7

Capítulo 96
Aqüíferos isotrópico e não isotrópico

7

Capítulo 96- **Aqüíferos isotrópico e não isotrópico**

96.1 Introdução

Um dos usos mais freqüentes em barragem impermeável é a aplicação da Lei de Darcy para verificar a infiltração no solo da base.

96.2 Linha de corrente e linha equipotencial

São definidas duas linhas: linha de corrente (*Streamlines* Ψ) e a linha equipotencial *(Equipotencial* Φ) conforme a notação de Bedient et al, 2008 e Figura (96.1).

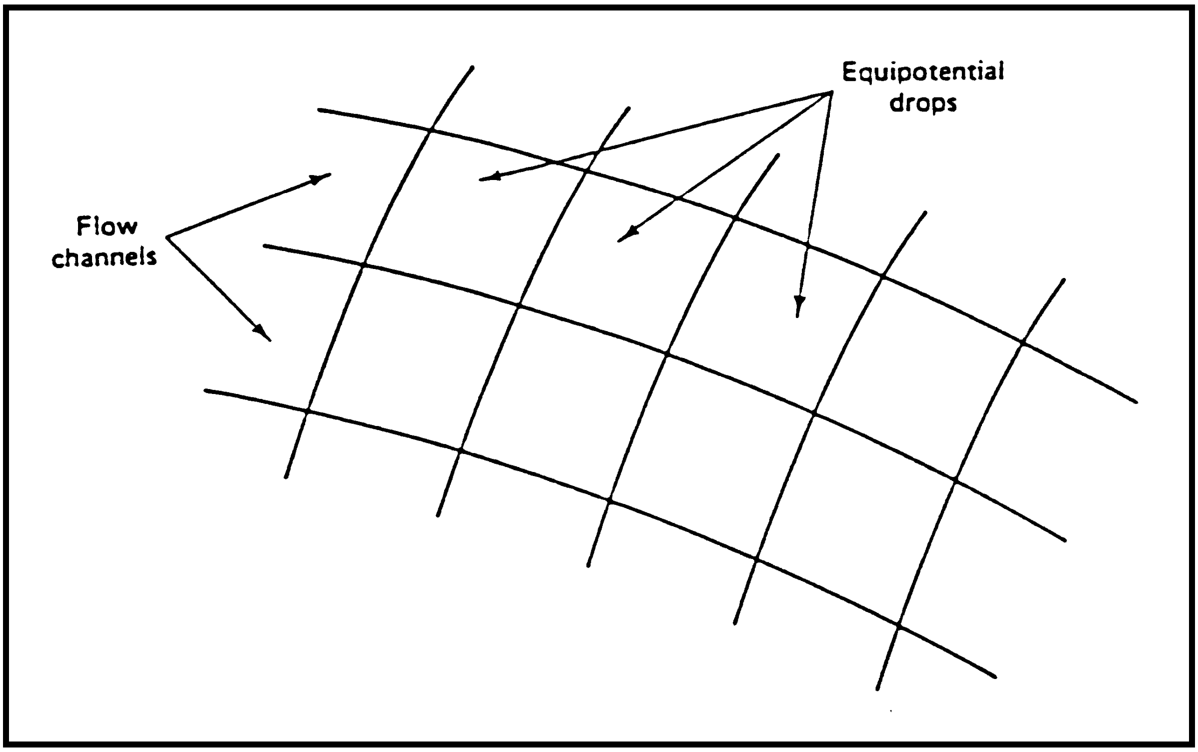

Figura 96.1- Linha de corrente e linha equipotencial
Fonte: Bedient, 2008

Bedient, 2008 estabelece que:

- **As linhas de correntes e linhas equipotenciais são perpendiculares uma com as outras;**
- **As linhas de correntes Ψ são paralelas as condições de contorno sem escoamento**
- **As malhas formam quadrados curvilíneos onde as diagonais se cruzam formando ângulos retos.**

7

- **Cada tubo de corrente (*net flow*) carrega a mesma vazão.**
  As hipóteses que consideramos são?
  - **O aqüífero é homogêneo e isotrópico**
  - **O aqüífero é saturado**
  - **O escoamento é permanente**
  - **São conhecidas as condições de contorno**

96.3 Modelo de rede em solo isotrópico

O solo é considerado isotrópico quando a condutividade hidráulica horizontal é igual à vertical e caso contrario é chamado de não isotrópico ou anisotrópico.

