

## ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- Conceito
- Origem ; O Ciclo Hidrológico
- Características
- Importância
- Vantagens da Utilização
- Qualidade das Águas
- Ocorrências das Águas Subterrâneas
- Classificação dos Aquíferos
- Parâmetros Hidrogeológicos Fundamentais
- Gerenciamento de Águas Subterrâneas
- Procedimentos para Outorga em Mananciais Sub. na Bahia

## ÁGUA SUBTERRÂNEA : CONCEITO

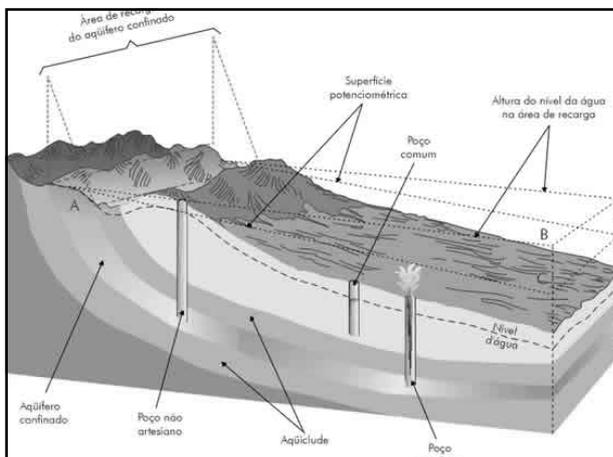
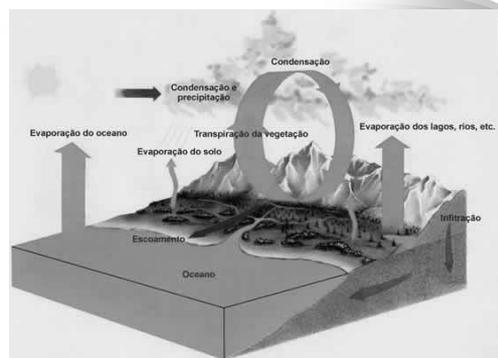
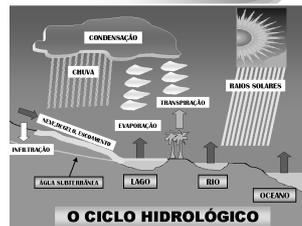
- Hidrologia de Água Subterrânea é uma subdivisão da hidrologia que trata da ocorrência, do movimento e da qualidade da água sob a superfície da terra (Ralph C. Heart, Hidrologia Básica de Água Subterrânea, 1982).

Abrange não só aspectos de produção de água mas também problemas de poluição e descontaminação de aquíferos

**Origem :** Fontes de água do oceano ou de água doce

↓ Ciclo da água na natureza

↓ Parcela da água Subterrânea



## CARACTERÍSTICAS :

- Movimento lento  
 $V_{sup} = 1 \text{ m/s}$   $V_{subt} = 1 \text{ m/dia}$
- Fluxo laminar
- Tempo de residência médio: 280 anos
- Recarga anual muito pequena
- Enorme volume de poros

### CARACTERÍSTICAS

- A importância das águas subterrâneas como fonte de abastecimento doméstico, industrial ou agrícola, em comparação com as águas de superfície provenientes de rios, lagos, lagoas e represas, tende a crescer e se explica por diversos fatores relevantes :
- Localização – fontes ou nascentes e poços são pontuais, enquanto que as águas superficiais escoam segundo caminhos curvilíneos e a sua utilização, geralmente requer a construção de barragens;
- Fluxo e disponibilidade – flutuações climáticas no fluxo de águas superficiais, inclusive com intermitência, podem ocorrer em períodos de estiagem e de mais alta demanda. Já nas águas subterrâneas, as flutuações de nível d'água produzidas por influências climáticas são geralmente muito pequenas em relação às espessuras dos aquíferos

### CARACTERÍSTICAS

- Variabilidade sazonal e anual – as flutuações sazonais e anuais são muito mais pronunciadas no fluxo superficial do que no fluxo subterrâneo;
- Energia – a elevação da água subterrânea até a superfície do terreno implica em consumo de energia. Apesar dos custos de construção de poços são pequenos, os custos operacionais são relativamente altos.
- Qualidade de água - em geral, a água subterrânea não apresenta maiores problemas de contaminação física ou biológica.
- Impactos em problemas de drenagem – o rebaixamento do nível freático por bombeamentos pode solucionar problemas de drenagem em áreas alagadas por afloramento do nível de água. Isto inclusive pode reduzir a evapotranspiração e, portanto, produzir um aumento na qualidade de água disponível para utilização.

