Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

"FLUXO LINEAR"

PMI 1673 - Mecânica de Fluidos Aplicada a Reservatórios

Prof. Eduardo César Sansone

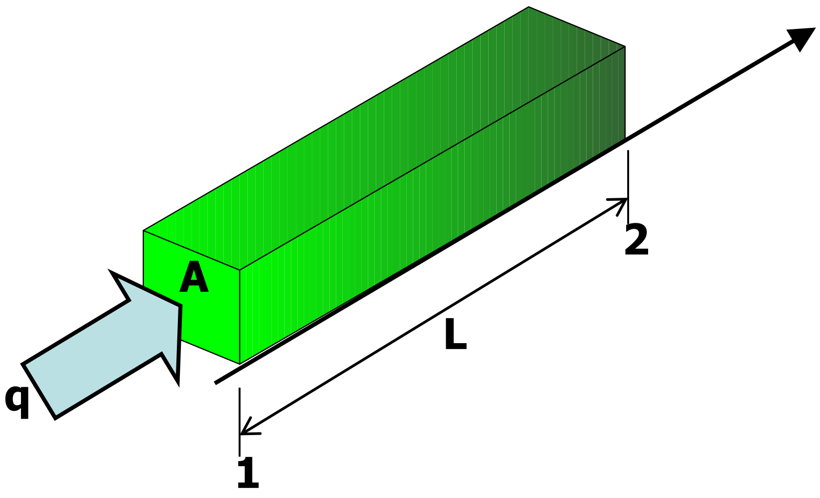
REGIMES DE FLUXO A SEREM ESTUDADOS

- Fluxo linear.
- Fluxo linear em camadas inclinadas.
- Fluxo linear de fluido pouco compressível - óleo.

FLUXO LINEAR

Lei de Darcy para Fluxo Linear Horizontal:

$$v = \frac{q}{A} = -\frac{k}{\mu}\left(\frac{dp}{ds}\right) = -\frac{k\,\Delta p}{\mu L} = \frac{k\,(p_1 - p_2)}{\mu L}$$



Em unidades inglesas a Lei de Darcy para Fluxo Linear Horizontal fica:

$$q = 0{,}001127 \, \frac{k \; A \, (p_1 - p_2)}{\mu \;\; L}$$

No reservatório

$$\mathbf{q = 0{,}001127 \, \frac{k \; A \, (p_1 - p_2)}{\mu \, B \, L}}$$

Na superfície (note fator de formação)

Onde:

A = área em ft²
L = comprimento em ft
k = permeabilidade em mD
p = pressão em psi
q = vazão em superfície bbl/dia
μ = viscosidade do fluido em cP
B = fator volume de formação

É possível determinar como a pressão varia ao longo do caminho, p(x), considerando um ponto arbitrário, $0 \le x \le L$.

Integrando de 0 a x temos:

$$v = \frac{q}{A} = -\frac{k}{\mu}\left(\frac{dp}{ds}\right) \Rightarrow q\int_0^x ds = -\frac{kA}{\mu}\int_{p_1}^{p(x)} dp$$

Assim:

$$qx = -\frac{kA}{\mu}\left(p(x) - p_1\right) \Rightarrow p(x) = p_1 - \frac{q\mu x}{kA}$$