Consideremos a Figura (96.2) em um solo isotrópico, notamos que temos m canais e no caso m=5 com mesmo escoamento.

A vazão por metro de barragem em cada canal será:

$$\mathbf{q= (m/n) . K . H}$$

Sendo:
q= vazão em m^3/s por metro de barragem
K= condutividade hidráulica (m/s)
H= altura da perda de carga (m)
m= número de canais onde há escoamento
n= número de equipotenciais

$$Q= q \times L$$

Sendo:
Q= vazão em m^3/s na largura da barragem L
L= largura da barragem (m)
q= vazão em m^3/s por metro de barragem

Na Figura (96.2) o valor de m=5 e n=17.

7

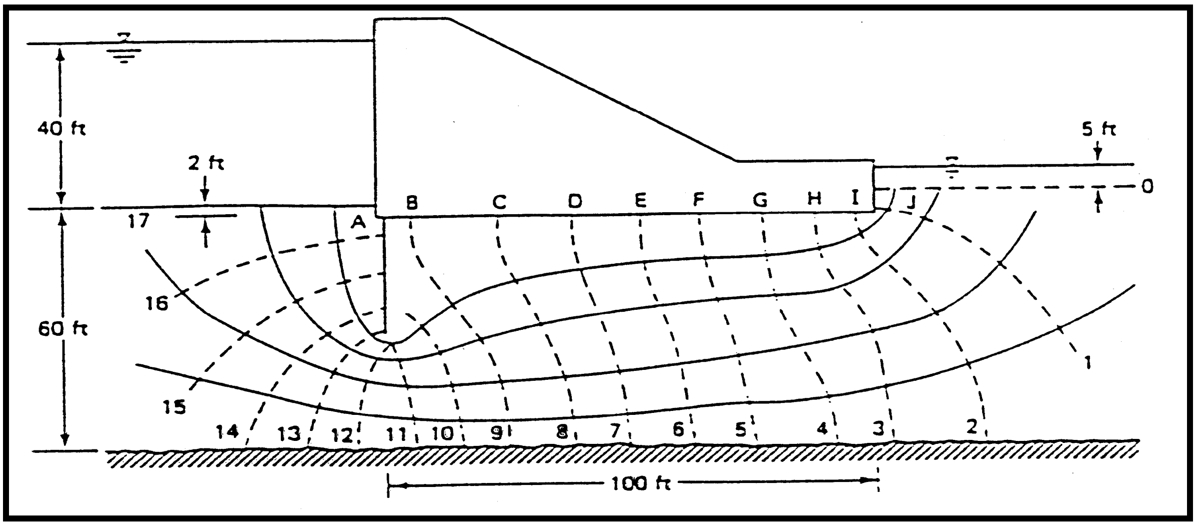

Figura 96.2- Linhas de corrente e linhas equipotenciais
Fonte> Bedient, 2008

Exemplo 96.1

Supor um barramento com condutividade do solo verticai e horizontal iguais K= 0,0000061 m/s e comprimento de crista de 72m, sendo a altura da mesma de 12m e *tailwater* de 1,5m.

H= 12 – 1,5= 10,5m
m=5
n=17

$$q= (m/n)\ K \cdot H$$

$$q= (5/17)\ 0{,}0000061 \times 10{,}5= 0{,}0000188 m^3/s/m$$

$$Q= q \times L$$

$$Q= 0{,}0000188 \times 73=0{,}00138 m^3/s= 119 m^3/dia$$

96.4 Desenho da rede

A rede é feita em desenho pelo método das tentativas. Bedient, 2008 informa que 5 a 10 linhas de escoamento são usadas na prática.