### CARACTERÍSTICAS

- Subsídências de terras – quando a água é bombeada de um aquífero confinado, a tensão intergranular na matriz sólida aumenta, mesmo que não haja aumento de carga na superfície do solo, o que pode levar a subsidência de terras.
- Dados e informações – as principais fontes de informação sobre o movimento, a acumulação e a qualidade da água em um aquífero, são as medições de níveis de água e de concentrações de solutos em poços de observação.
- Desenvolvimento gradual – como a água subterrânea é utilizada através de poços e cada poço representa um incremento anual nas retiradas de água, geralmente na mesma área de consumo, o atendimento das demandas pode ser planejado.

### Importância das Águas Subterrâneas

Oceanos	= $1350 \times 10^{15} \text{ m}^3$	=> 97%
Geleiras	= $25 \times 10^{15} \text{ m}^3$	=> 1,8%
Águas subterrâneas	= $8,4 \times 10^{15} \text{ m}^3$	=> 0,6%
Rios e Lagos	= $0,2 \times 10^{15} \text{ m}^3$	=> 0,01%
Biosfera	= $0,0006 \times 10^{15} \text{ m}^3$	=> 0,00004%
Atmosfera	= $0,013 \times 10^{15} \text{ m}^3$	=> 0,0009%

Água doce = 3%

97% da água doce disponível são águas subterrâneas

### IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- Mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo e, portanto, menos de 3% da água potável disponível no planeta provém das águas de superfície
- No período de 1970-1995 foram perfurados no mundo cerca de 300 milhões de poços (UNESCO, 1992). As águas provenientes desses poços abastecem mais de 50% da população do planeta e para a irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares
- Os Estados Unidos perfuram em média 400000 poços por ano, com os quais garantem a irrigação de 13 milhões de hectares
- No Brasil, mesmo sem um controle rigoroso sobre o uso das águas subterrâneas 61% da população é abastecida com água subterrânea, sendo que 43% através de poços tubulares, 12% por fontes ou nascentes e 6% por poços escavados (tipo amazonas)

### IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- No Nordeste, parcelas significativas do abastecimento público de várias cidades importantes (por exemplo, Maceió, Recife e Olinda, Natal e Mossoró) são fornecidas por poços
- Enquanto as águas superficiais se renovam em períodos muito curtos, as águas subterrâneas são águas armazenadas que se acumularam ao longo de milhares de anos esse encontram, em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, o seu movimento é muito lento, implicando em tempo de trânsito muito longo

## VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO

- Geralmente dispensa tratamento (salvo em casos de contaminação natural e/ou superficial)
- Menor risco sanitário
- O custo de construção de poços é geralmente menor que o custo das obras de captação de água superficial
- Geralmente dispensa adutoras
- Reserva confiável se não for super explorada

Desvantagem : quando a contaminação acontece, a remoção é muito difícil, algumas vezes sendo irreversível

## QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

- Em geral, a água subterrânea não apresenta maiores problemas de contaminação física ou biológica
- A água subterrânea, embora menos vulnerável, também pode ser afetada por contaminantes provenientes de perdas em redes de esgotos, derramamentos de petróleo, intrusões de água de qualidade inferior etc.

## OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

- Quando a água se infiltra no solo, avança verticalmente pela força da gravidade, através dos poros (espaços vazios) existentes entre os grãos até chegar ao reservatório subt.
- O reservatório subterrâneo é constituído por espaços ou poros das rochas, que são conectados entre si.
- As Águas Subterrâneas armazenam-se nos aquíferos

## OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

### EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

- Evaporação ou vaporização, é o processo pelo qual as moléculas de água na superfície líquida ou na umidade do solo, adquirem suficiente energia, através da radiação solar e passam do estado líquido para o de vapor.
- Transpiração – é o processo pelo qual as plantas perdem água para a atmosfera.
- Visto que na prática tanto a transpiração das plantas como evaporação do solo grandezas difíceis de serem medidas, um valor máximo da combinação destas grandezas, a evapotranspiração potencial, foi criado (Thornthwaite, 1948).

## OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

### EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

- Evapotranspiração potencial (ETP) – limite superior para a evapotranspiração real (ETR);
- Evapotranspiração real - quantidade de água que realmente volta a atmosfera por evaporação e transpiração.
- Evapotranspiração real – pode ser estimada a partir da diferença entre precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP)

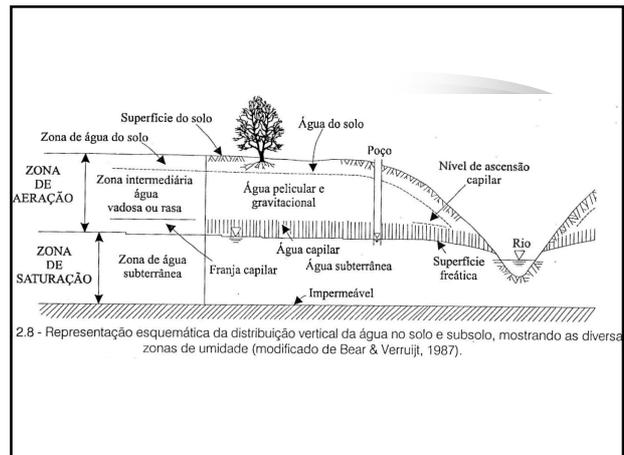
- Se  $P - ETP > 0 \rightarrow ETR = ETP$
- Se  $P - ETP < 0 \rightarrow ETR = P$

## DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

- A água contida no solo e nas formações geológicas é dividida ao longo da vertical basicamente em duas zonas, saturada e não saturada, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que é ocupado pela água
- Zona saturada ou zona de saturação – fica abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes no terreno estão preenchidos com água.
- A superfície freática é definida como o lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida à pressão atmosférica

## **DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

- Zona não saturada, zona de aeração ou zona vadosa ( $\cong$ rasa) – situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases (principalmente vapor de água) e por água
- De baixo para cima essa zona divide-se em três partes –
- Zona capilar;
- Zona intermediária;
- Zona de água no solo ou zona de evapotranspiração



## **DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

- ZONA CAPILAR – se estende da superfície até o limite de ascensão capilar da água. A sua espessura depende, principalmente, da distribuição de tamanho dos poros e da homogeneidade do terreno.
- Próximo da superfície freática os poros encontram-se, praticamente, saturados. Por outro lado, nas partes superiores, apenas os poros menores estão preenchidos com água, criando uma forma irregular de na distribuição de água.
- Adota-se o conceito de franja capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (próximo de 75%)

## **DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

- ZONA INTERMEDIÁRIA – compreendida entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas.
- A umidade existente nesta zona origina-se de água capilar isolada, fora do alcance das raízes e a água de retenção por forças não capilares

## **DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

- ZONA DE ÁGUA DO SOLO OU ZONA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO – situa-se entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno. Sua espessura, portanto, pode variar de acordo com a cobertura vegetal.
- Nesse domínio as plantas utilizam, para a suas funções de transpiração e nutrição, água capilar isolada ou suspensa.

## **DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

- ÁGUA NA ZONA DE AERAÇÃO
- Teor de umidade - quantidade total de água que pode ser extraída de uma amostra de solo em laboratório;
- As forças que retêm esta água no solo podem ser de dois tipos:
  - Forças de atração elétrica;
  - Forças capilares;
  - Forças de atração gravitacional
- Água retida por atração elétrica – água higroscópica, água pelicular.
- \* não são interessantes do ponto de vista hidrogeológico porque não se movem sob a ação da gravidade

## DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

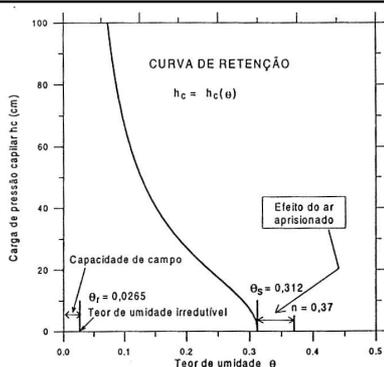
- **ÁGUA NA ZONA DE AERAÇÃO**
- Forças capilares – no contato de dois fluidos não miscíveis, como água e ar, existe uma diferença de pressão na interface que os separa, produzida pela tensão interfacial ou tensão superficial atuante sobre as fases em contato;
- A água é retida pelos finos canalículos cheios de ar existentes no solo → forças capilares;
- O diferencial de tensão entre as duas fases (ar e água) em contato ( $P_{ar} - P_{agua} = P_{capilar}$ ) é chamado pressão capilar;
- A magnitude da pressão capilar é uma medida da tendência de um meio poroso parcialmente saturado succionar a água, repelindo o ar;
- Em física do solo a pressão capilar é também chamada de sucção ou tensão

## DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

- **FRANJA CAPILAR**
- A distribuição granulométrica é fator determinante para o tamanho dos poros e, por conseqüência, da altura máxima da ascensão capilar,  $h_c$ .
- O fato acima faz com que, nas condições reais de campo, o limite superior da zona capilar seja bastante irregular.

