BALANÇO DE MATERIAIS

1a) RESERVATÓRIOS DE GÁS

$$\boxed{\begin{array}{c} Vi \\ n_i \\ z_i \\ P_i \end{array}} \xrightarrow{\nabla P} \boxed{\begin{array}{c} Vi \\ n = n_i - n_p \\ z \\ P \end{array}}$$

Balanço molar $\qquad n_i = n + n_p$

Lei dos gases $\qquad P.V = n.z.R.T \qquad$ ou $\qquad n = \dfrac{P.V}{z.R.T}$

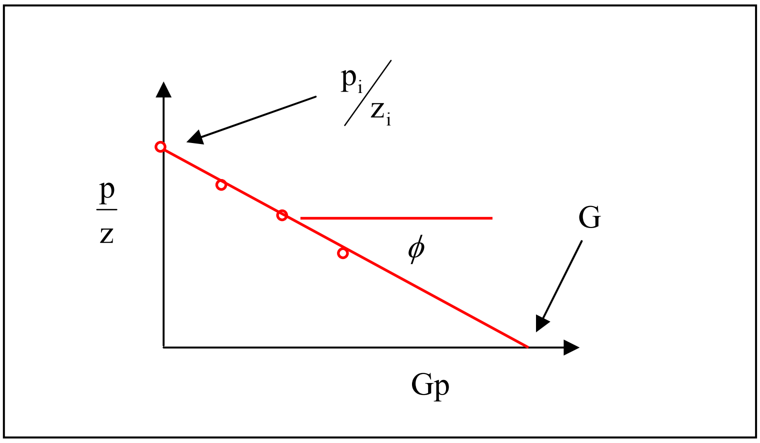
Logo, temos que: $\qquad n_i = \dfrac{P_i.V_i}{z_i.R.T} \qquad n = \dfrac{P.V_i}{z.R.T} \qquad n_p = \dfrac{P_{sc}.G_p}{R.T_{sc}}$ $\qquad$ ou

ou $\qquad \dfrac{P_i.V_i}{z_i.R.T} = \dfrac{P.V_i}{z.R.T} + \dfrac{P_{sc}.G_p}{R.T_{sc}} \qquad$ logo, $\qquad \dfrac{P}{z} = \dfrac{P_i}{z_i} - \dfrac{P_{sc}.T.}{T_{sc}.V_i}G_p$

Finalmente, $\qquad \boxed{\dfrac{P}{z} = a - mG_p} \qquad$ onde

$$a = \frac{P_i}{z_i} \qquad\qquad m = \frac{P_{sc}.T.}{T_{sc}.V_i}$$

Exemplo 1) Determinar o Gás In-Place G (ou GIP)



1. Solução gráfica: extrapole a reta até o eixo horizontal

2. Calcule m = tg(ϕ)
   Com m calcule Vi
   Com Vi calcule G usando a lei dos gases reais

Exemplo 2) Determinar P sendo conhecidos Gp e G

1. Com G e Gp calcule P/z usando o gráfico ou a fórmula abaixo
2. Com P/z e com a densidade do gás calcule z e P por iteração

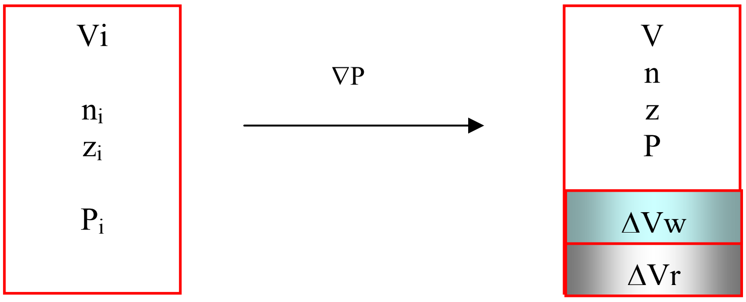
$$\frac{P}{z} = \frac{P_i}{z_i} - \frac{P_{sc}.T.}{T_{sc}.V_i} G_p = C \quad \text{e} \quad P = zC$$

Problema Gás-1:
Ti = 70 ºC Pi = 200 kgf/cm^2 γ_g = 0,60

P/z (kgf/cm^2)	Gp (m^{3}std)
222	5,00x10^6
210	15,0x10^6
186	35,0x10^6
156	60,0x10^6

1. Estimar o volume de Gás “In Place”
2. Qual será a pressão P quando Gp for igual a 120,0x10^6 m^{3}std?
3. Qual será o valor de Gp quando a pressão do reservatório atingir 100 kgf/cm^2?

