

CADERNOS DO

# SEMIÁRIO

RIQUEZAS &  
OPORTUNIDADES



FOTO: ROBERTO ARRAIS

WALDIR DUARTE COSTA

## OBRAS HÍDRICAS PARA CONVIVÊNCIA COM A SECA

2ª Edição



**CREA-PE**  
CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA  
E AGRONOMIA DE PERNAMBUCO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

1

WALDIR DUARTE COSTA

OBRAS HÍDRICAS  
PARA CONVIVÊNCIA  
COM A SECA

2ª Edição

Copyright © Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - PE

Diretoria Crea/Gestão 2012/2014

**Evandro de Alencar Carvalho** – Presidente  
**Waldir Duarte da Costa Filho** – 1º Vice-Presidente  
**Luiz Gonzaga Guedes da Silva** – 2º Vice-Presidente  
**Plínio Rogério Bezerra e Sá** – 1º Diretora Administrativa  
**Edilberto Oliveira de C. Barros** – 2º Diretor Administrativo  
**Normam Barbosa Costa** – 1º Diretor Financeiro  
**Silvio Porfilho de Sá** – 2º Diretor Financeiro

**Joadson de Souza Santos** – Chefe de Gabinete

Coordenação da publicação: **Mário de Oliveira Antonino**

Texto: **Waldir Duarte Costa**

Projeto gráfico e arte final: **Luiz Arrais Oliveira**

Fotos: **Roberto Arrais**

Reproduções internet

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Joselly de Barros Gonçalves, CRB4-1748

---

C122      Cadernos do Semiárido : riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. – Vol.1, n.1 (dez. 2014/ jan.2015) – . – Recife : Editora UFPE, 2014- v.

Este volume: Obras hídricas para convivência com a seca / texto de Waldir Duarte Costa.

Bimestral. (broch.)

ISSN 2526-2556

1. Engenharia – Periódicos. 2. Agronomia – Periódicos. 3. Regiões áridas – Pernambuco. 4. Secas – Brasil, Nordeste. 5. Recursos hídricos. I. Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco. II. Costa, Waldir Duarte.

620.05

CDD (23.ed.)

UFPE (BC2014-184)

---

## Uma ideia feliz

Foi muito feliz a ideia de publicar uma série tratando da importante questão que é o semiárido do nordeste brasileiro. Fugindo do lugar comum, ela não se prende às mazelas da região. Ao contrário, os autores procuram demonstrar, de diferentes maneiras, as as soluções que a própria região oferece e que podem e devem ser implementadas.

*Anísio Brasileiro de Freitas Dourado*  
Reitor da Universidade Federal de Pernambuco



# *Cadernos do semiárido,* esclarecimentos

**A**s ressurgências críticas ao problema das secas no Semiárido do Nordeste brasileiro, muitas delas despreparadas e injustas, motivaram sucessivos encontros de colegas engenheiros ligados aos temas, os quais decidiram tomar uma posição de natureza cívico-patriótica.

Tudo isso aconteceu e continua ocorrendo em reuniões realizadas na sede do CREA-PE, com a indispensável participação do seu presidente, Engenheiro e Professor José Mário Cavalcanti, do seu superintendente Roberto Arrais; do presidente do Clube de Engenharia de Pernambuco, Engenheiro Alexandre Santos; do presidente do Memorial da Engenharia de Pernambuco, Engenheiro e Professor Maurício Pina Moreira; do então diretor do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Engenheiro e Pesquisador Antônio Celso Dantas Antonino e do seu sucessor, Professor Alexandre Schuler; além de mim próprio, como Diretor do Rotary International, 1985/87.

Na medida em que essas reuniões foram se sucedendo muito foram crescendo as adesões de profissionais e Instituições de renome regional e nacional. As Academias Pernambucana e Brasileira de Ciência Agrônômica, que têm como Presidente e Vice-presidente, respectivamente, os Professores e Engenheiros-agrônomos Eudes de Souza Leão Pinto e Leonardo Sampaio; o Instituto Nacional do Semiárido - INSA, dirigido pelo Professor Ignácio Salcedo; a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, visitada na pessoa do Vice-reitor Professor Marcelo Carneiro Leão; o Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, visitado nas pessoas do Gerente do Departamento de Pesquisa Geraldo Majella e do Professor Mário de Andrade Lira; o Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco - ITEP, representado pelo seu Diretor-técnico Antônio Geraldo Eugênio de França; a Associação Comercial de Pernambuco - ACP, presidida pelo Engenheiro-agrônomo e empresário Celso Muniz de Araújo; a Federação das Indústrias de Pernambuco - FIEPE, representada pelo Engenheiro José Carlos Borba de

Queiroga; o Instituto de Medicina Integral Professor Fernando Figueira - IMIP, representado pelo seu ex-Diretor de Pesquisa Malaquias Batista Filho, dentre inúmeros outros.

Não há dúvida de que um expressivo grupo de nordestinos está unindo esforços em torno de uma nobre causa: trabalhar em favor de uma consciência transformadora daquilo que é a região do Semiárido do Nordeste brasileiro, consideradas as suas inúmeras riquezas e oportunidades. Essa região tem uma extensão que corresponde à oitava parte do território brasileiro. É um verdadeiro país dentro de outro País continente, no qual vivem mais de 22 milhões de pessoas.

E é porque nessa região ainda existem problemas graves como a pobreza e o analfabetismo que as propostas de uma ampla ação integrada, apoiada principalmente na educação inclusiva, são cada vez mais urgente. Incontestes são os sucessos da fruticultura irrigada, da ovino-caprinocultura, da piscicultura, dos polos de confecção que tão bem demonstram a força do empreendedorismo de micro, pequeno e médio porte, a qualidade do nosso artesanato e um sem-número de outros exemplos capazes de assegurar uma pujança incalculável. Temos recursos naturais de todas as ordens, mas faltam: continuidade administrativa, gestão integrada de órgãos públicos entre si e com iniciativa privada e mobilização da sociedade, o setor mais importante desse contexto tão desafiador.

Como produzirmos uma gestão moderna se as diferentes partes não estão igualmente preparadas? Para participarmos num mercado cada vez mais exigente temos que oferecer produtos de qualidade com garantia de tempo e preços competitivos. Estamos numa era moderna onde os drones já são uma realidade. A inovação tecnológica tem de ser explorada urgentemente para a atividade rural ser praticada com orgulho e claras vantagens econômico-sociais. Esse é um papel que tem de ser liderado por pessoas com nítidos compromissos com a decência e com o bem-estar da sociedade brasileira.

Assim, com a indispensável participação de um expressivo número de profissionais altamente qualificados, comprometidos com novos rumos da sociedade brasileira, somos otimistas quanto a esse tipo de contribuição: editarmos cadernos técnicos sobre a convivência com a seca, em parceria com valiosas Instituições oficiais ou privadas.

Estamos começando com o Caderno 1 que trata de questões gerais sobre Recursos Hídricos, intitulado Obras Hídricas Para Convivência Com a Seca, de autoria do Geólogo Waldir Duarte Costa. Outros cadernos virão proximamente: Barragens Subterrâneas, Sistema Base Zero, A Palma Forrageira, Hidroponia, Caprinocultura Leiteira, Alimentação e Nutrição no Semiárido Brasileiro: Situação e Perspectivas, que já se encontram em fase final de redação.

Como prova do seu grande interesse na busca de apoio dos Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia brasileiros, o Presidente do CREA-PE, Engenheiro José Mário Cavalcanti inseriu em duas reuniões dos CREA's

do Nordeste, a primeira em Teresina, PI, e a segunda em Salvador, BA, e para todos os presidentes dos CREA's do Brasil, oportunidades para que o nosso projeto de Convivência Com a Seca no Semiárido Nordestino fosse apreciado. Em todas essas reuniões houve unanimidade na aprovação e no comprometimento.

Ao manifestarmos o nosso apreço pela colaboração dos colegas para ampliação desse leque de trabalhos, lembramos que a velocidade dessas publicações está vinculada ao interesse, à participação efetiva, ao espírito democrático, à elevada compreensão e boa vontade por parte de todos.

Pleno de fé e gratidão,

*Mário de Oliveira Antonino*

Engenheiro Civil, Professor e Rotariano





# Palavras do presidente do CREA-PE

Com a edição deste primeiro número de *Cadernos do Semiárido: Riquezas & Oportunidades*, damos o passo primordial na direção da permanente manutenção na ordem do dia, do debate deste tão recorrente, peculiar, polêmico e estigmatizado tema, de nossa região nordestina.

O objetivo principal desta iniciativa foi de trazer ao domínio público, de modo simples e objetivo, o farto acervo existente de conhecimentos, estudos e tecnologias já consagradas, sobre a forma de como conviver no Semiárido Nordeste, extraindo dos seus ilimitados, inestimáveis e potenciais recursos, o pleno sustento para uma vida digna e profícua para àqueles que lá habitam.

Temos a convicção de que é possível melhorar a geração de trabalho e da renda desta região, através de uma exploração sustentável de suas riquezas, com base numa produção agrícola eficiente e de qualidade, embasadas nas técnicas de melhor aproveitamento destes recursos naturais, principalmente o hídrico.

As experiências já adquiridas com as práticas realizadas pelo homem do campo, bem como as aplicações das técnicas desenvolvidas por estudiosos no assunto, vêm aperfeiçoando e consolidando cada vez mais a comprovação da tese sobre a viabilidade socioeconômica desta emblemática região do Brasil.

Para tanto, foi criado um grupo de estudos, com a participação de representantes de instituições e de entidades profissionais e sociais, para debater com profundidade este tema tão desafiador.

Todos estes integrantes, destacam-se por seus saberes e representatividades políticas no âmbito de suas instituições e entidades, sejam elas de caráter público, social ou profissional.

Todos, interessados em contribuir na melhoria da qualidade de vida daquelas pessoas, oferecendo o melhor das suas ideias, suas técnicas, seus estudos e suas metodologias, com vistas a criar mais oportunidades produtivas a fim de combater a fome, a pobreza e o sofrimento crônicos daqueles que vivem esquecidos e à margem do contexto social neste solo nordestino.

Todos enfim, ao mesmo tempo, unidos e imbuídos do mais legítimo propósito de ajudar de qualquer modo, na forma mais eficiente e objetiva, de como estas pessoas poderão ser inseridas e, dignamente ascenderem na pirâmide social de nossa Nação, através da consolidação de políticas públicas, específicas para o crescimento econômico e socialmente justo para a região do semiárido. Portanto, este é o nobre objetivo deste seletivo grupo de abnegados cidadãos.

A publicação deste primeiro caderno traz como conteúdo, as magníficas contribuições do destacado e competente geólogo Dr. Waldir Duarte Costa, especialista em Hidrogeologia. Outros tantos cadernos também deverão incluir mais propostas, mais estudos, mais experiências com soluções simples e de fácil compreensão e manuseio.

Estamos sim convencidos de que estamos oferecendo à sociedade, uma louvável contribuição técnica. Ela é fruto de um trabalho altruísta. É o resultado da dedicação pessoal de cada um dos envolvidos neste grupo. Nele, contribuindo em diversas e incansáveis reuniões e fóruns realizados, trazendo ao momento, um pleno e riquíssimo debate sobre este precioso tema, dando-nos a sensação de que estamos fazendo a parte que nos cabe, não ficando omissos e nem passivos diante destes problemas.

E dentro deste espírito de cooperação e fraternidade, nós que fazemos o CREA-PE, também comprometidos institucionalmente com a missão de colaborar sempre pela harmonia e o aperfeiçoamento das relações sociais e produtivas da sociedade, com muito orgulho, juntamo-nos aos demais participantes deste grupo, que esteve assim representado nessa primeira etapa, pelas demais instituições e entidades como, o Rotary Internacional, a UFPE, a UFRPE, o Clube de Engenharia de Pernambuco, o INSA, o Ministério Público de Pernambuco, a Academia de Ciência Agronômica de Pernambuco, o Memorial da Engenharia em Pernambuco e tantos outros igualmente importantes e anônimos colaboradores. Outros mais, por certo, se agregarão nas etapas futuras, à medida que estas vozes unidas, ecoem mais forte.

A cada um dos integrantes deste valoroso grupo, que se empenharam com dedicação e denodo e assim, permitiram a realização desta proeza, o nosso mais profundo respeito e admiração. Em especial, o mérito e o reconhecimento desta conquista, ao nosso querido professor e engenheiro Mário de Oliveira Antonino, ideólogo, precursor e líder deste movimento, que sob o seu comando, atingimos o nosso primeiro objetivo.

Cordiais saudações

Eng. Civil *José Mário de Araújo Cavalcanti*  
Presidente – CREA-PE

# Apresentação

Conquanto a estiagem prolongada denominada de “seca” seja um fenômeno natural e secular que vem afetando a população do nordeste do Brasil, influenciando decisivamente na retração do desenvolvimento agrícola regional, não se vem adotando pelo governo federal e estadual as medidas necessárias a uma sustentação hídrica perene.

É comum a inclusão na mídia do termo “indústria da seca” para caracterizar as ações públicas de caráter provisório sempre que ocorre um desses fenômenos cíclicos, com duração de um a quatro anos, principalmente a contratação dos denominados “carros-pipas” que transportam água nem sempre potáveis, para minimizar o sofrimento do nordestino.