Material	Diâmetro efetivo (cm)	Altura de ascensão capilar (cm)	
		Equação (2.9)	Equação (2.8)
Cascalho fino	1	1	0,3
Areia grosseira	0,2	5	1,5
Areia média	0,05	21	6
Areia fina	0,025	42	12
Areia muito fina	0,010	105	31
Silte	0,005	210	31

abela 2.1 - Comparação entre as alturas de ascensão capilar em meios porosos granulares de texturas diversas (para  $\eta = 0,3$ ) e em um tubo capilar de raio  $r = d_{10} / 2$ .



## DRISTIBUIÇÃO VERTICAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

- **ÁGUA NA ZONA SATURADA**
- Na hidrogeologia a denominação de água subterrânea é atribuída apenas à água que circula na zona saturada, isto é, na zona situada abaixo da superfície freática;

## AQUÍFEROS

É uma formação geológica (ou grupo de formações) que contém água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas (formações permeáveis como areias e arenitos)

## AQUICLUDE

É uma formação impermeável que pode conter água, mas que é incapaz de transmitir quantidades significativas da mesma (ex. camadas de argila)

## AQUITARDE

É uma formação geológica de natureza semipermeável. Transmite água a uma taxa muito baixa, comparada com a do aquífero

## AQUÍFUGO

É uma formação sem interstícios interconectados, incapaz de absorver ou transmitir água

## TIPOS DE AQUÍFEROS

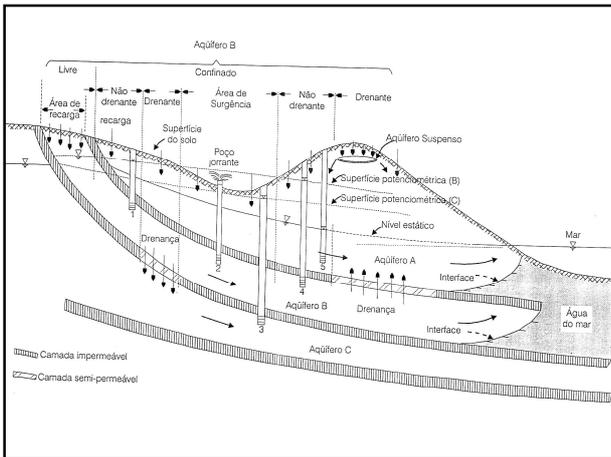
- Os aquíferos podem ser classificados de acordo com:
  - A pressão das águas nas suas superfícies limítrofes;
  - A capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes
- Quanto a pressão na sua superfície limítrofe
- Aquífero confinado – também chamado sob pressão, é aquele no qual a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica. Pode ser de dois tipos
  - Confinado drenante;
  - Confinado não-drenante;

## TIPOS DE AQUÍFEROS

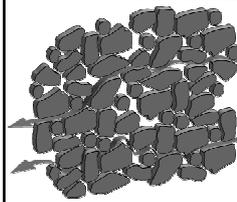
- **Aquífero confinado não drenante** – é aquele cujas camadas limítrofes, superior e inferior, são impermeáveis.
- **Aquífero confinado drenante** – é aquele no qual pelo menos uma das camadas limítrofes é semi-permeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base, por drenança ascendente ou descendente.
- **Aquífero livre** – (também chamado de freático ou não confinado) – é aquele cujo limite superior é a superfície freática, na qual todos os pontos se encontra a pressão atmosférica..

## TIPOS DE AQUÍFEROS

- As áreas de recarga dos aquíferos confinados são aquíferos livres através dos quais os excessos de água da chuva conseguem penetrar por infiltração.
- A magnitude e a direção das filtrações verticais ou drenanças são determinadas pelas elevações das superfícies potenciométricas de cada um desses aquíferos.
- Aquífero suspenso – caso especial do aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno.