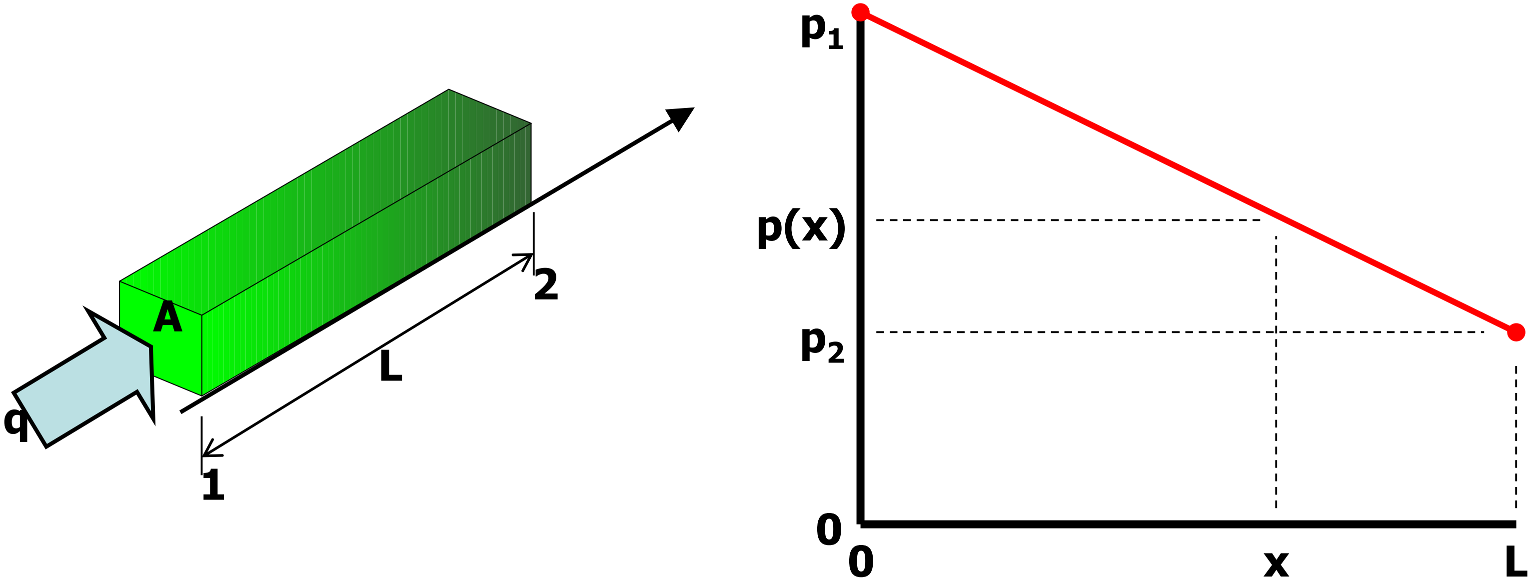
No reservatório

Ou:

$$p(x) = p_1 - 887{,}31\frac{B_o q\mu x}{kA}$$

Na superfície (note fator de formação)
E Unidades inglesas misturadas

O perfil de pressões será uma função linear de x, se as propriedades forem constantes ao longo do caminho.



<u>EXERCÍCIO 1</u>

Uma camada alongada com seção de área constante é percolada por óleo em regime permanente. São conhecidas as informações:

Área da seção do reservatório	**$A = 300\ ft^2$**
Permeabilidade do reservatório	**$k = 180\ mD$**
Porosidade do reservatório	**$\phi = 15\%$**
Viscosidade do óleo	**$\mu = 2,9\ cP$**
Pressão na seção 1	**$p_1 = 2100\ psi$**
Pressão na seção 2	**$p_2 = 1900\ psi$**
Comprimento	**$L = 200\ ft$**

Determine para as condições de reservatório:

a) A vazão que atravessa o reservatório.
b) A velocidade aparente do óleo.
c) A velocidade média real do óleo.
d) A pressão em uma seção situada 50 ft da seção 2.
e) A vazão que atravessa o reservatório se a pressão na seção 2 for de 1700 psi, bem como as velocidades.