1b) RESERVATÓRIOS DE GÁS com os efeitos:
Expansão da água conata
Expansão da rocha



Vi = V + ΔVw + ΔVr

Seja a compressibilidade da água dada pela relação: $C_w = \dfrac{\Delta V_w}{V_w . \Delta P}$

Ou seja: $\Delta V_w = C_w V_w . \Delta P$. Mas como $V_w = V_{por} . S_w = \dfrac{V_i}{1 - S_w} S_w$

Então $\boxed{\Delta V_w = \dfrac{C_w . V_i . S_w}{1 - S_w} \Delta P}$

Para a rocha o procedimento é semelhante:

$C_r = \dfrac{\Delta V_r}{V_r . \Delta P}$ $\Delta V_r = C_r V_r . \Delta P$ logo, $\boxed{\Delta V_r = \dfrac{C_r . V_i}{1 - S_w} \Delta P}$

Vimos que $n_i = n + n_p$

e como $V = V_i - \Delta Vw - \Delta Vr$

O balanço fica: $$\frac{P_i . V_i}{z_i . R.T} = \frac{P.(V_i - \Delta V_w - \Delta V_r)}{z.R.T} + \frac{P_{sc} . G_p}{R.T_{sc}}$$

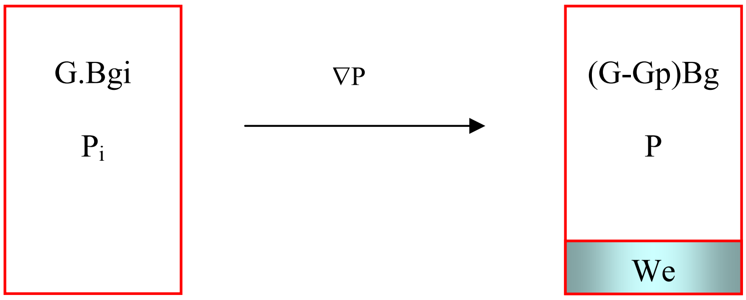
Simplificando, temos que $$\boxed{\frac{P}{z}\left[1 - \frac{(C_w . S_w + C_r)\Delta P}{1 - S_w}\right] = \frac{P_i}{z_i} - \frac{P_{sc} . T.}{T_{sc} . V_i} G_p}$$

Observe que a diferença entre essa equação e a do balanço anterior é o coeficiente de P/z que antes era 1, e agora é $\left[1 - \dfrac{(C_w . S_w + C_r)\Delta P}{1 - S_w}\right]$

Exercício: calcule o coeficiente para os seguintes parâmetros:

Cw = 40×10^{-6} cm^2/kgf Cr = 60×10^{-6} cm^2/kgf
ΔP = 100 kgf/cm^2 Swi = 0,20

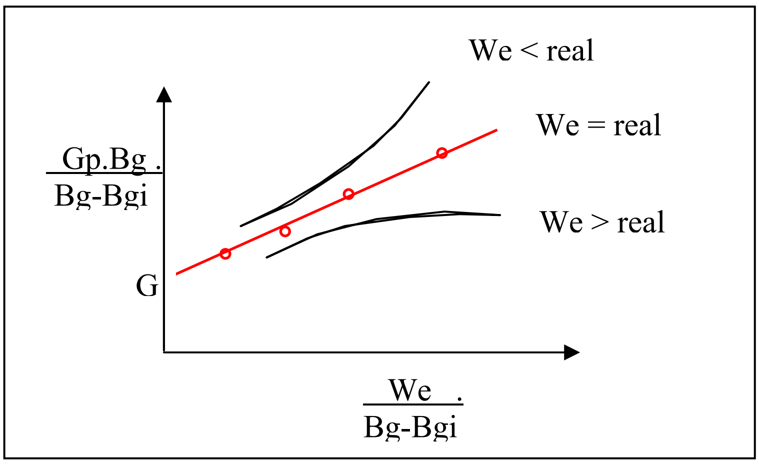
1.c) RESERVATÓRIOS DE GÁS com Influxo de Água



$$G.Bgi = (G-Gp)Bg + We$$

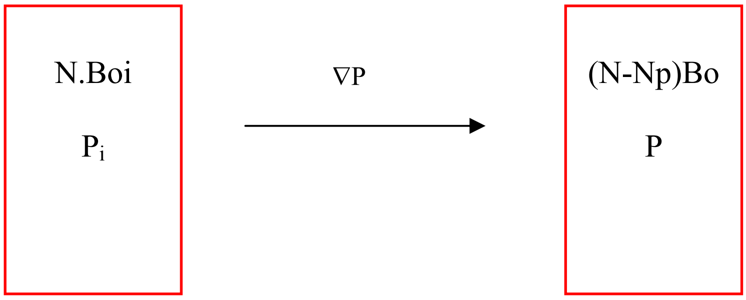
Re-arranjando, fica:

$$\frac{Gp.Bg}{Bg - Bgi} = G + \frac{We}{Bg - Bgi}$$ ou então $$y = G + x$$



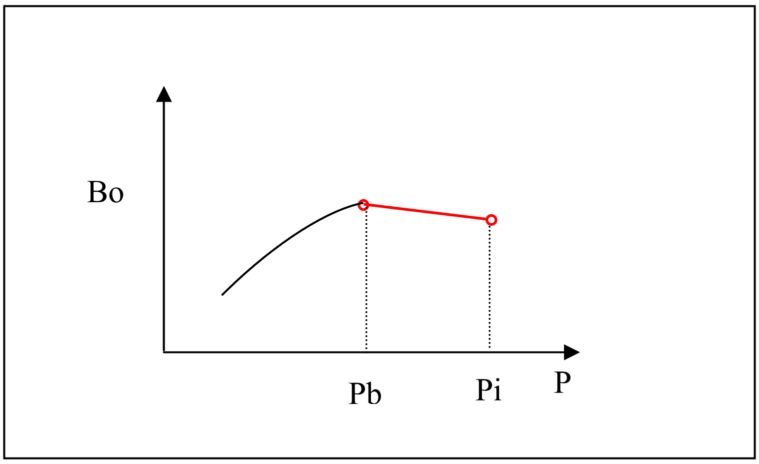
2.a) RESERVATÓRIOS DE ÓLEO sub-saturado

$P > Pb$

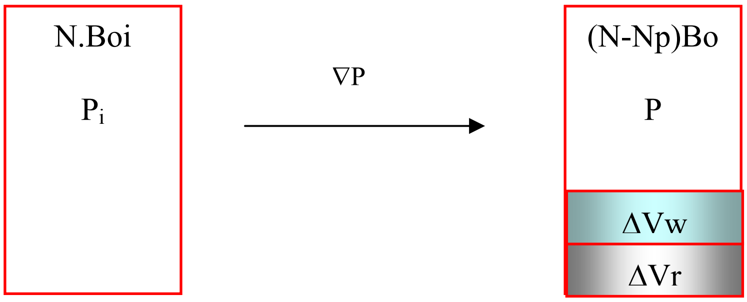


$$N.Boi = (N - Np)Bo \qquad \text{ou} \qquad \boxed{N = \frac{Np.Bo}{Bo - Boi}}$$

N = volume de óleo "in place"



2.b) RESERVATÓRIOS DE ÓLEO sub-saturado, com os efeitos:
Expansão da água conata
Expansão da rocha



$$N.Boi = (N - Np).Bo + \Delta Vr + \Delta Vw$$

Vimos anteriormente que $\Delta Vr = \dfrac{Cr.N.Boi.\Delta P}{1 - Sw}$ $\Delta Vw = \dfrac{Cw.N.Boi.Sw.\Delta P}{1 - Sw}$

Substituindo e resolvendo para N obtemos:

$$\boxed{N = \dfrac{Np.Bo}{Bo - Boi.\left[1 - \dfrac{(Cw.Sw + Cr)\Delta P}{1 - Sw}\right]}}$$

e como $Bo - Boi = Co.Boi.\Delta P$, temos:

$$\boxed{N = \dfrac{NpBo}{Boi\left[\dfrac{CoSo + CwSw + Cr}{1 - Sw}\right].\Delta P}}$$

Problema Óleo-1:

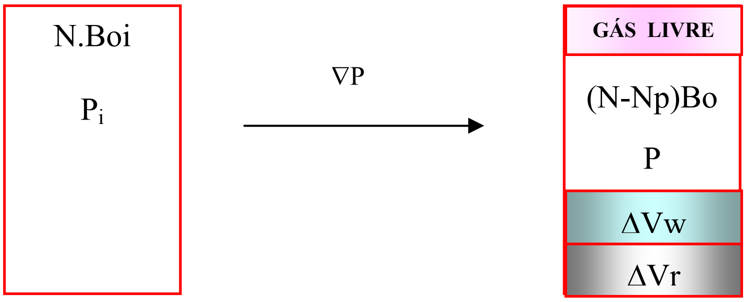
Reservatório de óleo sub-saturado
Pressão inicial de 300 kgf/cm^2.
Boi = 1,215 m^3/m^3 @ 300 kgf/cm^2
Produziu $1,0x10^6$ m^3 e a pressão caiu 50 kgf/cm^2 de modo que
Bo = 1,300 @ 250 kgf/cm^2.
Sw = 0,30
Cw = $45x10^{-6}$ cm^2/kgf
Cr = $60x10^{-6}$ cm^2/kgf

Estime o volume de óleo "in place" N de duas maneiras:
a) Desprezando as compressibilidades da rocha e da água conata
b) Considerando Cr e Cw.