Soluções existem, o que falta é a compreensão do governo em adotar obras de infra-estrutura permanentes, tanto para o abastecimento das áreas urbanas, como da área rural, com abastecimento difuso e pontual.

O objetivo desse primeiro número é o de mostrar inicialmente conceitos básicos sobre a água e a seca e, em seu segundo capítulo, a maneira como encarar de maneira definitiva o problema hídrico da região semiárida nordestina, através da implantação, operação e manutenção de obras estruturadoras.

Esse trabalho de esclarecimento público destina-se principalmente aos jovens desse País e aos moradores rurais, mas também deverá ser absorvido pelas autoridades públicas do setor de suprimento de água para a população nordestina.

Esperamos que essa contribuição venha alertar os brasileiros sobre o grave problema da sustentabilidade hídrica, que tende a piorar em todo o mundo em função dos agravantes externos como mudanças climáticas, crescimento populacional, contaminação dos mananciais hídricos, devastação das reservas florestais, dentre outras agressões ao meio ambiente.



# SUMÁRIO

PREFÁCIO.....	15
<b>1   CONCEITUAÇÃO SOBRE A SECA E A ÁGUA .....</b>	<b>17</b>
1.1. O que é a “seca” ?.....	19
1.2. A região semiárida do nordeste do Brasil .....	20
1.3. O Ciclo da Água .....	21
1.4. A acumulação da água.....	21
1.5. Sustentabilidade hídrica e desperdício de água.....	23
1.6. Importância da água .....	27
1.7. Doenças provocadas por águas contaminadas .....	27
1.8. A crise mundial de água.....	28
1.9. Risco de escassez hídrica no Brasil e a desertificação .....	32
1.10. O uso da água na região nordeste do Brasil .....	34
1.11. Águas superficiais X águas subterrâneas .....	35
<b>2   OBRAS DE INFRAESTRUTURA HÍDRICA.....</b>	<b>37</b>
2.1. Demandas hídricas: população urbana e rural .....	37
2.2. Planejamento, execução, operação e manutenção.....	37
2.3. Obras hídricas superficiais .....	38
2.4. Obras hídricas subterrâneas.....	47
Obras secundárias de acumulação e distribuição.....	52





## Prefácio

**D**entre aqueles que se dispuseram a escrever textos para a série de Cadernos “Semiárido, Riquezas e Oportunidades” como sugestões de especialistas sobre a convivência com a seca, o geólogo e professor Waldir Duarte Costa foi o primeiro a colaborar. Nisso não houve qualquer surpresa. Possuidor de grande bagagem técnico-científica e de elevada vocação para o Servir, como rotariano, de pronto demonstrou o seu compromisso com os rumos da sociedade do Nordeste brasileiro, escrevendo sobre o tema “Obras Hídricas para a Convivência com a Seca”. Após ser diplomado como geólogo, em 1972, na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, concluiu seu Mestrado na mesma Universidade, em 1977, partindo para São Paulo onde, na USP – Universidade de São Paulo, concluiu seu Doutorado em 1986. Durante todo esse tempo foi um vocacionado para a Hidrogeologia, tornando-se um dos mais estudiosos e conceituados especialistas em águas subterrâneas do nosso País. Autor de mais de oitenta trabalhos, apresentados em congressos e publicados em revistas especializadas, a sua atuação já atingiu, desde a região amazônica até o Sudeste brasileiro. Dedicou-se às águas subterrâneas das regiões áridas e semi-áridas da América do Sul e é consultor para águas do Nordeste, em especial, do Nordeste Semiárido brasileiro. É rotariano do Rotary Recife-Casa Amarela desde 2001, tendo sido seu presidente em 2006/07. Atualmente, é presidente da Comissão de Recursos Hídricos do Distrito 4500, o qual compreende os Rotary Clubs dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Num futuro próximo, deverá oferecer para publicação, através desta série de Cadernos, o seu trabalho sobre “Barragens Subterrâneas”.

*Mário de Oliveira Antonino*



# 1 | CONCEITUAÇÃO SOBRE A SECA E A ÁGUA





## 1.1. O que é a “seca”?

A seca é um fenômeno natural que corresponde à ausência ou diminuição acentuada de chuva numa região. No Brasil a seca predomina na região nordeste, onde incide uma ou mais vezes em cada década, durando de um a quatro anos consecutivos.

Desde o século 16, há 450 anos, ocorreram na região semiárida do nordeste do Brasil, 73 secas, sendo 40 secas anuais e 33 plurianuais. O total de número de anos de secas nesse período foi de 116, com média de uma seca a cada 4 anos.

Como resultado da seca a paisagem se torna desértica com árvores sem folhagem, solo rachado e ausência de água nos reservatórios.

Figura 1.1 – Vegetação despida de folhagem



Fig. 1.1

Figura 1.2 – Solo rachado pela perda de água



Fig. 1.2

Figura 1.3 – Reservatório praticamente vazio pela ausência de água de escoamento superficial



Fig. 1.3

## 1.2. A região semiárida do nordeste do Brasil

A região semiárida do nordeste caracteriza-se por reduzidas precipitações pluviométricas (chuvas) e elevada evaporação que consome uma lâmina d'água de 2,5m de espessura. Essa região denominada de Polígono das Secas possui uma área de 969.589 km<sup>2</sup> (11% do território nacional) e envolve total ou parcialmente 1.133 municípios em nove estados da federação. O potencial médio de água doce na região é de 186 km<sup>3</sup>/ano equivalente a apenas 3% das disponibilidades hídricas do país.

Figura 1.4 – Mapa do Polígono das Secas na região semiárida do nordeste brasileiro

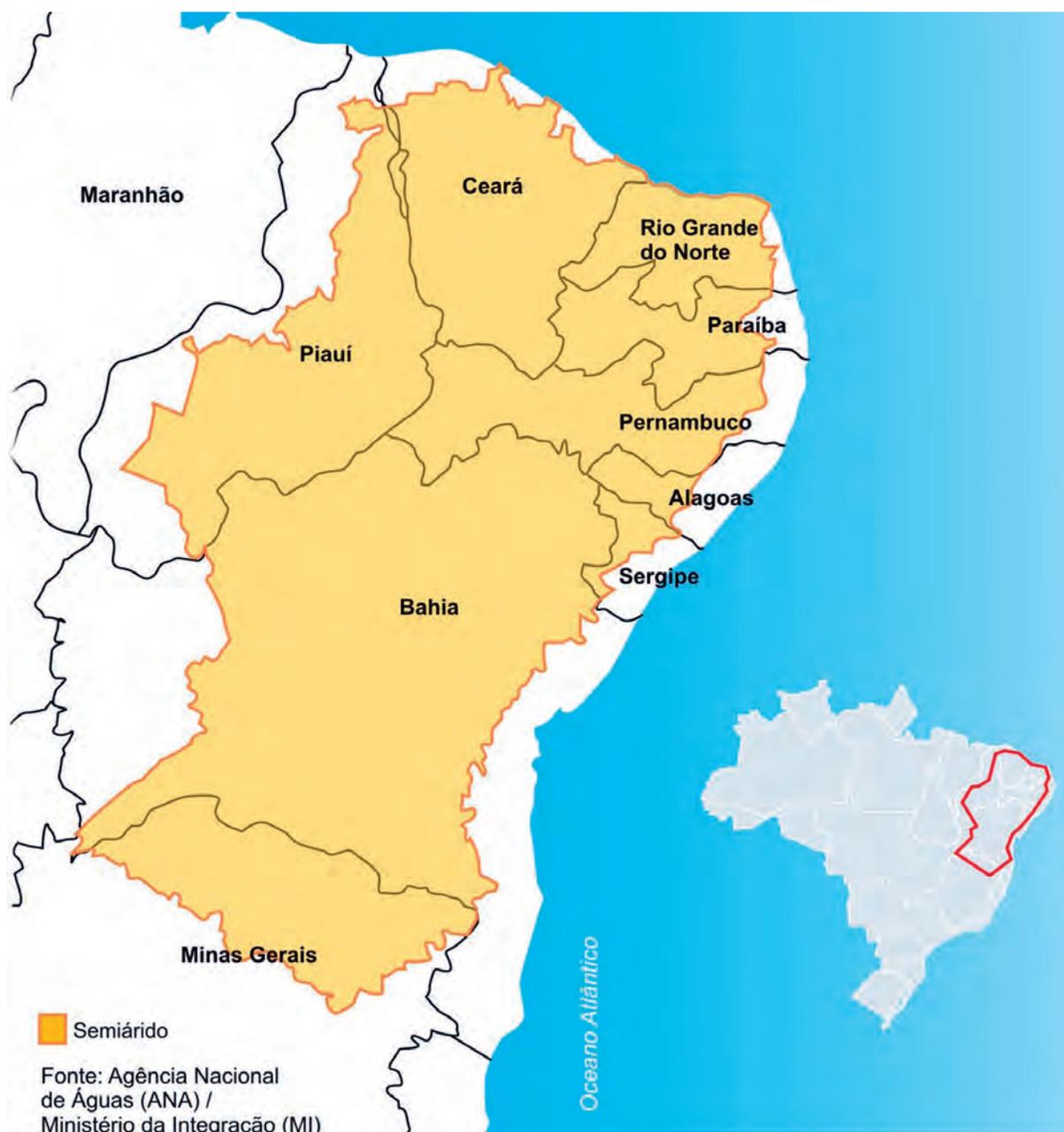


Fig.14

### 1.3. O Ciclo da Água

A água está em contínua movimentação acima da superfície da terra, na própria superfície e abaixo dela, como pode ser visto na figura 1.6.

Esse movimento constitui o ciclo da água e envolve as águas evaporadas tanto do oceano como dos reservatórios superficiais, a condensação em forma de nuvens, a posterior precipitação (chuvas) e o destino da água precipitada na superfície, onde uma parte escoar formando os rios, outra se acumula em lagos naturais ou artificiais (barragens) e finalmente, uma pequena parcela se infiltra na sub-superfície, indo alimentar os aquíferos (material poroso e permeável abaixo da superfície da terra, onde as águas são armazenadas).

Parte da água infiltrada no solo retorna ao exterior por evapotranspiração (processo de eliminação da água pelas plantas).

Esse ciclo é contínuo e garante a recarga dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos, através das precipitações atmosféricas, mantendo assim, o sistema em equilíbrio na face da terra.

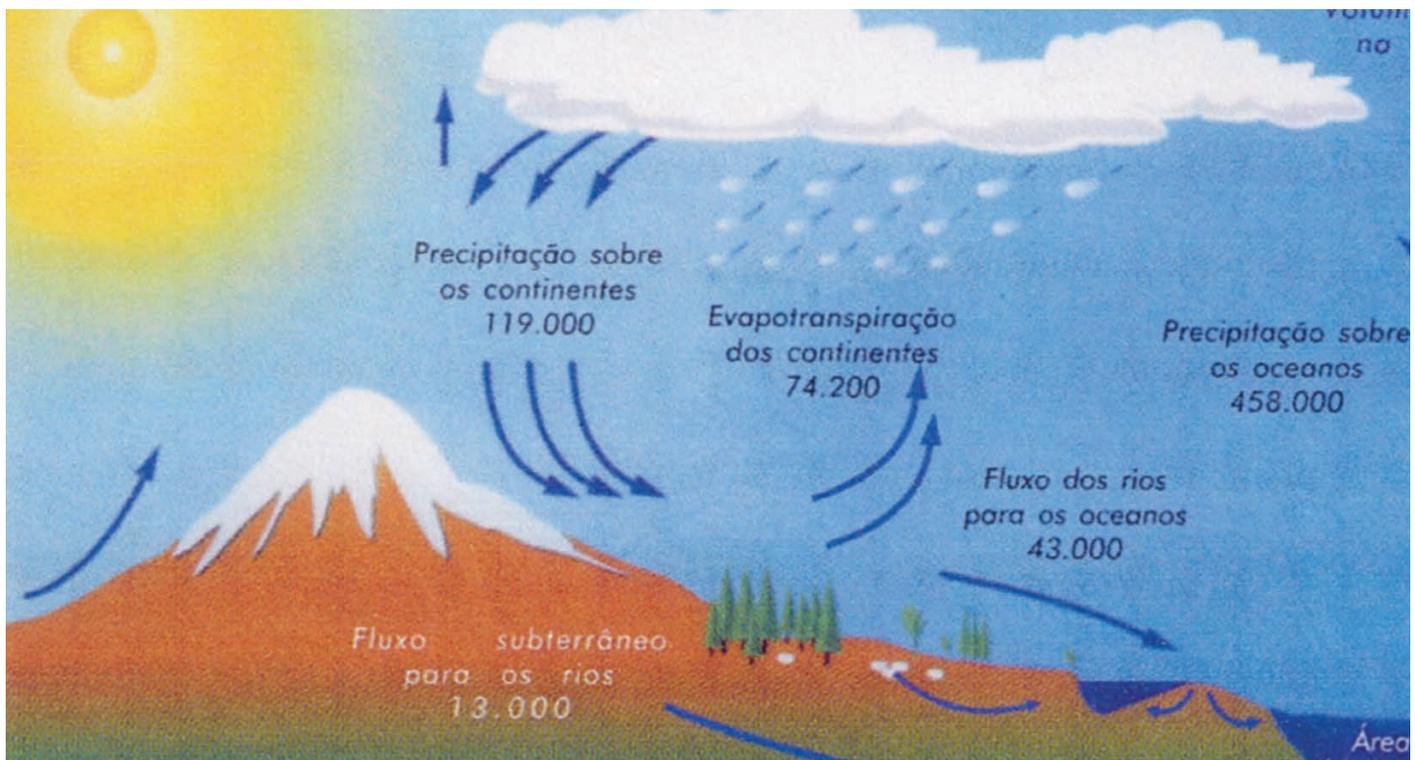


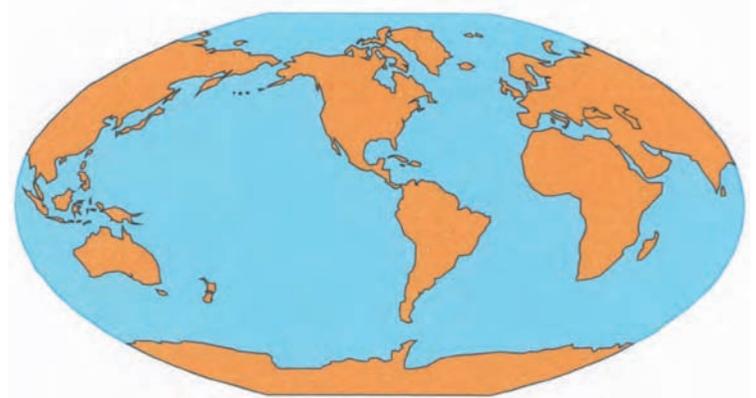
Figura 1.5 – O “Ciclo da água”, mostrando em milhões de km<sup>3</sup> os volumes envolvidos na movimentação da água.