FLUXO LINEAR EM CAMADAS INCLINADAS

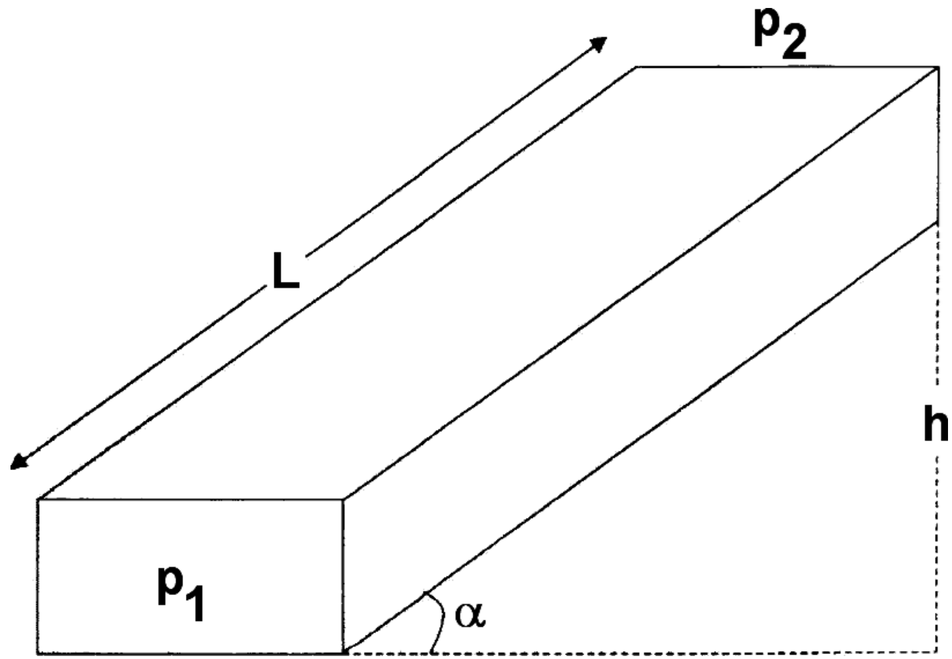
O potencial do fluido em cada uma das seções da camada será dado pela soma entre a pressão na seção e a carga manométrica correspondente dada por:

$$\Phi_i = p_i + \frac{\rho}{144}\Delta z_i$$

Em unidade de pressão, unidades inglesas e gravidade já incluse (rho*g)

Onde:

Φ = potencial do fluido em psi
ρ = densidade do fluido em lb/ft^3
p = pressão em psi



EXERCÍCIO 2

Uma camada alongada e inclinada, com seção de área constante, é percolada por óleo em regime permanente. São conhecidas as informações:

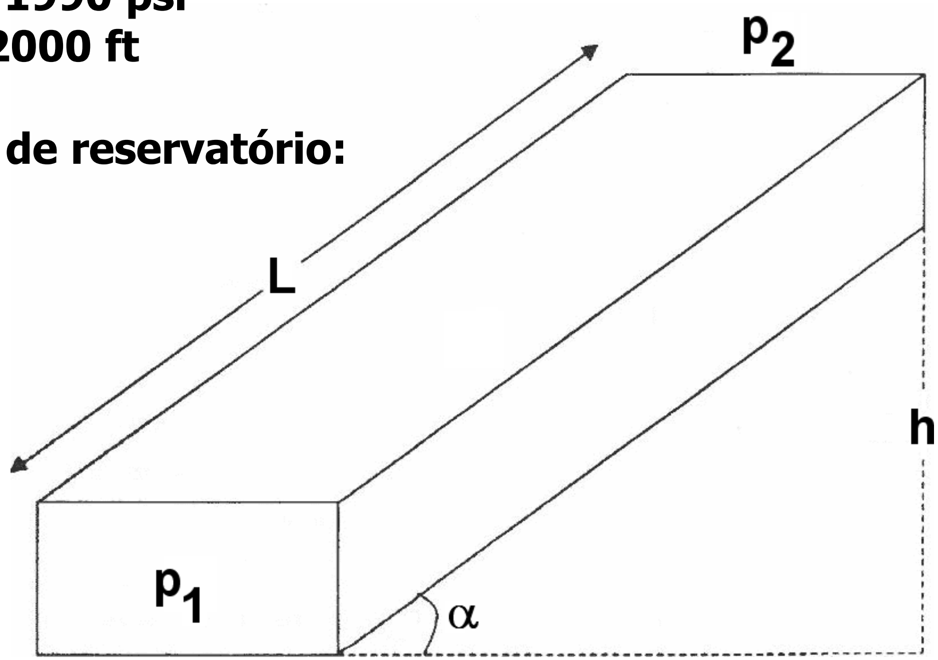
Área da seção do reservatório	$A = 6000\ ft^2$
Permeabilidade do reservatório	$k = 100\ mD$
Viscosidade do óleo	$\mu = 2\ cP$
Densidade do óleo	$\rho = 42\ lb/ft^3$
Pressão na seção 1	$p_1 = 2000\ psi$
Pressão na seção 2	$p_2 = 1990\ psi$
Comprimento	$L = 2000\ ft$