Dependendo do número de linhas de correntes as linhas equipotenciais são fixadas pela geometria do *layout*.

Os desenhos de redes podem ser observados nas Figuras (96.3) parte (a) e parte (b).

Na parte(a) da Figura (96.3) observamos que temos 4 linhas de correntes e portanto m=4 e 8 linhas equipotenciais e portanto n=8.

Na parte (b) da Figura (6.3) podemos ver que temos 5 linhas de correntes e portanto, m=5 e temos 17 linhas equipotenciais e portanto n=17.

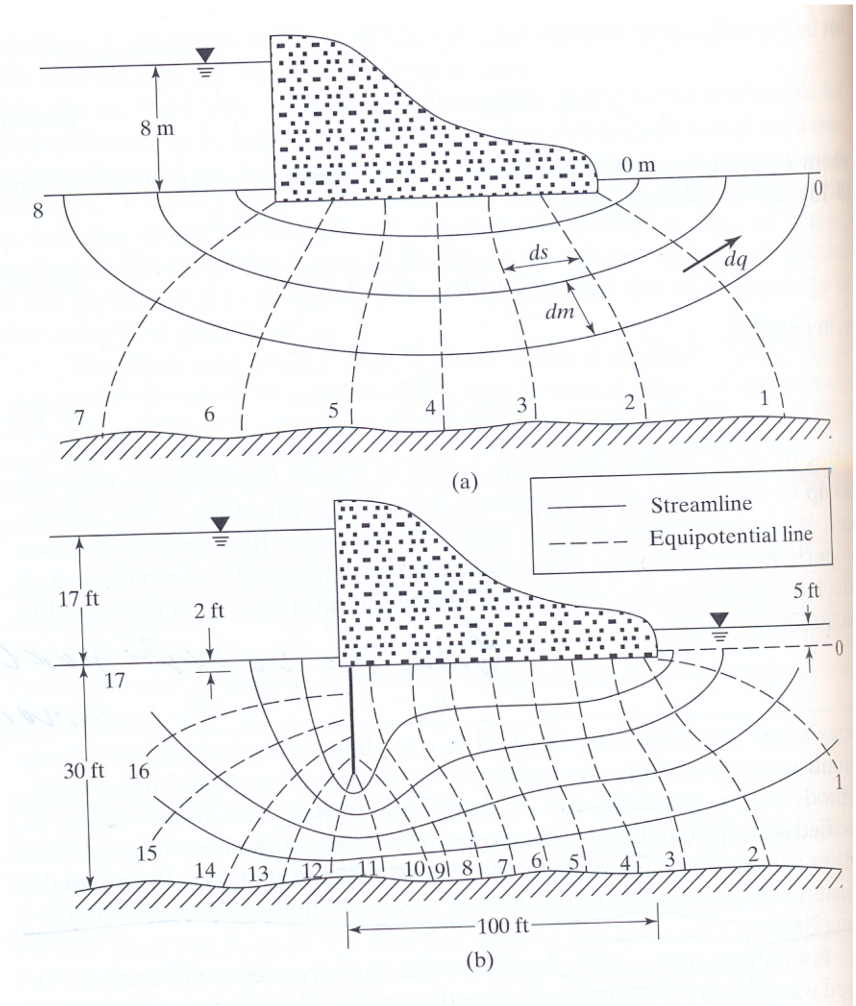

Figura 96.3- Figuras típicas de um barramento
Fonte: Bedient, 2008

96.5 Modelo de rede em solo não isotrópico (anisotrópico)

Muitas vezes temos uma condutividade horizontal Kh e uma condutividade vertical Kv sendo o aqüífero não isotrópico conforme Figura (96.4).

O truque para resolver o problema é transformar o solo em isotrópico achando uma condutividade hidráulica equivalente Ke.