Fig.1.5

### 1.4. A acumulação da água

A água pode se acumular em forma líquida ou sólida. A primeira constitui o maior volume, não considerando a qualidade da água, porém se for considerada apenas a água doce a acumulação na forma sólida, em geleiras, representa muito maior volume do que as águas doces em geral.

Nas figuras 1.6 e 1.7 são mostrados as áreas, os volumes e percentuais da água acumulada sob as diferentes formas e locais.



Área total: 510.065.000 km<sup>2</sup>  
 Área continental: 148.032.000 km<sup>2</sup> (=29%)  
 Área coberta de água: 362.033.000 km<sup>2</sup> (=71%)

Fig. 1.6

Figura 1.6 – Relação entre as áreas representadas por terra e águas no globo terrestre



Fig. 1.7

Figura 1.7 – Volumes de água acumulados nos distintos locais da Terra e sob diferentes formas e qualidade.

Como se verifica, das águas doces disponíveis (cerca de 8.529.920 km<sup>3</sup>), a grande maioria corresponde às águas subterrâneas, enquanto as águas doces na forma sólida, representadas pelas geleiras, constituem a maior parcela das águas indisponíveis.

A figura 1.8 mostra graficamente a relação entre as águas doces superficiais e subterrâneas no planeta.

O que interessa à população da Terra é como essa água doce disponível pode ser acumulada para posterior captação e utilização segundo as diversas finalidades de uso.

A acumulação da água pode se verificar, de um modo geral, de duas maneiras: em reservatórios superficiais de formas e dimensões variadas (barragens, reservatórios fechados, etc.) e nos aquíferos de rochas porosas e permeáveis.

O detalhamento desses reservatórios será tratado no capítulo seguinte, sobre as obras de armazenamento e captação de água, porém cabe aqui um melhor esclarecimento sobre a forma de acumulação da água subterrânea.

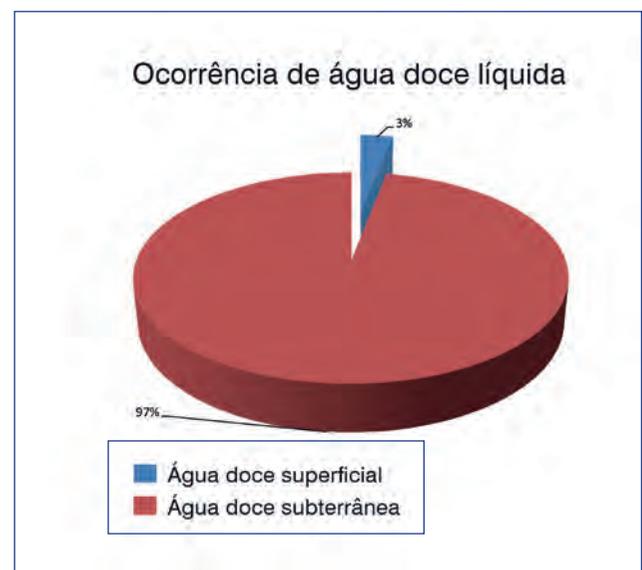


Fig. 1.8

Figura 1.8 – Relação entre as águas doces superficiais e subterrâneas

O meio hídrico subterrâneo onde a água se infiltra e se acumula pode ter variadas constituições, como mostrado na figura 1.10: em (A) a água se acumula em fraturas, é o aquífero fissural; em (B) a água se acumula em fraturas e zonas de decomposição denominada de cársticas, é o aquífero cárstico-fissural e em (C) a água se acumula nos poros da rocha, é o aquífero poroso ou intersticial.

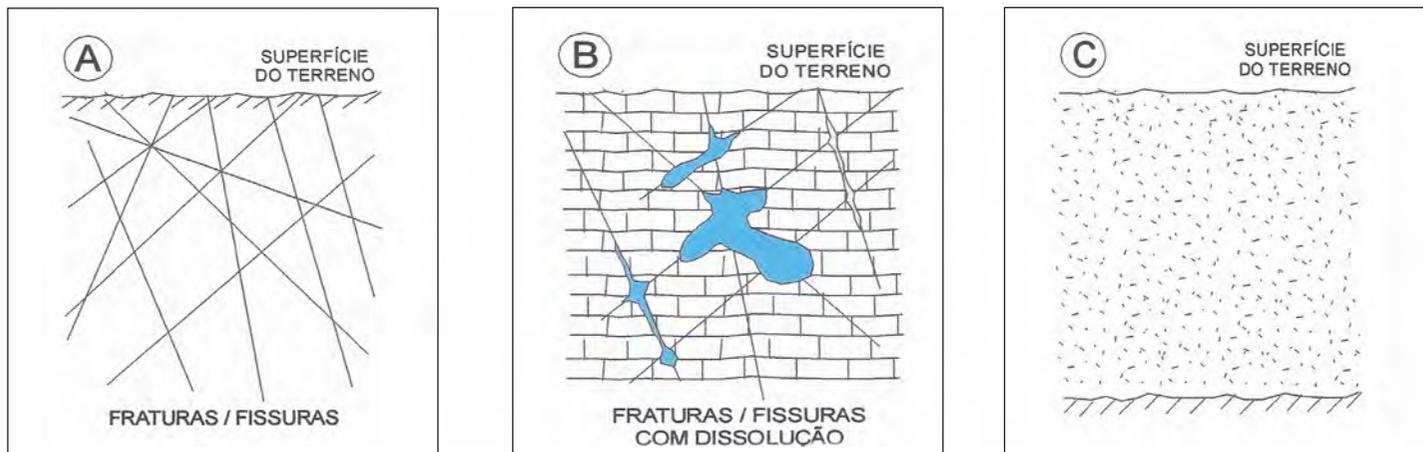


Figura 1.9 – Os diversos meios aquíferos que ocorrem na natureza

Quando uma camada aquífera do tipo poroso (arenito, por exemplo) está confinada (presa) por camadas impermeáveis (argilito ou similar) e é perfurada por um poço, a água sobe, podendo chegar até a superfície (jorrando). Nesse caso diz-se que o poço é artesianiano.

## 1.5. Sustentabilidade hídrica e desperdício de água

Considera-se como sustentabilidade hídrica o uso racional da água pela população atual de modo a não comprometer o seu uso para as gerações futuras.

A sustentabilidade hídrica requer, sobretudo, um adequado gerenciamento dos recursos hídricos através de ações de:

- Planejamento
- Normatização (aspectos legais)
- Execução de pesquisas e estudos
- Coordenação de planos e projetos
- Monitoramento quantitativo e qualitativo dos corpos d'água e aquíferos
- Execução das obras planejadas
- Fiscalização

Os itens acima nomeados serão descritos no próximo capítulo sobre “Obras de infra-estrutura hídrica”, à exceção do monitoramento quantitativo e qualitativo dos corpos d'água e aquíferos.



Fig. 1.10



Figura 1.10 – Medição de nível d'água dentro do poço (à esquerda) e coleta de água para análises físico-químicas (à direita).

O monitoramento quantitativo diz respeito ao acompanhamento dos volumes de água acumulados no reservatório hídrico (superficial ou subterrâneo) enquanto o monitoramento qualitativo corresponde ao acompanhamento da qualidade da água ao longo do tempo.

Na figura 1.11 são mostrados os dois casos de monitoramento, com medição do nível da água dentro do poço (o que traduz a variação de volume) e a coleta de água para realização de análises físico-químicas.

Quando ocorrerem riscos de sobrevivência hídrica de um manancial hídrico (superficial ou subterrâneo) ou degradação da sua qualidade, faz-se necessária a adoção de medidas para corrigir ou compensar esses riscos, tais como:

- Recarga artificial de aquíferos, que corresponde a injetar artificialmente água no meio aquífero, quando a retirada de água é mais rápida do que a recarga natural (pela infiltração de águas de chuva ou de rios);

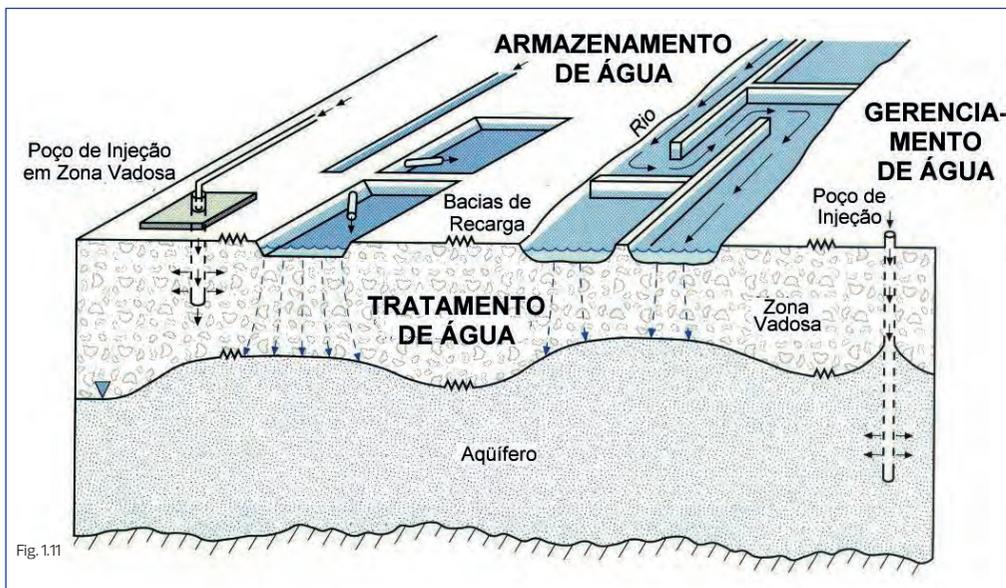


Fig. 1.11

Figura 1.11 – Diferentes modalidades de recarga artificial de um aquífero

Figura 1.12 – Tratamento de águas servidas para reuso no abastecimento



Fig. 1.12

- Reuso da água servida, que corresponde ao tratamento químico e/ou físico para extração de impurezas da água; essa água servida inclui até mesmo a água de esgoto;

Figura 1.13– Dessalinizador (osmose reversa) utilizado em poço no aquífero fissural



Fig. 1.13

- Dessalinização de águas salobras naturalmente existentes, como no aquífero fissural da região semi-árida do nordeste, ou que venham a se tornar salinizadas por exploração desordenada nos aquíferos localizados em regiões litorâneas.



Fig. 1.14

Figura 1.14 – Poço Violeto-Piauí

O desperdício de água pode ser representado em larga escala quando, por exemplo, inúmeros poços são perfurados num aquífero sob pressão e a água jorra na superfície, sem qualquer aproveitamento. Isso vem ocorrendo em grande número no estado do Piauí, como pode ser visto na figura 1.15, onde um poço localizado no Vale do Rio Gurguéia, com 1.000m de profundidade vem jorrando água a uma altura de 30m, sem qualquer aproveitamento há mais de 40 anos.

Além desse poço, centenas de outros de menor profundidade, mas igualmente sob pressão, que jorravam a água a pequenas alturas, hoje já não mais apresenta o nível d'água sequer próximo à superfície, como os poços da região de Picos/Piauí e Mossoró/RN.

