assim como a jurisprudência nacional dominante, relativa às águas, em especial, quando preenche

lacunas da legislação vigente, são fundamentos de grande valia para a edição de normas legais. Já os costumes devem ser considerados, a fim de que a legislação esteja próxima das aspirações dos administradores e, com isto, possam ter eficácia e não apenas vigência;

**d)** Usos prioritários: os recursos hídricos podem ser utilizados para múltiplas finalidades. Portanto, a legislação sobre águas deve compatibilizar estes usos e instituir uma escala de prioridade e, se possível, uma regra para rateio do custo das obras hidráulicas e serviços decorrentes.

# 9.3 DECRETO Nº 24643-10/07/1934 - CÓDIGO DE ÁGUAS

No Brasil, um marco importante a ser destacado na legislação dos recursos hídricos é o Código de Águas, do qual muitos fundamentos foram preservados na legislação posterior. Este Decreto foi elaborado com base nas diretrizes do sistema de direito romanogermânico com o direito vigente em regiões úmidas.

Neste Código, as águas podiam ser de domínio público ou dominicais. Considera-se como bem dominical aquele que "integra o patrimônio privado" do Poder Público. O seu traço principal é a "alienabilidade" de acordo com SILVA & PRUSKI (2001). No artigo 18 da Lei 9433/1997, encontra-se o atestado de que a água não faz parte do patrimônio privado do Poder Público, ao dizer: "A outorga não implica a alienação parcial das águas que são inalienáveis, mas o simples direito ao uso". Portanto, a inalienabilidade das águas marca uma de suas características como bem de domínio público.

SETTI (2001) destaca que o Código de Águas de 1934 não teve a preocupação com a água enquanto recurso natural, passível de proteção contra a poluição e cuja utilização deve observar princípios de uso e gerenciamento internacionalmente aceitos, o que se justifica pela época em que foi concebido. O uso múltiplo das águas, embora de forma rudimentar, também é contemplado no Código de Águas, no artigo 143.

Importante marco do Código de Águas é o princípio do "poluidor-pagador". No entanto, este nunca foi tratado por leis especiais e regulamentos, deixando assim de ser aplicado.

# 9.4 LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E A CONSTITUIÇÃO FEDERAL

O tratamento da questão das águas nas Constituições do Brasil é condizente aos usos, costumes e necessidades das épocas em que foram elaboradas.

Na Constituição Federal de 1946, verifica-se o fomento à exploração econômica e livre iniciativa. Nesta Constituição, não se observa nenhuma preocupação com a conservação dos recursos ambientais, visto que, na época de sua elaboração, não havia registro de ocorrências de falta de água ou situações de impacto ambiental que exigissem uma atitude do Poder Público. Esta Constituição permitiu que os estados legislassem complementarmente e supletivamente.

A Constituição Federal de 1967, caracteriza-se por uma forma de exploração dos recursos naturais com visão desenvolvimentista, que era o objetivo do Estado na época.

Na Constituição Federal de 1988, observa-se a elevação dos recursos hídricos a uma condição especial de cuidado, na qual se destaca que:

- o direito de legislar sobre águas e energia é competência da União;
- mantém-se sob Domínio Federal as correntes de água que banhem mais de um estado, constituam limite entre estados ou países, ou, ainda, estendam-se em território estrangeiro ou dele provenham, bem como terrenos marginais e praias fluviais;
- passam ao Domínio dos Estados e do Distrito Federal as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvados, na forma de lei, as decorrentes da União.

# 9.5 LEGISLAÇÃO FEDERAL - LEI 9.433/1997

A política de Recursos Hídricos da Federação teve uma trajetória posterior aos projetos de lei relativos ao assunto de muitos estados (São Paulo, Ceará, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia e Rio Grande do Norte), que foram precursores nas tratativas relativas a este assunto.

A lei 9433/1997 é resultado de um esforço conjunto da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente que, utilizando suas prerrogativas, em parceria com a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), escreveu uma proposta de lei, apresentada pelo poder executivo ao legislativo (CAMPOS & STUDART, 2001).

Na Câmara dos Deputados, a proposta foi relatada pelos Deputados Fábio Feldman e Aroldo Cedraz e, no Senado, pelo Senador Bernardo Cabral. Como resultado, em 08 de janeiro de 1997, o Presidente Fernando Henrique Cardoso promulgou a Lei 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e criando o Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

Basicamente, a política de recursos hídricos visa proporcionar meios para que a água, recurso essencial ao desenvolvimento social e econômico, seja utilizada de forma racional e justa para o conjunto da sociedade brasileira. Assim, deseja-se um uso com parcimônia, sem desperdícios e atendendo aos modernos conceitos de gestão de recursos hídricos.

## **Fundamentos**

# I – a água é um bem de domínio público;

Este fundamento é uma repetição da Constituição Federal, no seu Artigo 26, I.

# II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

A lei 9.433/1997 estabelece a cobrança da água bruta com os seguintes objetivos: (i) reconhecimento da água como bem de valor econômico; (ii) oferecimento ao usuário de um real valor da água consumida; (iii) incentivo à racionalização no uso da água; e (iv) obtenção de recursos para o financiamento de programas formulados nos planos de recursos hídricos das bacias.

# III – em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação dos animais;

O uso prioritário da água para o consumo humano já era previsto no Código de Águas 24.643/1934, o qual estabelecia que, quando o "o uso da água depende de derivação, em qualquer hipótese, terá preferência aquela para o abastecimento das populações".