## Tipicamente os aquíferos são formados por :



Areias e cascalhos em planícies aluviais

Arenitos

Basaltos fraturados

Calcários

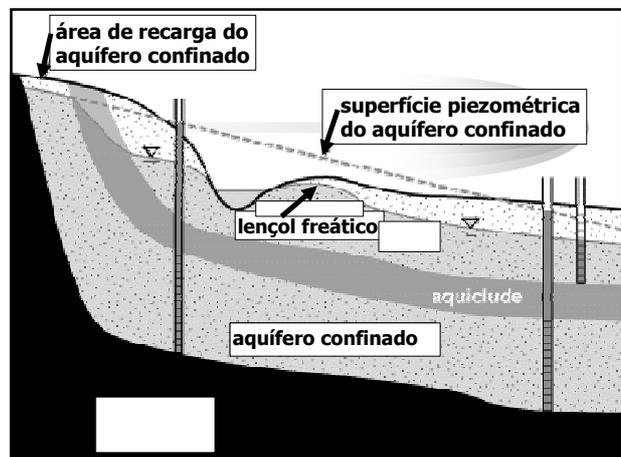
## Classificação dos aquíferos

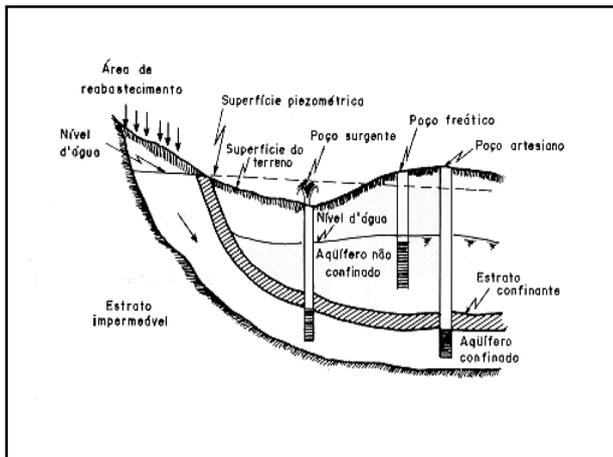
### Freáticos ou livres

possuem uma superfície freática (lençol freático), que é a superfície superior da camada saturada, sujeita à pressão atmosférica

### Artesianos ou confinados

são camadas geológicas saturadas sujeitas a pressão maior que a atmosférica, devido à existência de uma camada confinante pouco permeável (aquitarde)





## Geologia da Água Subterrânea

- A natureza e a distribuição dos aquíferos e aquíferos são controladas pela litologia, estratigrafia e estrutura das formações geológicas.
- A litologia trata da composição mineral, da distribuição de tamanho dos grãos e do grau de compactação dos sedimentos ou rochas constituintes do arcabouço geológico.
- A estratigrafia descreve as relações geométricas e cronológicas entre os vários elementos constituintes do sistema geológico.

## Geologia da Água Subterrânea

- A estrutura diz respeito às características geométricas produzidas no sistema geológico por deformação após deposição ou cristalização, como é o caso das juntas, fraturas, falhas e dobras.
- O conhecimento da geologia de uma região, isto é, da sua litoestratigrafia e estrutura, é o ponto de partida para a compreensão da distribuição espacial dos aquíferos e aquíferos.

## Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em sedimentos inconsolidados

- A ocorrência de água subterrânea em sedimentos pouco consolidados apresenta muitas vantagens do ponto de vista do aproveitamento. Dentre as razões desta afirmação, temos:
  - São fáceis de escavar ou perfurar, o que torna a investigação rápida e menos onerosas.
  - São geralmente encontrados em vales e em áreas onde os níveis da água subterrânea se apresentam pouco profundos, possibilitando o bombeamento com pequenos recalques.
  - Situam-se, freqüentemente, em locais favoráveis à recarga a partir de rios, riachos e lagoas e até mesmo da infiltração direta das chuvas.

## Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em sedimentos inconsolidados

- Dentre os sedimentos inconsolidados os mais importantes são os aluviões, as dunas e alguns depósitos colúvies.
- As coberturas aluviais, embora não sejam depósitos sedimentares no sentido usual do termo, possuem muitas características hidrogeológicas em comum com alúvies e colúvies.

## Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em sedimentos inconsolidados

- Aluviões – a distribuição de argila, silte, areia e cascalho nos depósitos aluviais é muito complexa.
- Devido a mobilidade dos leitos dos rios e às constantes variações de velocidade de sedimentação das partículas sólidas, os depósitos aluviais possuem características texturais muito variadas, o que produz muita heterogeneidade na distribuição das propriedades hidráulicas.
- A investigação detalhada através de sondagens pode levar à caracterização de um padrão até certo ponto previsível da delimitação das zonas aquíferas.

### Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em sedimentos inconsolidados

- Dunas – materiais como areias e silte, que são transportados e depositados pelo vento são conhecidos como depósitos eólicos. É o caso das dunas formadas ao longo das regiões costeiras e, às vezes, em áreas interiores nas quais as chuvas são esparsas e existem areias disponíveis para transporte e deposição pelo vento.
- As areias eólicas apresentam textura uniforme com grãos arredondados e partículas distribuídas na faixa de granulometria de média a fina, são moderadamente permeáveis ( $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  m/s) e formam aquíferos em áreas onde existe suficiente espessura saturada.

### Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em sedimentos inconsolidados

- As dunas, ao contrário dos aluviões, tendem a ser muito homogêneas, em escala local e muitas vezes em escala regional.

### Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em Rochas Sedimentares

- No domínio dos sedimentos consolidados, as rochas mais importantes como aquíferos são aquelas que apresentam de regular a boa permeabilidade
- As rochas pouco permeáveis, como arenitos muito argilosos e siltitos, comportam-se como aquitards, devido a sua baixa capacidade de transmissão de água.
- Finalmente, os argilitos e folhelhos por serem praticamente impermeáveis classificam-se como aquícludes.

### Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em Rochas Sedimentares

- Arenitos - a nível global, os arenitos formam aquíferos regionais que armazenam grandes quantidade de água potável. As formações areníticas de maior expressão hidrogeológicas possuem origens em ambientes fluviais, eólicos, deltaicos e marinho;
- Apresentam porosidade mais baixas do que as areias pouco consolidadas, devido a compactação e cimentação de parte dos vazios existentes entre os grãos (+-1%).
- A tendência dos grandes valores de condutividade ocorrerem na direção horizontal e é substituída por uma maior condutividade de fraturas ao longo da vertical.

### Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em Rochas Ígneas e Metamórficas

- Porosidade e permeabilidade primárias – amostras sólidas e não fraturadas de rochas ígneas e metamórficas possuem porosidades praticamente nulas. Os vazios intercrystalinos condicionantes da porosidade são mínimos e não interconectados ( $K=10^{-13}$  m/s);
- As fraturas criam uma porosidade secundária, responsável pelo armazenamento e uma permeabilidade que também se expressa como uma condutividade hidráulica (m/s), responsável pela circulação da água subterrânea;
- Alguns estudos efetuados sugerem que a permeabilidade média das rochas ígneas e metamórficas decresce rapidamente com a profundidade;

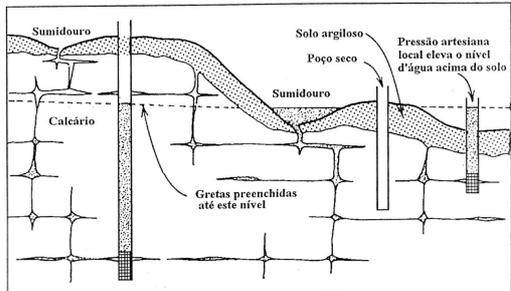


Figura 2.15 - Ilustração esquemática da ocorrência de água subterrânea numa rocha carbonácea na qual a permeabilidade secundária ocorre ao longo dos planos de acamamento e das fraturas verticais alargadas por dissolução (Walker, 1956; Davis & De West, 1966; modificado de Freeze & Cherry, 1979).

### Geologia da Água Subterrânea - Água subterrânea em Rochas Ígneas e Metamórficas

- A locação de poços em rochas ígneas e metamórficas é um trabalho de grande dificuldade visto que a litologia e a estrutura variam muito e estas associadas com zonas produtoras de água dificultam a investigação geológica e geofísica;
- As pequenas fraturas que produzem a maior parte da água dos poços em rochas não intemperizadas não são detectadas por métodos geofísicos, o que leva a um percentual grande de insucesso na perfuração de poços;
- Estudos recentes indicam que a o sucesso de um poço em aquíferos de rochas cristalinas ainda continua sendo em grande parte, uma questão de chance; Uso da estatística ! .

### Geologia da Água Subterrânea no Cristalino de regiões Semi-áridas

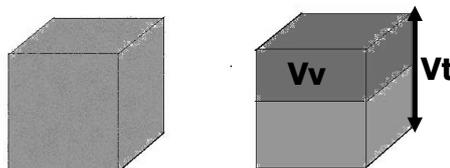
- Nas regiões semi-áridas do Nordeste do Brasil, com cerca de 500.000 km<sup>2</sup> ocupados por rochas cristalinas, o aproveitamento de água subterrânea dessas rochas sempre foi uma alternativa que se levou em consideração;
- A produção média dos poços é da ordem de 3 m<sup>3</sup>/h, com mediana de 2 m<sup>3</sup>/h. O manto de cobertura indiferenciada (alúvios, elúvios e colúvios) tem espessura média da ordem de 5 m com valor mediano da ordem de 4 m.
- As águas apresentam qualidade medíocre, com média de sólidos totais ! .