Outros casos de desperdício são frequentemente vistos nas áreas urbanas, como canos de abastecimento d'água estourados, lavagem de ruas e calçadas com água tratada servida para abastecimento público, além do mau uso da água quando em banhos muito demorados, escovação de dentes com a torneira aberta durante o processo de escovação, dentre outras formas habituais da população “gerir” esse precioso recurso hídrico.

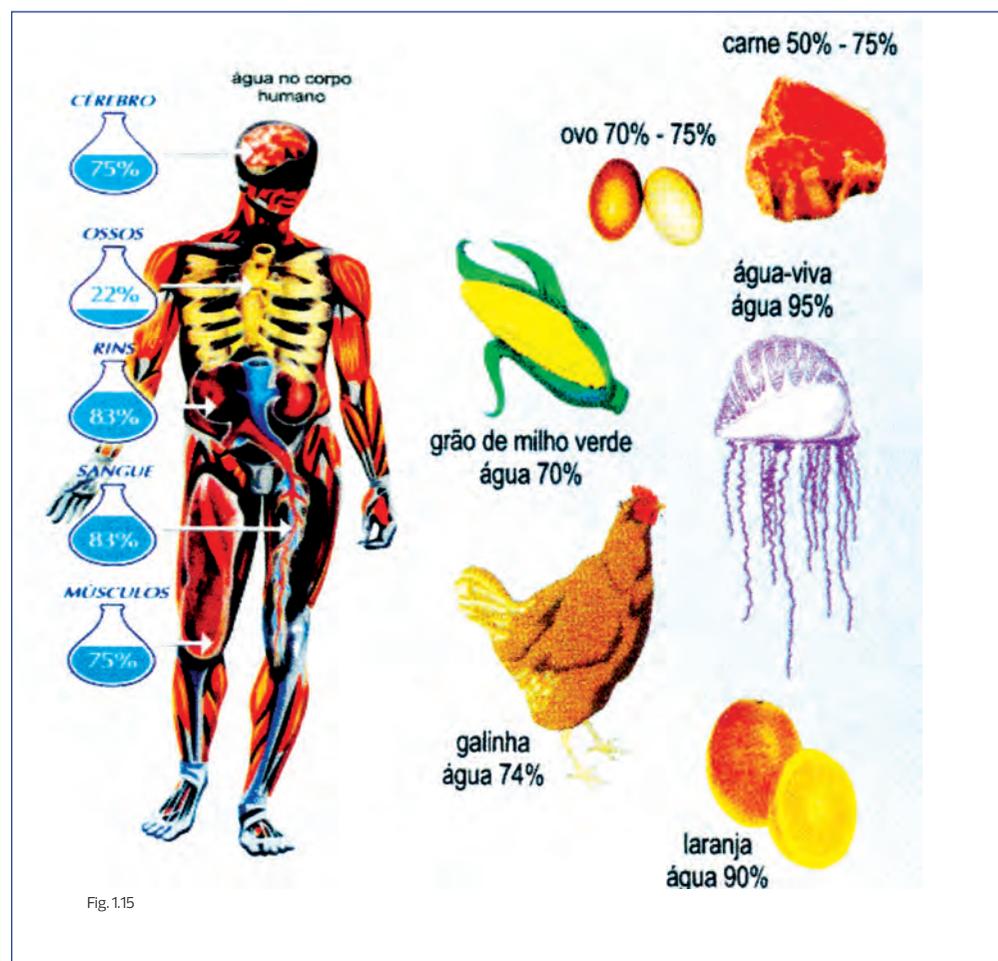
## 1.6. Importância da água

A água é imprescindível à vida, à produção econômica e à atividade social do homem. Ela é parte integrante de todo organismo vivo, como mostrado na figura 1.16.

A produção agrícola e industrial também necessita de água:

Para obter:	Quantidade de água:
1 kg de arroz	4.500 litros
1 kg de trigo	1.500 litros
1 kg de carne bovina	15.000 litros
1 kg de pão	150 litros
1 kg de aço	300 litros
1 kg de papel	250litros

Figura 1.15 – Teor de água para a vida



## 1.7. Doenças provocadas por águas contaminadas

Doenças de veiculação hídrica:

Cólera, febre tifóide, diarreia aguda, hepatite infecciosa, amebíase, giárdias e contaminantes químicos e radioativos;

Doenças cujos vetores se relacionam com a água:

Malária, dengue, febre amarela, poliomielite e filariose;

Doenças cuja origem está na água:

Esquistossomose;

Doenças relacionadas à falta de água e ao mau uso da água:

Tracoma, escabiose, conjuntivite bacteriana aguda, salmonelose, tricuriase, enterobíase, oncosomíase e ascaridíase.

Aproximadamente 1,2 bilhões de pessoas não possuem acesso à água potável, segundo a ONU (Organização das Nações Unidas), além de que 1/3 da população mundial não possui serviços sanitários apropriados. Em decorrência disso, quase 3,8 milhões de crianças morrem anualmente de doenças veiculadas por águas de má qualidade.

Conforme a OMS (Organização Mundial de Saúde), para cada R\$ 1,00 investido em saneamento básico, economiza-se R\$ 5,00 em gastos com a saúde pública. Assim, preservar a qualidade da água é promover a saúde dos seres humanos.

## 1.8. A crise mundial da água

A situação de escassez absoluta de água já ocorre em onze países como mostra o quadro 1.1, onde a situação ao final da década de 90 era de escassez hídrica absoluta (< 500 m<sup>3</sup>/hab/ano).

O problema só tende a se agravar no futuro, devendo 23 países se enquadrar na classificação de escassez absoluta por volta de 2025.

Os principais problemas relacionados à crise da água são: escassez pelo aumento da demanda, degradação da qualidade da água e conflitos pelo uso da água.

País	Disponibilidade (m <sup>3</sup> /hab/ano)
Kwait	Praticamente nula
Malta	40
Quatar	54
Gaza	59
Bahamas	75
Arábia Saudita	105
Líbia	111
Bahrein	185
Jordânia	185
Singapura	211
União dos Emirados Árabes	279

Quadro 1.1 – Os onze países que mais sofrem da falta d'água no mundo atual

Qua.1.1

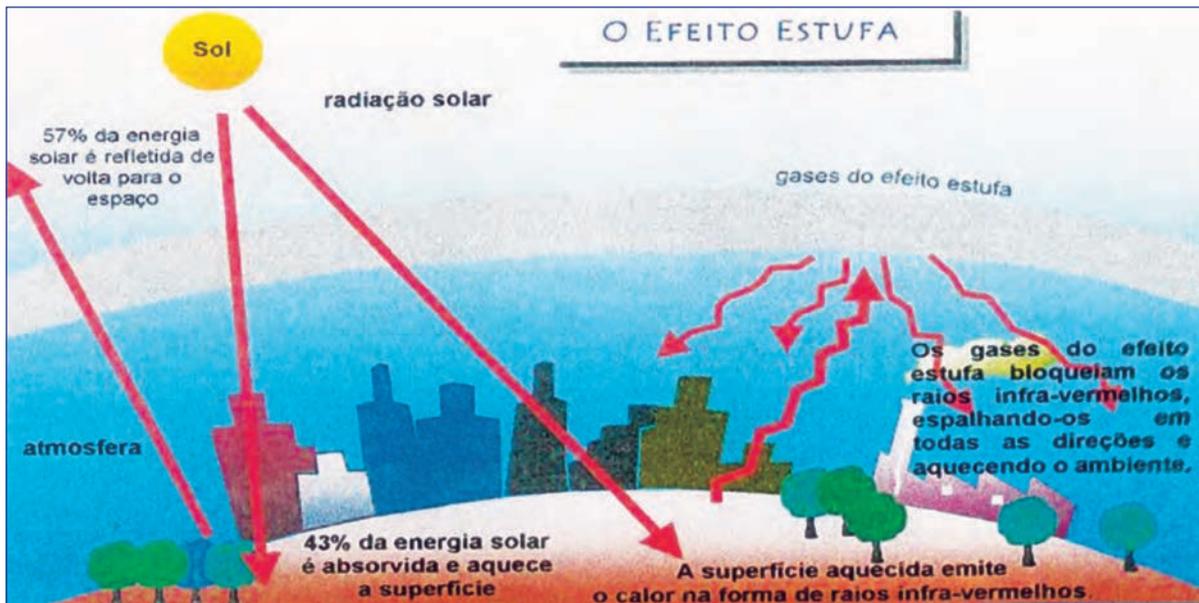


Fig.1.16

Figura 1.16 – Atuação do efeito estuda provocada pela emissão de gases na atmosfera.

Contribuem para aumento da crise da água os seguintes fatores:

### Mudanças climáticas

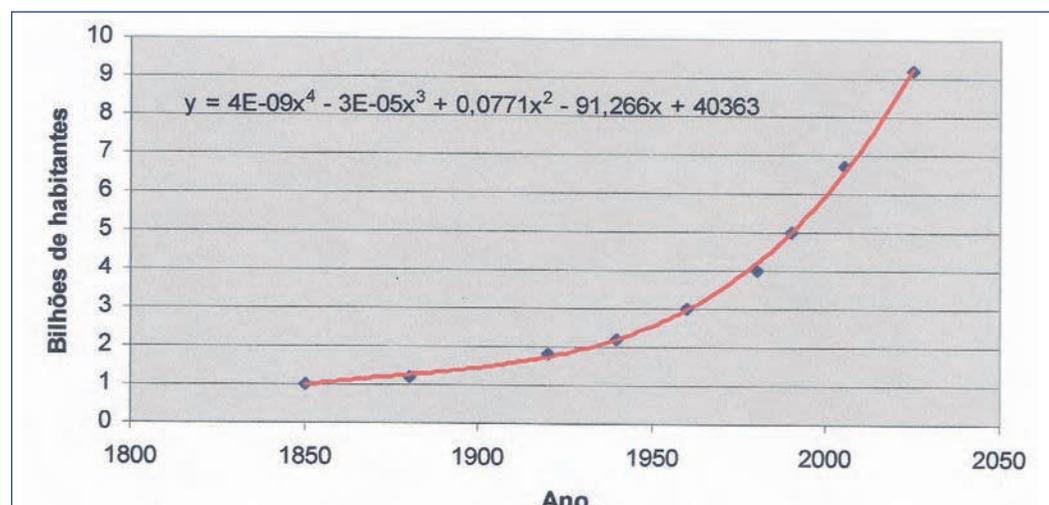
Um aumento de 4°C na atmosfera, previsto para ocorrer até o final do século acarretaria:

1. Derretimento de 50% das geleiras da Terra;
2. Desabastecimento de água de vários países da Ásia e América do Sul;
3. Subida do nível do mar de até 0,6m com inundação de cidades costeiras
4. Comprometimento das reservas florestais;
5. Aumento do índice de aridez nas regiões áridas e semi-áridas.

### Crescimento populacional

A ONU projeta uma população de 9,2 bilhões de habitantes em 2025, ou seja, 2,2 bilhões a mais que a atual (figura 1.17)

Figura 1.17- Curva de crescimento populacional desde o ano de 1.850 até 2.025.



## Aumento da área irrigada e da produção industrial



Fig. 1.18

Figura 1.18 – A Irrigação consome 70% da água e a indústria 20%

### Degradação ambiental

A devastação das florestas se constitui numa das principais causas da redução dos mananciais. Além de a evapotranspiração contribuir para a formação de nuvens e precipitação, as nascentes que derivam das áreas de intensa cobertura vegetal alimentam os rios dos continentes.

### Poluição dos mananciais

Dois milhões de toneladas de resíduos são jogados diariamente nas fontes receptoras, incluindo componentes industriais, químicos, dejetos humanos e resíduos agrícolas (fertilizantes e herbicidas).



Fig. 1.19



Figura 1.19 – Lixões e agrotóxicos como agentes de poluição de mananciais hídricos

Calcula-se que a produção global de águas residuais (figura 1.21) é aproximadamente de 1.500 quilômetros cúbicos. Se um litro desse líquido residual pode poluir 8 litros de água doce, a carga mundial de poluição pode ascender, atualmente, a 12.000 quilômetros cúbicos.

Figura 1.20 – Poluição de águas residuais



Fig. 1.20

### Mau uso e desperdício

Os proprietários de poços consomem de duas a três vezes mais água que os habitantes servidos com água pública, com pagamento de contas mensais.

### Falta de gestão adequada dos recursos hídricos

Os problemas de gestão da água relacionam-se diretamente com o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, que nesse aspecto é desordenado especialmente nas regiões mais habitadas. A ocupação desordenada em áreas de mananciais poderá vir a inviabilizá-los, agravando os problemas em algumas regiões metropolitanas.

### Falta de conscientização sobre o desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável em escala humana é aquele que se centra na busca da satisfação das necessidades fundamentais da população e na elevação de sua qualidade de vida através do manejo racional dos recursos naturais, sua conservação, recuperação, melhoria e uso adequado.

## 1.9. Risco de escassez hídrica no Brasil e a desertificação

A distribuição da água nas diversas unidades federativas do Brasil não se faz de maneira equitativa, caracterizando-se umas regiões com abundância e outras com deficiência na disponibilidade o precioso líquido para a população.