Geralmente a condutividade hidráulica vertical é menor que a horizontal.

$$Ke= (Kh \times Kv)^{0,5}$$

Continuando com o truque, as medidas verticais não são mudadas, mas as horizontais serão divididas por um número "α" definido como:

$$\alpha= (Kh/Kv)^{0,5}$$

Portanto, teremos X´= x/ α

Desta maneira o solo se transformará em isotrópico e o problema será resolvido como já explicado.

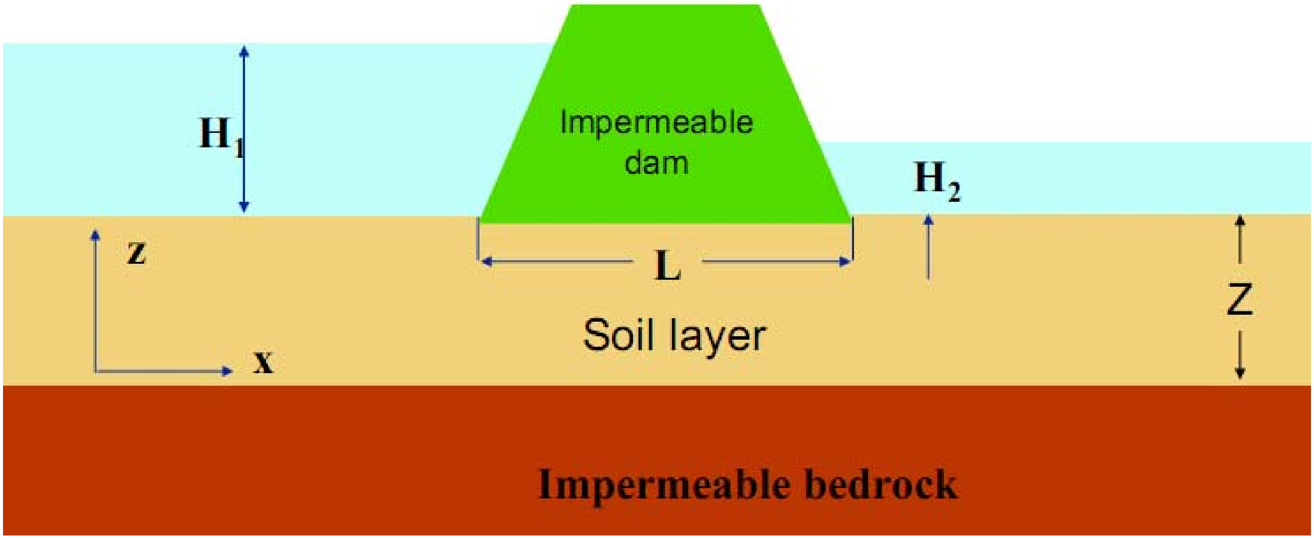

Figura 96.4- Esquema de barragem

Exemplo 96.2
Dada uma barragem com largura L e Kh= 4kv. Supomos H_1=13m e H_2= 2,5m

$$\alpha = (Kh/Kv)^{0,5}$$
$$\alpha = (4kv/Kv)^{0,5}$$
$$\alpha = 2$$

Portanto, ao invés de "L" teremos "L/α" que é "L/2" conforme Figura (96.5).