Nas leis estaduais e nos planos de bacias hidrográficas, a hierarquia de prioridade para outros usos, além da dessedentação humana e de animais, pode ser estabelecida. Esta liberdade para definição é proveniente da grande variedade de usos e condições de usos existentes em um país continental, como é o caso do Brasil. Na legislação estadual do Ceará, por exemplo, foi definida prioridade de uso industrial da água em detrimento da irrigação (CAMPOS & STUDART, 2001).

# IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

# 9.6 LEGISLAÇÃO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia e Rio Grande do Norte, antecipadamente à lei 9.433/1997, estabeleceram as suas normas jurídicas em relação aos recursos hídricos.

No Rio Grande do Sul, a Lei 10.350 de 30/12/1994 instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando assim o artigo 173 da Constituição Estadual.

A Constituição Estadual Gaúcha e a Lei 10350/1994 estabeleceram a gestão das águas sob seu domínio, expressa em quatro grandes princípios:

- gestão das águas através de um Sistema Estadual de Recursos Hídricos;
- adoção da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e intervenção;
- estabelecimento da outorga e tarifação dos recursos hídricos (cobrança pela retirada e despejo de efluentes);
- reversão, para a respectiva bacia de arrecadação, da receita, devendo os recursos financeiros serem aplicados na própria gestão das águas da bacia.

O Rio Grande do Sul foi dividido em 24 unidades de planejamento, ou seja, 24 bacias hidrográficas, através da criação de Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas e da gradativa implementação dos instrumentos de planejamento (Planos de Bacia e Plano Estadual) e gestão (outorga, tarifação e rateio) previstos na legislação.

Atualmente, o setor responsável pela gestão dos Recursos Hídricos é a SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente, através da Lei 11.362/1999 e 11.560/2000. Sob esta Coordenação, foram colocados o Departamento de Recursos Hídricos (DRH) e a Fundação de Proteção Ambiental Henrique Roessler (FEPAM), órgãos que têm a atribuição da gestão quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos no RS.

# 9.7 LEGISLAÇÃO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

A irrigação e a drenagem são sistemas complementares que se caracterizam por ser um dos usos dos recursos hídricos de uma bacia, estado e país, devendo, portanto, seguir a legislação vigente federal e estadual de recursos hídricos primeiramente.

Importante destacar, no que se refere à irrigação, a Lei 6.662 de 25 de junho de 1979, que dispõe sobre a Política Nacional de

Irrigação, tem por objetivo o aproveitamento racional de recursos de água e solos para a implantação e desenvolvimento da agricultura irrigada, considerando a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável de regiões com situação climática adversa. São objetos da lei:

- Política Nacional de Irrigação;
- · Programas de Irrigação;
- Projetos de Irrigação;
- · Irrigantes;
- Desapropriações;
- · Disposições Gerais

Também pertinente à irrigação, destaca-se a Resolução 284, de 30 de agosto de 2001, que dispõe sobre o licenciamento dos empreendimentos de irrigação, resolução esta do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Nesta resolução, os tópicos mais importantes são:

- os empreendimentos de irrigação podem causar modificações ambientais, sendo por isto sujeitos ao licenciamento ambiental;
- os empreendimentos de irrigação são classificados em três categorias (A, B e C) de acordo com a área irrigada e com o tipo de sistema de irrigação utilizado, conforme a tabela que segue:

	ÁREA IRRIGADA / CATEGORIA								
MÉTODO	A < 50 HA 50≤A<100 100≤A<500 500≤A<1000 A≥1								
Aspersão	А	А	В	С	С				
Localizado	А	А	А	В	С				
Superficial	А	В	В	С	С				

# Observação:

Os empreendimentos da categoria A são empreendimento de baixo risco ambiental, podendo ser licenciados diretamente junto às prefeituras dos municípios, desde que estes já possuam Resolução para tal atribuição junto ao órgão ambiental competente, no caso do Rio Grande do Sul, à FEPAM.

Os empreendimentos das categorias B e C necessitam de licenciamento prévio, licenciamento para instalação e licenciamento de operação, solicitados diretamente à FEPAM (RS).

 os empreendimentos de irrigação que estejam localizados em mais de um estado ou que gerem impactos ambientais diretos que ultrapassem os limites territoriais do País, ou do Estado em que estiverem localizados, deverão ser licenciados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

- Renováveis IBAMA, ouvidos os órgãos ambientais dos Estados envolvidos;
- os empreendimentos em operação, na data desta Resolução, receberão dois anos para regularização da situação.

No caso do Rio Grande do Sul, a FEPAM realizou um grande esforço para adequar-se a esta Resolução, conseguindo, até o final de 2003, o cadastramento de mais de um milhão de irrigantes. Desde o final de março de 2004, os empreendimentos de irrigação no RS necessitam de licenciamento, de acordo, portanto com a Resolução 284 do CONAMA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. **Lei Federal nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8001, de 13 de março de 1990, que modifica a Lei 7990, de 28 de dezembro de 1989.
- BRASIL. **Lei Federal nº 6662, de 25 de junho de 1979.** Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação e dá outras Providências.
- BRASIL. **Decreto Federal nº 24643, de 10 de julho de 1934**. Código de Águas.
- CAMPOS, N.; STUDART, T. **Gestão das Águas**. Porto Alegre, ABRH, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 284, de 30 de agosto de 2001.** Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação.
- RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual nº 10350 de 30 de dezembro de 1994**. Instiui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.
- SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Gestão de Recursos Hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais.** Viçosa, UFV, ABRH, MMA, 2000.