No quadro 1.2, pode-se ver essa diferenciação, em que os estados do Brasil são enquadrados em classes, variando desde a de “ABUNDÂNCIA” com disponibilidade maior do que 20.000 m<sup>3</sup>/hab/ano, até a de “SITUAÇÃO CRÍTICA” com menos de 1.500 m<sup>3</sup>/hab/ano.

Classe (m <sup>3</sup> /hab/ano)	Estado	(m <sup>3</sup> /hab/ano)	Classe (m <sup>3</sup> /hab/ano)	Estado	(m <sup>3</sup> /hab/ano)
<b>Abundância &gt; 20.000</b>	RR	1.747.010	<b>Rico &gt; 5.000</b>	PI	9.608
	AM	878.929		ES	7.235
	AP	678.929	<b>Equilíbrio &gt; 2.500</b>	BA SP	3.028 2.913
	AC	369.305			
	MT	258.242			
	PA	217.058	<b>Pobres &lt; 2.500</b>	CE RJ RN DF AL SE	2.436 2.315 1.781 1.752 1.751 1.743
	TO	137.666			
	RO	132.818			
	MS	39.185			
	GO	39.185			
RS	20.798				
<b>Muito rico &gt; 10.000</b>	MA	17.184	<b>Situação crítica &lt; 1.500</b>	PB PE	1.437 1.320
	SC	13.662			
	PR	13.431			
	MG	12.325			

Quadro 1.2 – Disponibilidade de água doce nos estados brasileiros.  
FONTE: Águas Doces no Brasil. Barth, 1999.

Qua.12

O estado de Pernambuco apresenta a mais baixa disponibilidade hídrica. Consta-se que a região de menor disponibilidade hídrica é a região nordeste, onde se localizam as áreas de elevado risco hídrico.

As Áreas de Elevado Risco Hídrico – AERHs, são caracterizadas por:

- Precipitação média anual < 700 mm
- Índice de aridez < 0,35
- Ausência de sistemas aquíferos sedimentares que representariam potencial fonte de suprimento e de segurança hídrica para o abastecimento humano
- Ausência de rios perenes com elevado porte ou com grande capilaridade, que também significariam fator de segurança hídrica.

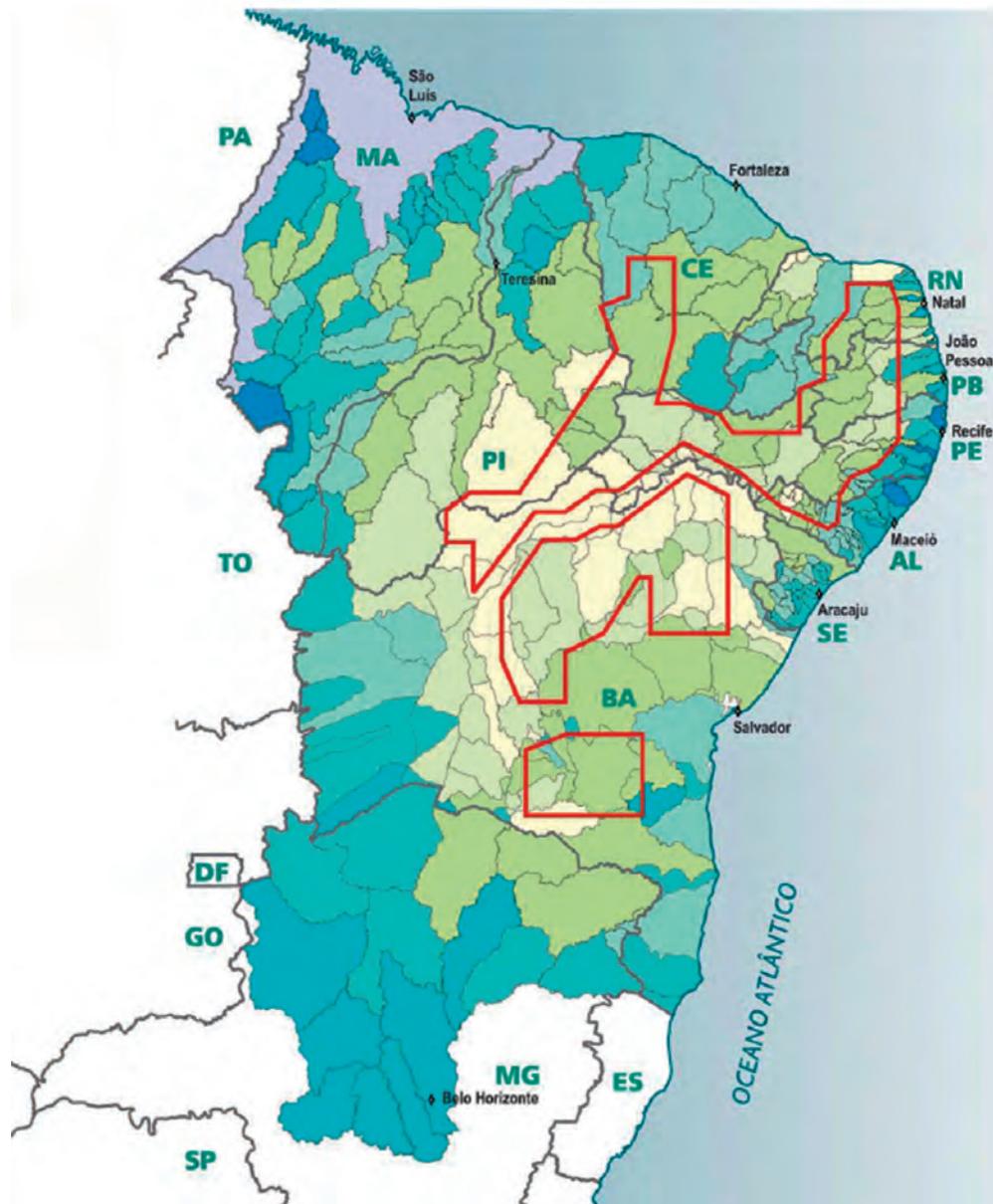


Figura 1.21 – Áreas de Elevado Risco Hídrico no Brasil

Fig. 1.21

A figura 1.21 mostra as áreas de elevado risco hídrico no Brasil.

A degradação ambiental de forma continuada dá origem a um processo denominado de desertificação, caracterizado pela predominância de extensas áreas desabitadas por ausência de condições mínimas de sobrevivência.

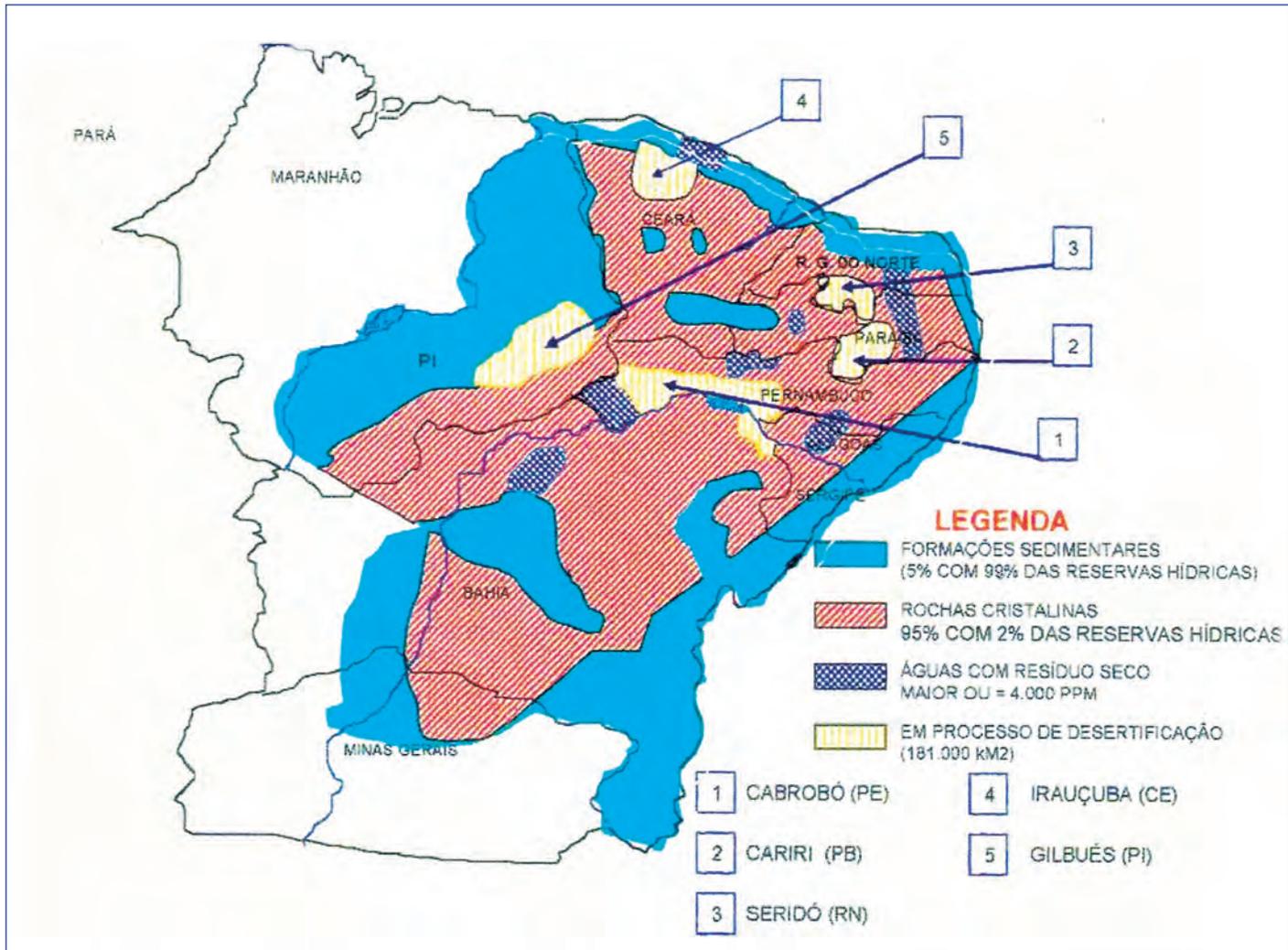


Fig.1.22

Figura 1.22 – Áreas do semi-árido nordestino com processo mais avançado de desertificação

Apesar de esse processo já vir se desenvolvendo em praticamente 1/3 da região semiárida do Brasil, pode-se identificar com avançados processos de desertificação cinco áreas no Nordeste, mostradas na figura 1.22, uma em cada estado entre o Piauí e Pernambuco, passando pelo Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

### 1.10. O uso da água na região nordeste do Brasil

Devem-se considerar dois tipos de usos: o USO CONSUNTIVO em que se utiliza a água sem retorno à natureza, isto é, a água é um insumo que participa do processo alimentar, agrícola ou industrial; e o USO NÃO CONSUNTIVO, em que se faz uso da água sem consumi-la (navegação, geração de energia ou na refrigeração em indústrias). A figura 1.23 mostra que a demanda do uso consuntivo corresponde a 63% do total de água enquanto o não consuntivo, apenas 37%.

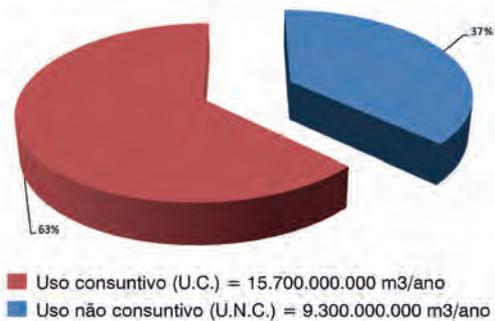


Fig. 1.23

Figura 1.23 – Tipos de uso com respectiva demanda na região nordeste do Brasil

Figura 1.24 – Demandas para o uso consuntivo da água na região nordeste

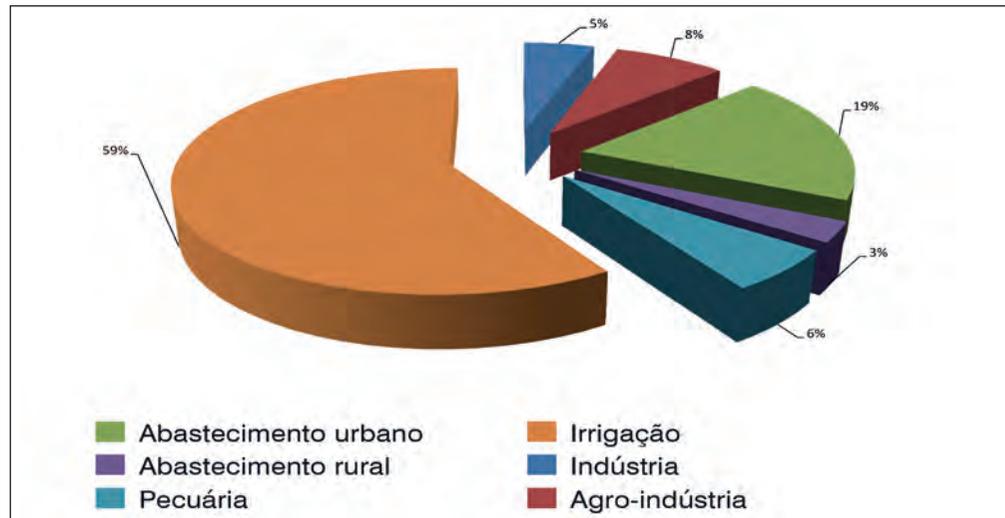
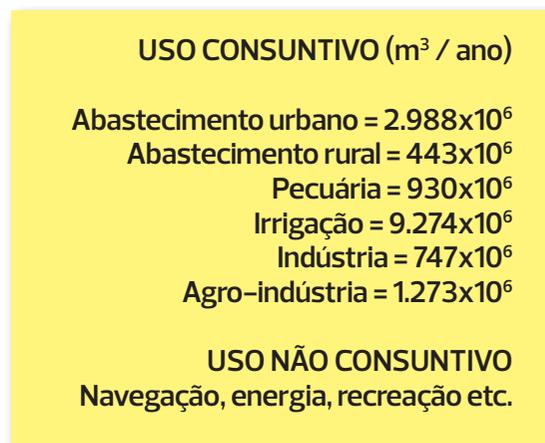


Fig. 1.24

Em valores numéricos, o uso da água na região nordeste do Brasil pode ser sintetizado da seguinte forma:



### 1.11. Águas superficiais X águas subterrâneas

Na região nordeste do Brasil apenas dois rios possuem caráter de permanente ou perene: o Rio São Francisco que recebe contribuição de mananciais subterrâneos tanto nas cabeceiras no Estado de Minas Gerais pelo aquífero Bambui, como ao longo do estado da Bahia pelo aquífero Urucuia; e o Rio Parnaíba que recebe contribuição dos aquíferos da bacia sedimentar do Parnaíba.