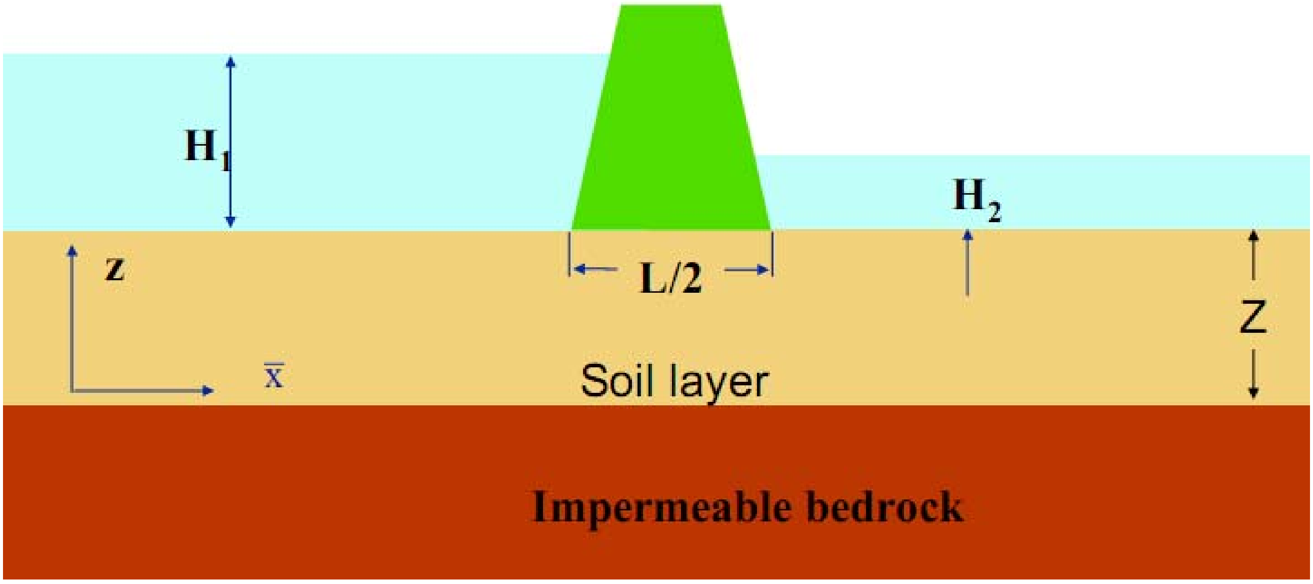

Figura 96.5- Esquema de redução de anisotrópico para isotrópico

Exemplo 96.4
Dada uma barragem com largura L=50m e Kv= 0,0000001m/s e Kh=0,000004 m/s. Supomos H_1=13m e H_2= 2,5m. Calcular a vazão em m^3/dia de água que se infiltra em baixo da barragem.

A condutividade equivalente **Ke= (Kh x Kv) ^{0,5}**

Ke= (0,000001 x 0,000004) ^{0,5}

Ke= 0,000002 m/s

$$\alpha = (Kh/Kv)^{0,5}$$

$$\alpha = (0,00004/0,00001)^{0,5}$$

$$\alpha = 2$$

Fazendo o desenho das linhas de correntes achamos m=6 e n=14

$$q = (m/n)\ K\ .\ H$$

Queda total=H=13m – 2,5m = 10,5m

m=6

n=14

$$q = (6/14)\ 0,000002 \times 10,5 = 0,0000098 m^3/s/m$$

$$Q = q \times L$$

L=50m

$$Q = 0,000009 \times 50 = 0,00045 m^3/s = 38,88 m^3/dia$$

Portanto, ao invés de L teremos L/α que é L/2

96.6 Pressão sob o barramento (uplift)

Conforme Gupta, 2008 a pressão do lençol freatico (uplift) é estimada pela equação:

$$u= [(n/n_d)\ h + Z)]\ g$$

Sendo:
u= pressão de baixo para cima (KN/m^2)
n= numero serial de das linhas equipotenciais contando a última linha a jusante como zero. Assim temos n=0 n=1 etc. No caso da Figura (96.6) temos n variando de 0 a 8.
n_d= numero de quedas potenciais. Na Figura (96.6) nd= 8.
h= perda de carga total no sistema de escoamento (m)
Z= profundidade da base abaixo do nivel de referencia. Caso a base esteja acima do nivel de referencia, Z é negativo.
g= aceleração da gravidade = 9.81m/s^2