### Principais parâmetros Hidrogeológicos

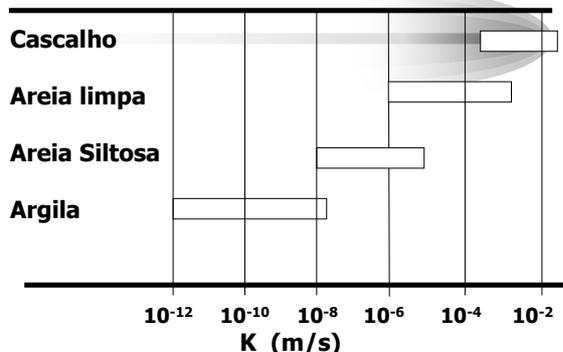
- Porosidade
- Permeabilidade e Condutividade Hidráulica
- Coeficiente de Armazenamento
- Transmissividade

**POROSIDADE:  $N = V_v / V_t$**

**POROSIDADE EFETIVA:  $N_e = V_g / V_t$**



### VALORES DA CONDUTIVIDADE K PARA DIFERENTES SOLOS



### Coeficiente de Armazenamento

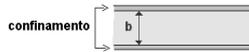
O coeficiente de armazenamento "S", no qual é definido como sendo o volume de água liberado ou armazenado por um aquífero ( $\Delta V$ ), por unidade de área superficial do aquífero (A), por unidade de variação na carga hidráulica ( $\Delta h$ ), (TODD, 1980).

$$S = \Delta V / A\Delta h$$

O coeficiente de armazenamento é quem descreve a capacidade do sistema aquífero de armazenar água

## Transmissividade

Transmissividade é a taxa volumétrica de fluxo através de uma seção de largura unitária e altura igual a espessura do aquífero, quando o gradiente hidráulico é 1.



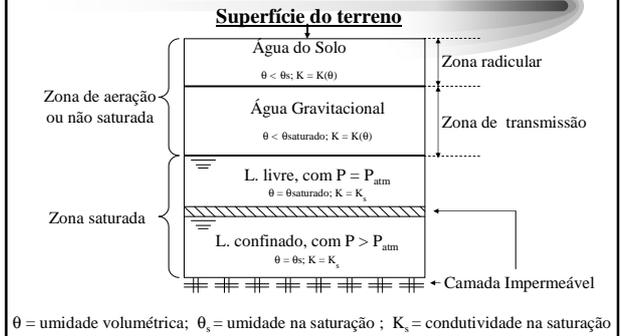
$$T = Kb$$

T = Transmissividade (m<sup>2</sup>/s)

K = Condutividade hidráulica (m/s)

b = Espessura do aquífero (m)

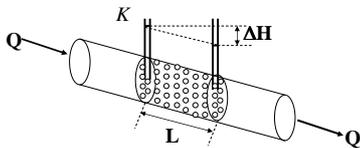
## Origem das Águas Subterrâneas



## Lei de Darcy

Hipóteses:

- escoamento permanente ( $Q = \text{constante}$ )
- meio homogêneo e isotrópico saturado (mesmo solo e mesmas propriedades nas três direções -  $K_x = K_y = K_z = K_s = K$ )



## Lei de Darcy

- A Lei de Darcy rege o escoamento da água nos solos saturados e é representada pela seguinte equação:

$$V = -K \cdot \frac{dh}{dx}$$

Onde:

V = velocidade da água através do meio poroso;

K = condutividade hidráulica saturada

dh = variação de Carga Piezométrica

dx = variação de comprimento na direção do fluxo

dh/dx = perda de carga

Perda de carga = decréscimo na carga hidráulica pela dissipação de energia devida ao atrito no meio poroso.

O sinal negativo denota que a carga diminui à medida que x aumenta

## Lei de Darcy

□ **Condutividade Hidráulica K** ⇒ medida da habilidade de um aquífero conduzir água através do meio poroso; é expressa em m/dia, m/s, mm/h [ $K = v/(dh/dx)$ ].

- Condutividade Hidráulica é a não resistência ao fluxo, por exemplo:

- Na Areia a velocidade do fluxo é maior, então K é maior
- Na argila a velocidade do fluxo é menor, então o K é menor.

## Permeabilidade e Condutividade Hidráulica

Ela descreve a capacidade do meio poroso de transmitir água subterrânea

$$Q = KIA \quad (\text{Henry Darcy, 1856})$$

$$Q = \text{Vazão (m}^3/\text{s)} \quad K = \text{Coeficiente de permeabilidade (m/s)}$$

$$A = \text{Área da seção através da qual ocorre o fluxo (m}^2\text{)}$$

A condutividade hidráulica ou permeabilidade depende das características do meio poroso e das propriedades do fluido (NUTTING, 1930) e pode ser expressa como:

$$K = \frac{\rho g}{\mu}$$

g = aceleração da gravidade (m / s<sup>2</sup>).