Determine a vazão, para as condições de reservatório:

a) Para $\alpha = 0$.

b) Para $\alpha = 5°$.

c) Para $\alpha = 15°$.



FLUXO LINEAR DE FLUIDO POUCO COMPRESSÍVEL - ÓLEO

A variação do volume de um fluido pouco compressível com a pressão pode ser deduzida a partir de um aproximação linear da expressão da compressibilidade:

$$c = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right) \cong -\frac{1}{V_{ref}}\left(\frac{V - V_{ref}}{p - p_{ref}}\right) \Rightarrow V = V_{ref}\left[1 + c\left(p_{ref} - p\right)\right]$$

Em termos de vazão a expressão fica:

$$q = q_{ref}\left[1 + c\left(p_{ref} - p\right)\right]$$

Substituindo na Lei de Darcy, temos (em unidades inglesas):

$$v = \frac{q}{A} = \frac{q_{ref}\left[1 + c\left(p_{ref} - p\right)\right]}{A} = -0{,}001127\frac{k}{\mu}\left(\frac{dp}{dx}\right)$$

Separando as variáveis e integrando temos:

$$\frac{q_{ref}}{A}\int_0^L dx = -0{,}001127\frac{k}{\mu}\int_{p_1}^{p_2}\frac{dp}{1+c\left(p_{ref}-p\right)}$$

Cuja solução será:

$$q_{ref} = 0{,}001127\,\frac{k\,A}{\mu\,c\,L}\ln\left[\frac{1+c\left(p_{ref}-p_2\right)}{1+c\left(p_{ref}-p_1\right)}\right]$$

No reservatório

FLUXO LINEAR DE FLUIDO POUCO COMPRESSÍVEL - ÓLEO

Escolhendo p_1 como a pressão de referência, teremos a vazão na seção 1:

$$q_1 = 0{,}001127 \frac{k\,A}{\mu\,c\,L} \ln\left[1 + c\left(p_1 - p_2\right)\right]$$

Escolhendo p_2 como a pressão de referência, teremos a vazão na seção 2:

$$q_2 = 0{,}001127 \frac{k\,A}{\mu\,c\,L} \ln\left[\frac{1}{1 + c\left(p_2 - p_1\right)}\right]$$

EXERCÍCIO 3

Uma camada horizontal com as mesmas características apresentadas no exercício anterior é percolada por óleo ligeiramente compressível ($c = 2{,}1 \times 10^{-4}$ psi^{-1}) em regime permanente.

a) Determine as vazões nas seções 1 e 2.

b) Determine as vazões para $p_1 = 2090$ psi.

RESUMO DO TEMA

REGIMES DE FLUXO

- Fluxo linear.

- Fluxo linear em camadas inclinadas.

- Fluxo linear de fluido pouco compressível - óleo.

REFERÊNCIAS

BRADLEY, H. B. Petroleum engineering handbook. Society of Petroleum Engineers: Richardson, 2005.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. Engenharia de reservatórios de petróleo. Interciência: Rio de Janeiro, 2006.

TIAB, D.; DONALDSON, E. C. Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Boston: Gulf Professional Pub, 2004.