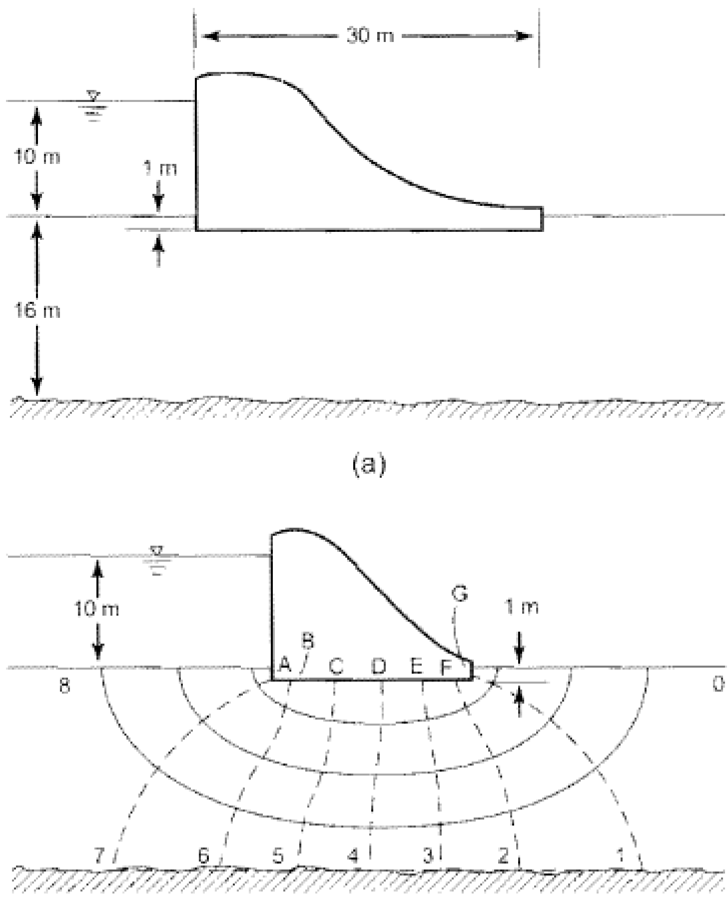

Figura 96.6- Perfil de uma barragem com as linhas correntes e equipotenciais

7

Exemplo 96.5- adaptado de Gupta, 2008
Uma barragem de concreto esta sobre uma fundação permeável com Kx= 30m/dia e Kz= 6m/dia. Achar a taxa de escoamento abaixo da barragem e a pressão freática de baixo para cima sobre a barragem (*uplift)*

Como a barragem é anisotrópica, isto é, tem coeficientes de condutividade hidráulica horizontal e vertical diferentes então fazemos:

$$(Kz/Kx)^{0,5}= (6/30)^{0,5}= 0,45$$

Como o comprimento da barragem é 30m tudo se passa como se o comprimento da barragem fosse 30m x 0,45= 13,5m

A vazão de escoamento q é:

$$q= (nf/ nd). (Kx. Kz)^{0,5}. h$$

$$q= (4/ 8). (30. 6)^{0,5}. 10=67 \text{ m}^3/ \text{dia por metro de largura}$$

A pressão freática (*uplift*):

$$u= [(n/n_d) h + Z)] g$$

$$u= [(n/8) 10 + 1)] 9,81= (1,25 n+1) 9,81 \quad (kN/m^2)$$

Notar que a pressão "u" varia conforme o valor de n.
Então no ponto D da Figura (6.6) o valor da n=4

$$u= (1,25 n+1) 9,81$$

$$u= (1,25x 4+1) 9,81 =58,8 kN/m^2$$

Portanto, a pressão freática é 58.800 N/m^2 que é aproximadamente 0,6m de coluna de água.
Nota: 1m = 9810 Pa= 9810 N/m^2

Como o ponto D está na metade e como a base nova do barramento é de 13,5m então o ponto D está distante 13,5/2= 6,75m do pé do barramento.
Mas como a distancia real é 30m e multiplicamos por 0,45, então temos que dividir por 0,45.
Então 6,75/0,45= 15m que é o local do ponto D.

7

96.7 Bibliografia e livros consultados

-BEDIENT, B. PHILIP et al. *Hydrology anf floodplain analysis*. 4a ed, 2008, 793 páginas

-GUPTA, RAM S. *Hydrology and hydraulic systems*, 3a ed. Waveland,2008, 896 páginas.