Todas as demais bacias hidrográficas, dentre as quais se destacam a dos rios Jaguaribe e Crateus no Ceará; Açú, Apodi, e Potengi no Rio Grande do Norte; Piranhas, Seridó e Paraíba na Paraíba; Capibaribe, Ipojuca, Moxotó e Pajeu em Pernambuco; Ipanema e Mundaú em Alagoas; Japarutuba e Piauí em Sergipe; Itapecuru, na Bahia, são intermitentes isto é, correm apenas alguns meses durante o ano, quando recebem a contribuição de chuvas regionais. Alguns desses rios possuem trechos perenizados artificialmente por restituição de barramentos efetuados.

Enquanto isso, as águas subterrâneas são provenientes de duas áreas nitidamente diferenciadas que são as “bacias sedimentares” e o “embasamento cristalino”. Nas primeiras ocorrem os aquíferos (rochas onde a água se acumula e pode ser liberada) com maior potencialidade que podem fornecer milhões de metros cúbicos anuais, em poços com vazões superiores a 100 m<sup>3</sup>/h, enquanto a segunda, na qual a água se acumula apenas em fraturas, os volumes produzidos são muito baixos, da ordem de 1 a 5 m<sup>3</sup>/h e, em função do clima semi-árido, a qualidade da água é, em grande parte, salinizada, não se prestando para o consumo humano. A figura 1.25 mostra a distribuição das áreas de bacias sedimentares e das áreas cristalinas.

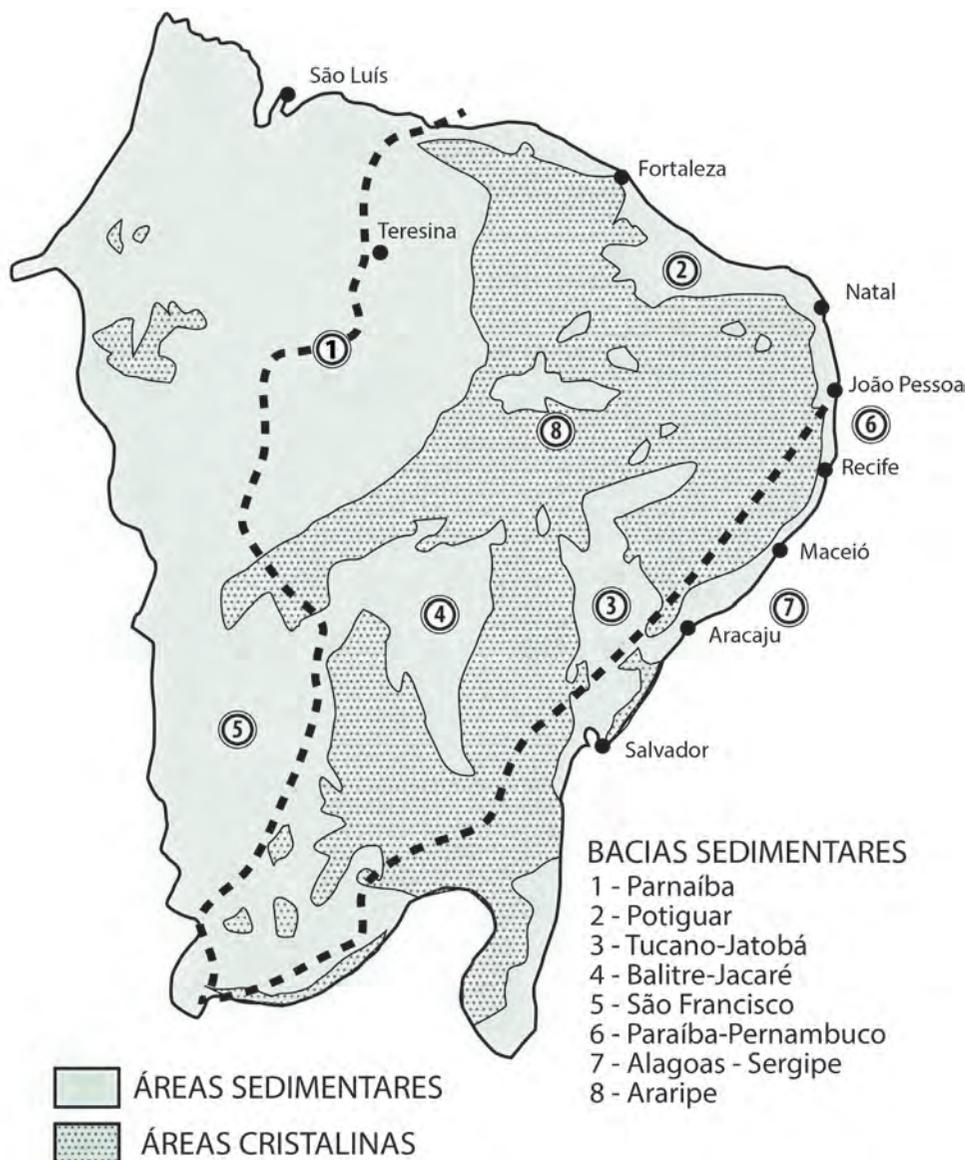


Figura 1.25 – A distribuição das áreas com águas subterrâneas na região nordeste

Fig. 1.25

No capítulo que se segue, serão mostradas as intervenções hídricas que podem ser efetuadas para captação e armazenamento de água da drenagem superficial e dos aquíferos.

## 2 | OBRAS DE INFRAESTRUTURA HÍDRICA

### 2.1. Demandas hídricas: população urbana e rural

**P**ara caracterizar as obras de infraestrutura hídrica, convém distinguir que nível de demanda é requerido para atendimento de água de habitantes de uma região. Em princípio, pode-se relacionar essa demanda a duas situações de distribuição dos habitantes, sobretudo na região semiárida do nordeste:

- a) Aglomerado urbano representado por cidades, vilas e povoados;
- b) Distribuição na zona rural, representada por fazendas, sítios ou residências isoladas.

No primeiro caso, de aglomeração urbana, as demandas são, em geral, elevadas, uma vez que é requerido um atendimento amplo a toda a população, podendo esse atendimento ser individualizado através de uma rede de distribuição domiciliar, ou em atendimentos públicos através de chafarizes distribuídos ao longo da área urbana. Também é comum a situação híbrida em que parte da população possui atendimento domiciliar e outra parte atendimento coletivo.

Enquanto isso, a distribuição na zona rural onde as residências são difusas, o atendimento passa a ser pontual ou, no máximo, coletivo quando as casas de um determinado meio se localizam relativamente próximas uma da outra.

### 2.2. Planejamento, execução, operação e manutenção

A implantação de obras de infraestrutura hídrica requer uma sequência de ações imprescindíveis ao melhor atendimento da demanda hídrica de determinada população.

O planejamento corresponde à fase de estudos prévios a partir de dados existentes e de dados coligidos na região onde se pretende implantar a(s) obra(s). A partir desses estudos é que ira se definir:

- Que tipo(s) de obra(s) será(ão) mais adequado(s);
- Localização dessa(s) obra(s);
- Características e dimensionamento da(s) obra(s);
- Obras complementares necessárias;

- Custos;
- Tempo de execução;
- Equipe necessária para a implantação

A execução trata da operação construtiva da(s) obra(s) planejada(s), através da equipe prevista.

A operação refere-se a que entidade (pública ou privada) ou pessoa física irá se responsabilizar pela operação da(s) obra(s). Para obras públicas de grande porte, como uma barragem, uma adutora, uma estação de tratamento, ou outra similar, a operação será sempre de responsabilidade de uma entidade pública federal, estadual ou municipal, mas, em obras pontuais, como um poço tubular numa propriedade rural, a operação será de responsabilidade do proprietário da obra.

Finalmente, a responsabilidade da manutenção deve sempre ser prevista, a fim de evitar que inúmeras pequenas obras fiquem desativadas, como um cata-vento em que a sola se desgastou ou uma pá quebrou, uma bomba de poço que quebrou, um dessalinizador cujas membranas precisam ser repostas, dentre outras danificações que implicam em paralisações ou abandono de obras de captação de água.

### 2.3. Obras hídricas superficiais

As obras hídricas superficiais podem ser divididas segundo os seguintes critérios:

- a) Obras de armazenamento
- b) Obras de captação
- c) Obras de transposição da água
- d) Obras de irrigação
- e) Obras secundárias de acumulação e distribuição
- f) Obras complementares

#### Obras de armazenamento

Barragem ou Açude – corresponde ao barramento do leito de um rio para permitir a acumulação de consideráveis volumes de água destinados ao abastecimento público, irrigação, uso industrial, lazer, geração de energia, dentre outros usos.

Na região semiárida as três maiores barragens são:

- Castanhão no estado do Ceará com capacidade de acumulação de 6,7 bilhões de m<sup>3</sup>
- Eng<sup>o</sup> Armando Ribeiro Gonçalves no estado do Rio Grande do Norte, com capacidade de acumulação de 2,4 bilhões de m<sup>3</sup>; e
- Orós, também no Ceará, com capacidade de acumulação de 2 bilhões de m<sup>3</sup>.



Fig. 2.1

Figura 2.1- Barragem do Açude de Orós/CE

Barreiro ou Barraginha – pequeno barramento de água de afluentes de rios ou riacho, com capacidade de acumulação de reduzidos volumes de água que, em geral, não conseguem sobreviver ao longo de todo o período de estiagem.

Figura 2.2 – Barreiro logo após o período de chuvas



Fig. 2.2

Implúvio – Obra destinada à captação da água da chuva com reduzido escoamento superficial. O implúvio pode ser uma depressão numa superfície

de terreno semi-horizonta, desprovida de escoamento superficial (riacho) como mostra a figura 2.3 ou através da captação de telhados ou piso como mostrado nas figuras 2.4 e 2.5. A coleta dessa água é recolhida num reservatório denominado de cisterna.



Fig. 2.3

Figura 2.3 – Implúvio com revestimento de cimento



Fig. 2.4

Figura 2.4 – Implúvio aproveitando a calha do telhado com acumulação numa cisterna.



Fig. 2.5

Figura 2.5 – Cisterna de enxurrada, coletando a água que precipita na superfície do terreno

Mandalas – consiste na construção de um tanque em forma de bacia com capacidade em torno de 30.000 litros, sendo abastecida com água de adutora ou açude. Utiliza-se uma bomba para irrigar culturas agrícolas e pode também servir para criação de peixes.

Figura 2.6 – Mandala protegida por tela



Fig. 2.6

### Obras de captação

A captação de águas superficiais pode ser efetuada por bombas instaladas dentro do reservatório (açude) ou “a fio d’água”, isto é, diretamente no leito do rio.

Em ambos os casos a água bombeada é transportada por uma tubulação até o reservatório superficial de onde será posteriormente distribuída para a população.



Fig. 2.7

Figura 2.7 – A foto a esquerda mostra a tomada d’água dentro do açude (ver a parede ao fundo da foto) e a foto à direita mostra a tomada d’água no leito do rio

### Obras de transposição

A água armazenada pode ser transportada até o usuário através de:

- Canais
- Adutoras

Os canais, em geral abertos, são utilizados para transporte da água a grandes distâncias, como de uma bacia para outra (transposição de bacias). Um exemplo a ser mostrado é a transposição do Rio São Francisco a partir da barragem de Sobradinho (entre Pernambuco e Bahia), para os estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia, como mostrado na figura 2.8.