μ = viscosidade dinâmica do fluido [m<sup>2</sup> / s]

ρ = densidade ou massa específica (kg / m<sup>3</sup>)

g = aceleração da gravidade (m / s<sup>2</sup>)

## Algumas Propriedades Hidrogeológicas

- **Porosidade  $\eta$**   $\Rightarrow$  razão entre o volume de vazios e o volume de solo:

$$\eta = \frac{\text{Volume vazios}}{\text{Volume total}}$$

- **Umidade  $\theta$**   $\Rightarrow$  razão entre o volume de vazios e o volume de água; para condições saturadas, todos os vazios estão preenchidos com água e, portanto, a umidade é dita saturada e se aproxima do valor da porosidade:

$$\theta = \frac{\text{Volume água}}{\text{Volume total}}$$

## Tipos de Aquíferos

- **Não-Confinado (Freáticos ou Livres):** Aquífero encerrado apenas por uma formação impermeável na parte de abaixo. A água num aquífero livre é também dita *lençol freático*.
- **Confinado (Artesiano ou Cativo):** Aquífero encerrado entre formações impermeáveis ou quase impermeáveis. Ele está sob pressão maior do que a pressão atmosférica. A água num aquífero confinado é também dita *lençol artesiano*.

### Aquífero livre

As cargas  $h_1$  e  $h_2$  são avaliadas através de piezômetros

$$\begin{aligned} A &= l \cdot h \\ v &= k \cdot dh/dx \\ Q &= v \cdot A \\ Q &= (k \cdot dh/dx) \cdot (l \cdot h) \\ Q &= k \cdot l \cdot h \cdot dh/dx \end{aligned}$$

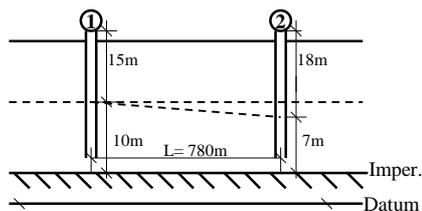
**Integrando:**  $Q \cdot dx = -K \cdot l \cdot h \cdot dh \Rightarrow Q \cdot \int_0^L dx = -K \cdot l \cdot \int_{h_1}^{h_2} h \cdot dh$   
 $Q = k \cdot l \cdot ((h_1^2 - h_2^2) / (2L))$

### Algumas Definições Importantes

- **Perda de Carga:** Decréscimo na carga hidráulica causada pela dissipação de energia (fricção no meio poroso).
- Para o aquífero freático:
  - **Nível Freático ou Nível de Água:** Altura da água de um aquífero não-confinado, freático ou livre medida num poço de observação.
  - **Superfície Freática:** Superfície cujos pontos em relação igual ao nível de água no aquífero freático.

### Exercício

1. Calcule a condutividade hidráulica e a vazão no aquífero livre. Dados:  $K = 1 \times 10^{-3}$  m/s e  $l = 10$  m.



### Aquífero confinado

As cargas  $h_1$  e  $h_2$  são avaliadas através de manômetros

$$\begin{aligned} Q &= v \cdot A \\ Q &= [K \cdot dh/dx] \cdot A \\ \text{Como: } A &= l \cdot b, \text{ então:} \\ Q &= K \cdot l \cdot b \cdot dh/dx \end{aligned}$$

**Integrando:**  $Q \cdot dx = -K \cdot l \cdot b \cdot dh \Rightarrow Q \cdot \int_0^L dx = -K \cdot l \cdot b \cdot \int_{h_1}^{h_2} dh$   
 $Q = k \cdot l \cdot b \cdot (h_1 - h_2) / L$

## Algumas Definições Importantes

- Perda de Carga: Decréscimo na carga hidráulica causada pela dissipação de energia (fricção no meio poroso).
- Para o Aquífero Confinado:
  - Carga Piezométrica ou Altura Piezométrica: Altura da água de um aquífero confinado medida num piezômetro em relação ao fundo do aquífero ( $z + P/\gamma$ ).
  - Superfície Piezométrica: Superfície cujos pontos estão em elevação igual à altura piezométrica.

## Algumas Propriedades Hidrogeológicas

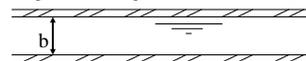
- **Trmissividade T**  $\Rightarrow$  taxa volumétrica de fluxo através de uma secção de espessura "b". (Quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. Para aquíferos confinados a transmissividade é dada pela expressão

$$T = K \cdot b$$

Onde: T é a coeficiente de transmissividade ( $m^2/s$  ou  $m^2/dia$ )

K é a condutividade hidráulica (m/dia; m/s);

b é a espessura do aquífero confinado (m).



Para aquíferos freáticos a espessura muda com o tempo, de acordo com a recarga ou descarga.

## Exercício

2. Calcule a condutividade hidráulica e a vazão no aquífero confinado. Dados:  $K = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  e  $l = 10 \text{ m}$ .