Fig. 2.8

Figura 2.8– Canais de transposição das águas do Rio São Francisco



Fig. 2.9

Figura 2.9 – Canal principal de irrigação por gravidade em Ibimirim/PE

As adutoras conduzem em tubulações as águas de açudes para reservatórios de grande capacidade situados em estações de tratamento, onde a água recebe o adequado tratamento químico e passa à rede de distribuição domiciliar.

## Obras de Irrigação

A irrigação pode ser considerada em escala comercial, nos denominados “perímetros irrigados” podendo ser implantados por órgãos governamentais ou por empresas do “agronegócio e ainda em pequenas áreas, de domínio privado. Vários são os sistemas e modelos de irrigação, podendo ser sintetizados, conforme o Prof. Roberto Testazlaf da Faculdade de Engenharia Agrícola de Campinas, nos seguintes:

### a) Irrigação por superfície

Possivelmente um dos métodos mais antigos de irrigação do mundo é a irrigação por superfície, também conhecida como irrigação por gravidade, pois os agricultores deixam a água escoar sobre o solo, cobrindo-o total ou parcialmente, utilizando a ação da gravidade e possibilitando a infiltração durante essa movimentação e após o seu represamento. Compreende dois sistemas comumente utilizados: por inundação e por sulcos:

- Sistemas de irrigação por inundação: a água é aplicada sobre toda a área de cultivo e se acumula na superfície do solo. Nesse caso, além da água se infiltrar durante a sua movimentação na área, ela pode permanecer acumulada ou represada na superfície de forma permanente, no caso da cultura do arroz (Figura 2.10), ou de forma temporária, no caso de outras culturas.
- Sistemas de irrigação por sulcos: a água é aplicada na área a ser irrigada pela inundação parcial da mesma, acompanhando as linhas da cultura, e escoando por sulcos ou pequenos canais construídos na superfície do solo. Nesse caso, a água se infiltra durante a sua movimentação na área e também no tempo em que permanecer acumulada na superfície do solo após atingir o final do sulco (Figura 2.11).

Figura 2.10 – Irrigação por inundação

Figura 2.11 – Irrigação por sulcos



Fig. 2.10



Fig. 2.11

### b) Irrigação por aspersão

Aspersão é o método de irrigação que aplica água simulando a chuva, ou seja, a água é aplicada sobre as plantas e a superfície do solo na forma de gotas. A água bombeada a partir de uma fonte de água é distribuída por uma rede de tubulações e aspergida (pulverizada) no ar na forma de pequenas gotas. A formação de gotas é obtida pela passagem da água sob pressão através de orifícios existentes em tubulações ou dispositivos mecânicos chamados aspersores ou sprays. Didaticamente, é possível classificar os sistemas de irrigação em dois tipos: aqueles que operam a partir de uma tubulação com aspersores instalados ao longo do seu comprimento, também denominada linha lateral (figura 2.12), e os sistemas que operam a partir do funcionamento de somente um aspersor canhão, ou seja, que opera a altas pressões e vazões (figura 2.13).

Figura 2.12 – Exemplos de sistemas por aspersão com linha lateral: fixas (esquerda), móveis manualmente (centro) e mecanizadas pivô (direita)



Fig. 2.12



Fig. 2.13

### c) Irrigação localizada

A irrigação localizada se baseia no princípio da distribuição “localizada” da água, ou seja, ao invés de se irrigar toda uma área como outros métodos de irrigação, a água é aplicada somente próxima à região radicular das plantas, permitindo o seu melhor aproveitamento. A irrigação localizada permite a aplicação de um pequeno volume de água com alta frequência de aplicação. O método abrange os seguintes sistemas de operação:

- Sistema de Irrigação por Gotejamento

A irrigação por gotejamento se caracteriza por aplicar pequenos volumes de água, na forma de gotas, com alta frequência em regiões próximas à zona

Figura 2.13 – Exemplos de sistemas de irrigação por aspersão que operam com aspersor tipo canhão: estacionário (esquerda) ou em movimento: tracionado por cabos de aço (centro) e pela própria mangueira (direita).

radicular das plantas, molhando uma fração da superfície do solo, reduzindo as perdas e apresentando altos valores de eficiência de aplicação de água quando comparada aos sistemas de aspersão e superfície (Figura 2.14). Essa metodologia é também conhecida como “xique-xique”.

- Sistema de Irrigação por Microaspersão

Diferentemente do gotejamento que aplica a água na forma de gotas diretamente sobre o solo, na irrigação por microaspersão, os emissores operam em pequenos jatos que são lançados no ar, viajando por uma pequena distância antes de atingir o solo (Figura 2.15).



Fig. 2.14



Fig. 2.15

Figura 2.14 – Irrigação por gotejamento

Figura 2.15 – Irrigação por microaspersor

d) Irrigação subsuperficial

A irrigação subsuperficial também chamada de irrigação subterrânea ou subirrigação se caracteriza por aplicar a água abaixo da superfície do solo e, preferencialmente, dentro do volume explorado pelo sistema radicular das culturas, controlando artificialmente o nível freático ou zona de saturação e mantendo-o a uma profundidade ideal para que a água suba até as raízes por capilaridade (Figura 2.16).

Figura 2.16: Exemplo de aplicação da irrigação superficial por meio de gotejamento subterrâneo na cultura do tomate



Fig. 2.16

Outra maneira de se conseguir a elevação do nível freático é com a construção de uma barragem subterrânea.

Ainda existem outros sistemas de irrigação que são pouco usais sobretudo no Brasil, como o gotejamento subsuperficial, a subirrigação em ambiente protegido, o sistema hidropônico, dentre outros.

### Obras de acumulação e distribuição

A água transportada pelas adutoras pode ser armazenada em caixas d'água enterradas ou suspensas e daí ser distribuída na rede domiciliar ou abastecer chafarizes de uso coletivo.



Fig. 2.17

Figura 2.17 – Chafariz de uso coletivo implantado em caixa d'água de PVC com capacidade de 10.000 litros. A foto também revela um caso típico de desperdício de água

### Obras complementares

Como obras complementares podem ser construídos bebedouros de animais, lavanderias públicas, etc.



Fig. 2.18



Figura 2.18 – Lavanderia pública de uso coletivo (à esquerda) e bebedouro de animais (à direita)

## 2.4. Obras hídricas subterrâneas

As obras hídricas subterrâneas também podem ser divididas segundo os seguintes critérios:

- a) Obras de armazenamento
- b) Obras de captação
- c) Obras de transposição da água
- d) Obras secundárias de acumulação e distribuição
- e) Obras complementares

### Obras de armazenamento

Os aquíferos de largas dimensões (extensão e espessura) como as camadas porosas e permeáveis de bacias sedimentares já constituem reservatórios naturais e não necessitam de obras para armazenamento de água, mas apenas para sua captação.

Os aquíferos de reduzidas dimensões como os aluviões de rios e riachos necessitam de obras de armazenamento para reter a água que se infiltra no período chuvoso e escoam subterraneamente durante o período de estiagem.

- Barragem de assoreamento

Quando o curso d'água é pobre em depósitos (aluviões), pode-se construir uma “barragem de assoreamento” (ou barragem de enchimento) que pode ser natural, ou seja, ser preenchida apenas pela deposição de detritos pelo rio, ou artificial quando o homem providencia o enchimento da barragem por sedimentos transportados de outras localidades.

A figura 2.19 mostra uma barragem de assoreamento natural, com um poço de captação construído a montante da parede e uma barragem de assoreamento construída artificialmente, pelo enchimento de sedimentos transportados de outra localidade.

Figura 2.19 – Barragem de assoreamento natural à esquerda e artificial à direita



Fig. 2.19

- Barragem subterrânea

Essa obra somente pode ser construída quando já existe uma camada de depósitos aluviais (sedimentos de rios ou riachos) e que não conserva a água durante o período de estiagem, fazendo com que as obras de captação nele instaladas fiquem sem água ao longo do ano.

A sua construção é muito simples, de baixo custo e rápida, podendo, se mecanizada, ser construída em um ou dois dias.

Consiste na escavação de uma vala transversal ao leito do rio, até alcançar a rocha inalterada; coloca-se então uma lona plástica na parede da vala contrária ao fluxo do rio, constrói-se um poço amazonas para poder captar a água a ser armazenada, depois se recoloca o material escavado e constrói-se um enrocamento de pedras a jusante para amortizar a velocidade de escoamento das águas do rio, facilitando assim a infiltração da água.

A foto 2.20 mostra a as etapas de escavação e impermeabilização na construção da barragem subterrânea, enquanto a foto 2.21 mostra a colocação do poço amazonas e o enrocamento na superfície, após o enchimento da vala com o material retirado.

Figura 2.20 – Etapas de escavação com uma retro-escavadeira (a) e a colocação da lona para impermeabilização da parede (b).  
a) Escavação  
b) colocação da lona



Fig. 2.20 | a



Fig. 2.20 | b



Fig. 2.21 | a



Fig. 2.21 | b

Figura 2.21 – Etapa da construção de dos poços amazonas (no caso em tela optou-se por dois poços) em (a) e a construção do enrocamento em (b).  
a) Construção poço amazonas  
b) construção do enrocamento

A construção de uma barragem subterrânea requer estudos preliminares para averiguar o melhor trecho do rio onde se deve efetuar o barramento, levando-se em conta ainda a inclinação do terreno, a granulometria do material aluvial (arenoso ou argiloso), a existência de “soleiras” naturais do embasamento rochoso, a espessura do depósito aluvial, e ainda, a qualidade da água em poços amazonas existentes nas proximidades do local onde se deseja implantar o barramento.

### Obras de captação

A captação de águas subterrâneas utiliza principalmente o poço. Quando de reduzido diâmetro (<0,20m) denomina-se “poço tubular” que também pode ser chamado de “poço artesiano” quando a água sobe do local onde foi encontrada podendo vir a jorrar na superfície do terreno. O poço de grande diâmetro, que varia desde 1m até 10m, é denominado de “poço amazonas”.

O poço tubular é perfurado com equipamento próprio denominado de “perfuratriz” que, a depender da potência, pode alcançar profundidades superiores a 1.000 m (figura 2.22). A sua construção requer acabamento diferenciado quando se tratar de rocha sedimentar, em que o poço é totalmente revestido e com filtros, do poço em rocha cristalina (aquífero fissural) quando o revestimento fica restrito à parte mais superficial, onde a rocha se acha decomposta (ver figura 2.23)

Figura 2.22 – À esquerda perfuratriz do sistema rotativo e à direita perfuratriz do sistema percussor



Fig. 2.22

A perfuratriz rotativa é a mais empregada para poços em sedimento enquanto a perfuratriz percussora ou roto-pneumática é utilizada para rochas cristalinas.

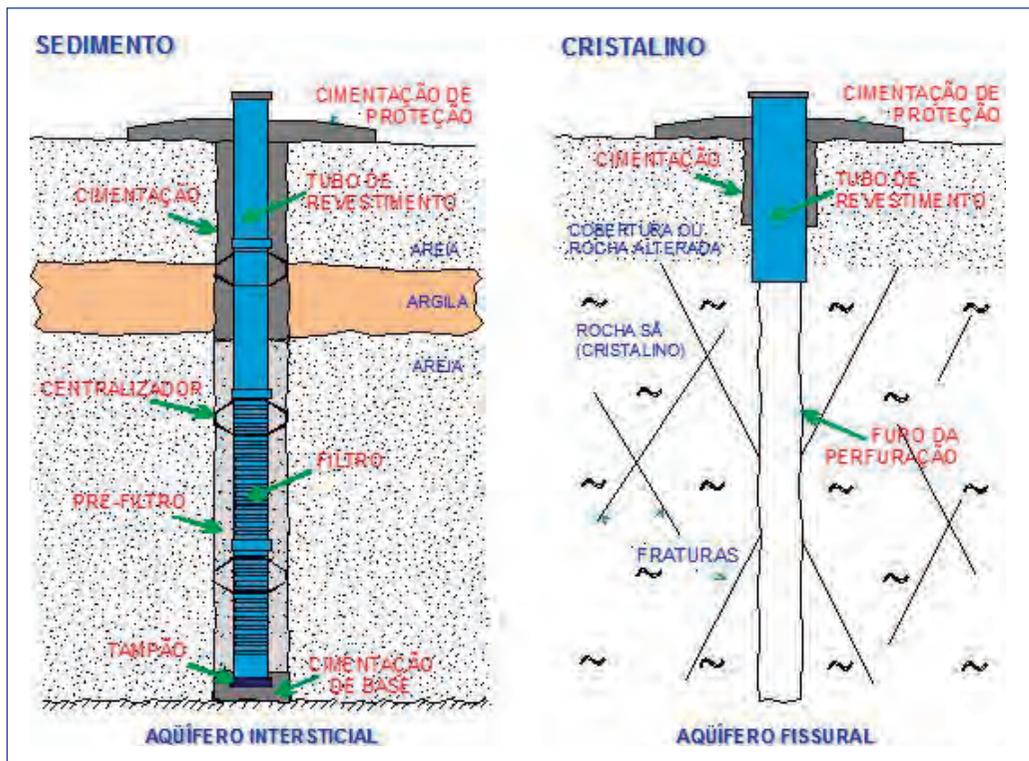


Fig. 2.23

Figura 2.23 – Esquema de um poço perfurado em rocha porosa e outro em rocha cristalina.

O poço amazonas pode ser construído, de um modo geral de duas maneiras: em tijolos untados com argamassa de cimento/areia/cal, ou com anéis de concreto pré-moldados (figura 2.24). Também pode ser construído com drenos radiais para aumentar a entrada de água e vazão do poço.



Fig. 2.24



Figura 2.24 – Acima poço amazonas construído com tijolos e argamassa e revestido com tela de nylon; ao lado poço amazonas construído com anéis de concreto previamente perfurados e revestidos com tela de nylon.

Outra obra de captação de águas subterrâneas é a “fonte de encosta” (figura 2.25) conhecida popularmente como “olho d’água” e que se constitui numa exutório natural (saída) da água subterrânea para a superfície.

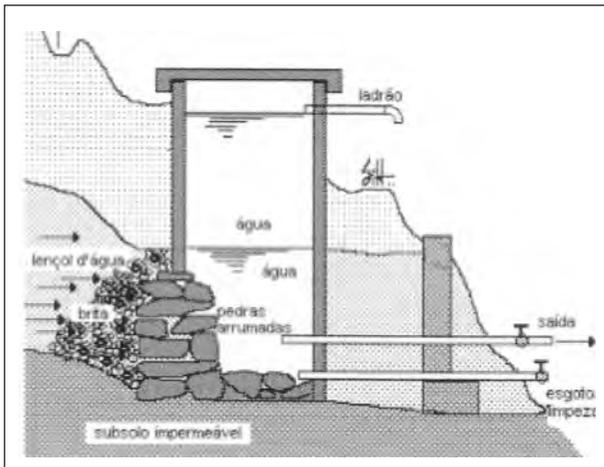


Fig. 2.25

Figura 2.25 –  
Diversas maneiras de aproveitamento de uma fonte de encosta.

### Obras de transposição da água

A transposição da água do poço pode ser feita por bomba elétrica, bomba a diesel, compressor de ar, cata-vento ou ainda por bomba manual. Os tipos de bomba mais utilizados são a submersa, a injetora e a centrífuga (figuras 2.26 e 2.27).

A fonte de energia mais utilizada é a elétrica, entretanto são também utilizadas a energia eólica e a energia solar (figura 2.28)

O uso de combustível, principalmente o óleo diesel, e da bomba manual são geralmente empregados em locais de baixa renda familiar ou onde inexistente rede elétrica.

Figura 2.26 – Acima dois tipos de bomba, à esquerda bomba submersa e à direita bomba centrífuga



Fig. 2.26

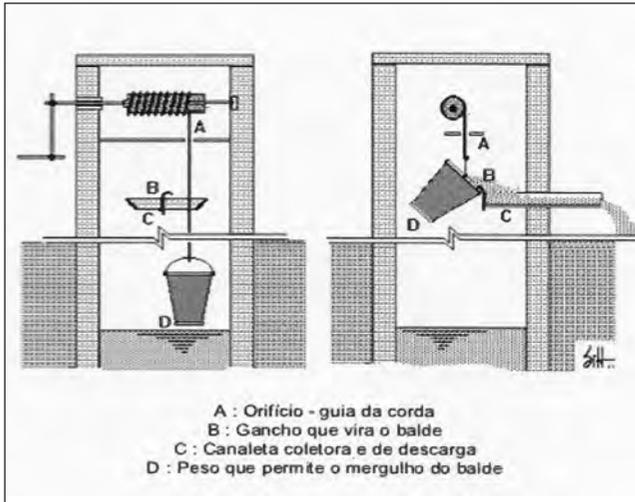


Fig. 2.27



Figura 2.27 – Duas modalidades distintas de captação manual.



Fig. 2.28

## Obras secundárias de acumulação e distribuição

A transposição é feita desde o local de captação até o destino que, em geral, é um reservatório de PVC ou caixa fechada construída de tijolo, podendo ficar em terra, ou elevada.



Figura 2.28 – À esquerda caixa d'água com placas de energia solar no topo; o poço se encontra por trás da caixa d'água sendo bombeado com a energia das placas; à direita um cata-vento que usa a energia eólica para captação por pistoneamento da água do poço.

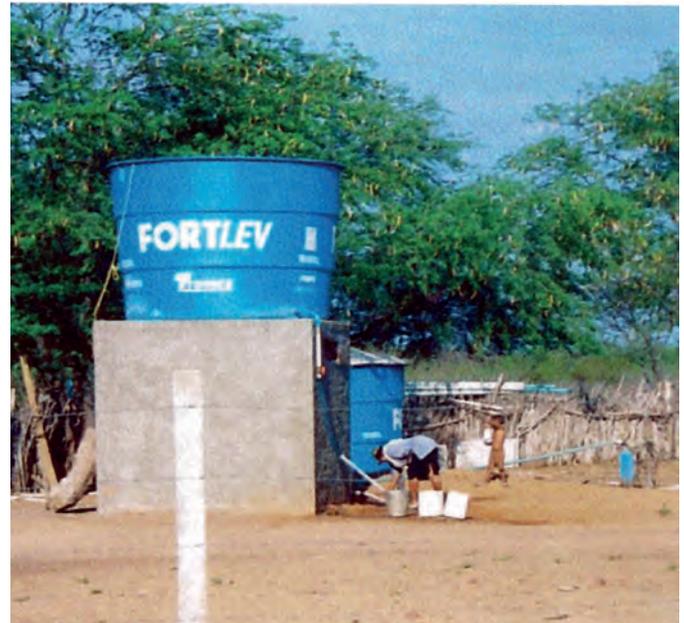
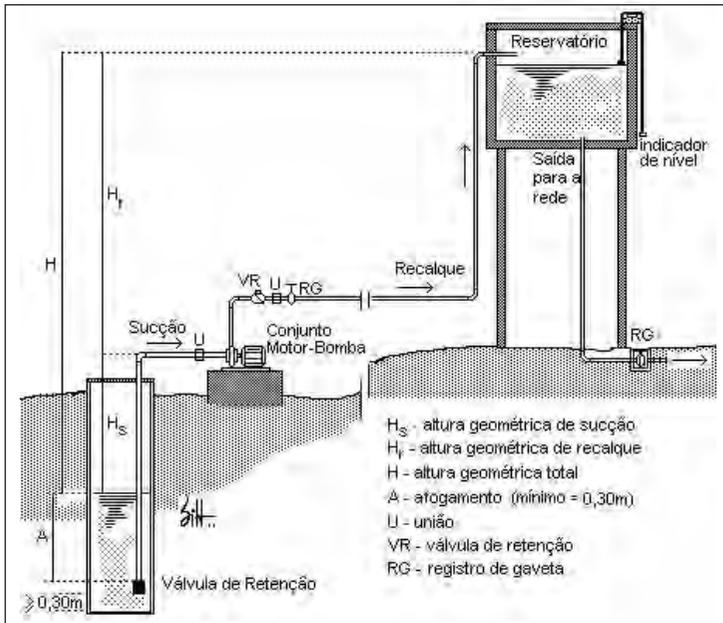


Fig. 2.29

Figura 2.29 – À esquerda um esquema da transposição e acumulação em caixa d'água elevada e à direita uma caixa de PVC servindo a água para uso coletivo por meio de um chafariz na sua base.

Eventualmente a distribuição da água é feita através de uma rede domiciliar.

### Obras complementares

Além das obras já citadas para o caso das águas superficiais, tais como lavanderias e bebedouros para animais, outro tipo de obra complementar que é utilizada, sobretudo em projetos de irrigação, é a construção de um tanque de lona numa escavação do solo para onde são bombeados dois ou mais poços e daí são bombeadas vazões mais elevadas para irrigação (figura 2.30)



Fig. 2.30

Figura 2.30 – à esquerda poços bombeando para tanque e à direita irrigação com a água bombeada do tanque.

### Kit de sobrevivência hídrica

Supondo a existência de condições naturais, pode-se efetuar um conjunto de obras para cada conjunto de famílias habitantes num raio de 1 km, que

venha a atender às perspectivas de uso da água para consumo humano, pequena irrigação familiar e manutenção de animais domésticos e de suprimento animal (vacas, ovelhas, etc.).

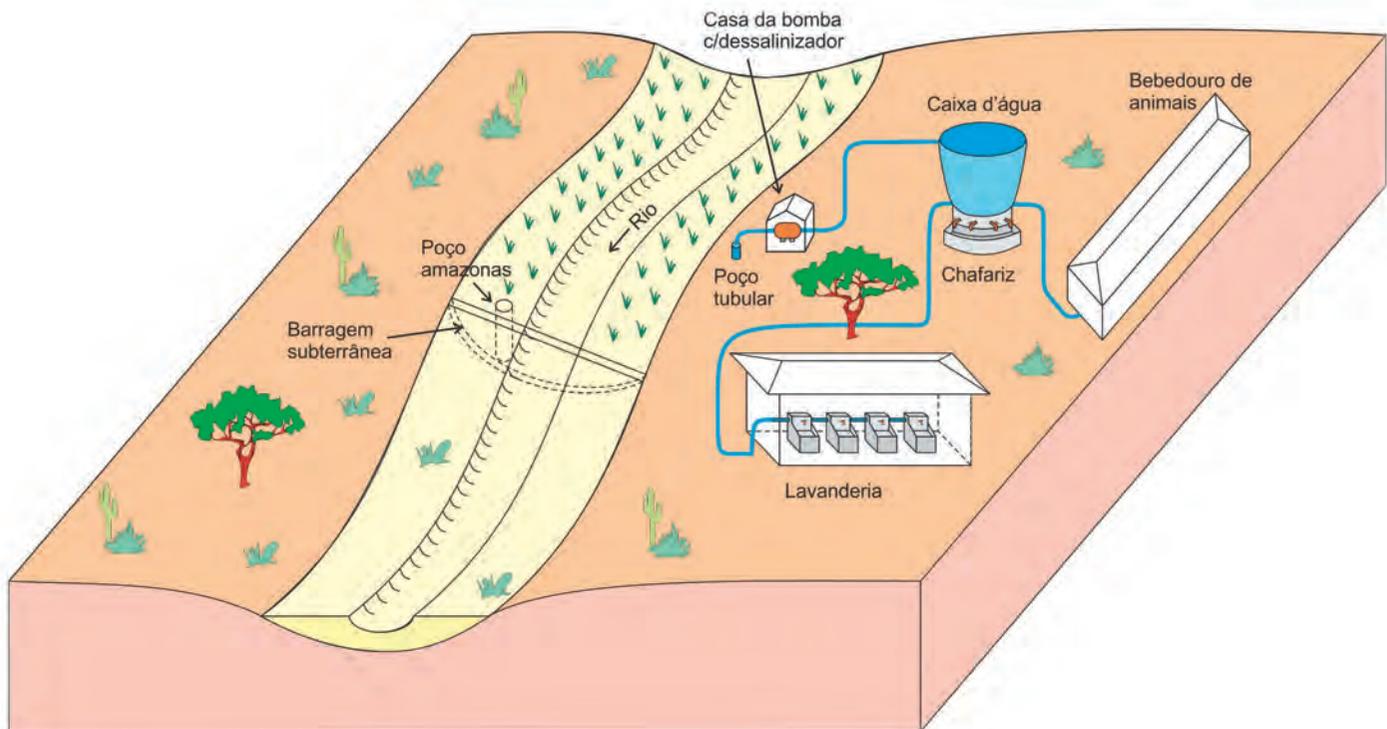


Fig. 2.31

Figura 2.31 –  
Esquema do Kit de  
sobrevivência hídrica

Esse kit de sobrevivência constaria de:

- Uma barragem subterrânea dotada de um poço amazonas a montante
- Um poço tubular dotado de bomba submersa ou centrífuga
- Uma casa de bomba onde seriam instalados: a bomba para captação da água do poço tubular e do poço amazonas além de um dessalinizador (opcionalmente se a água for salinizada);
- Uma caixa d'água dotada de chafariz na sua base;
- Uma lavanderia coletiva
- Um bebedouro para animais
- Área com plantação de culturas de subsistência nos terraços aluviais do rio.

## REALIZAÇÃO:



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

## APOIO:

Academia Pernambucana de Ciências Agrárias  
Academia Pernambucana de Ciências



Rotary



## Convivendo com a seca

“O Rotary sempre esteve envolvido com ações voltadas para atender às populações do Nordeste atingidas pelas longas estiagens, causadoras de grandes prejuízos socioeconômicos, uma vez que os governos nem sempre tem encarado o problema de forma sistemática e objetiva. Por isso, como Governador do Distrito 4500 do Rotary International, que abrange vastas áreas de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, sinto-me à vontade para louvar a iniciativa do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia /PE e de outros importantes parceiros desses estados. Eles se unem, agora, sob a coordenação do rotariano e engenheiro Mário de Oliveira Antonino para uma grande iniciativa visando enfrentar esse tema secular com projetos de convivência com a seca, por meio da exploração dos recursos hídricos das mais diferentes formas em amplas áreas castigadas pelo flagelo do fenômeno das secas”.

***Eduardo Carneiro Mota***

Governador do Distrito 4500 do Rotary International