2.c) RESERVATÓRIOS DE ÓLEO SATURADO, com os efeitos:

Expansão da água conata

Expansão da rocha



$$N.Boi = (N - Np).Bo + GásLivre + \Delta Vr + \Delta Vw$$

$G_{LIVRE} = G_{INICIAL} - G_{PRODUZIDO} - G_{SOLUÇÃO}$

$G_{LIVRE} = N.Rsi - Np.Rp - (N - Np).Rs$ onde $Rp = Gp/Np$

$G_{LIVRE} = N(Rsi - Rs) + Np(Rs - Rp)$, $m^3 std$ (Gás livre nas condições padrão)

Multiplicando por Bg teremos o volume em condições de reservatório:

$G_{LIVRE} = N(Rsi - Rs)Bg + Np(Rs - Rp)Bg$, $m^3 res$

Substituindo as expressões para G_{LIVRE}, ΔVr e ΔVw na equação do balanço, fica:

$$N.Boi = (N - Np).Bo + N(Rsi - Rs)Bg + Np(Rs - Rp)Bg + \frac{Cw.N.Boi.Sw.\Delta P}{1 - Sw} + \frac{Cr.N.Boi.\Delta P}{1 - Sw}$$

Re-arranjando e resolvendo para N, obtemos:

$$N = \frac{Np\left[Bo + (Rp - Rs)Bg\right]}{(Rsi - Rs)Bg + Bo - Boi\left[1 - \frac{(Cw.Sw + Cr)}{1 - Sw}.\Delta P\right]}$$ ou então:

$$N = \frac{Np\left[Bo + (Rp - Rs)Bg\right]}{(Rsi - Rs)Bg + Boi.\Delta P\left[\frac{Co.So + Cw.Sw + Cr}{1 - Sw}\right]}$$

LINEARIZAÇÃO DA E. B. M.

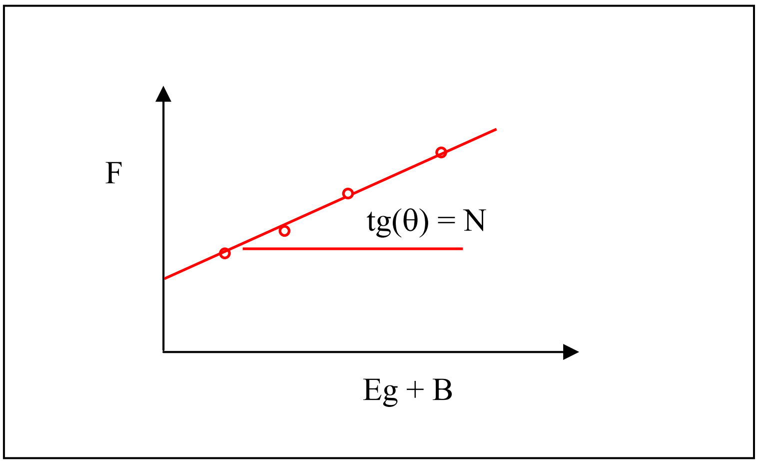
Fazendo $F = Np[Bo + (Rp - Rs).Bg]$

$$Eg = (Rsi - Rs).Bg$$

$$B = Bo - Boi\left[1 - \frac{(Cw.Sw + Cr)}{1 - Sw}\Delta P\right]$$

Podemos escrever a equação de balanço de materiais na forma

$F = N.(Eg + B)$ equação de uma reta de inclinação N



Problema Óleo-2:

Reservatório de óleo saturado

$Co = 150x10^{-6}\ cm^2/kgf$

$Pi = 200\ kgf/cm^2$

$P = 100\ kgf/cm^2$

$Boi = 1{,}16$

$Cw = 40x10^{-6}\ cm^2/kgf$

$Bg = 1/P$

$Rsi = 70\ m^3/m^3$

$Rs = 35\ m^3/m^3$

$Sw = 0{,}20$

$Cr = 60x10^{-6}\ cm^2/kgf$

Calcule N em função de F (numerador) de duas maneiras:

a) Considerando Cw e Cr
b) Desprezando Cw e Cr

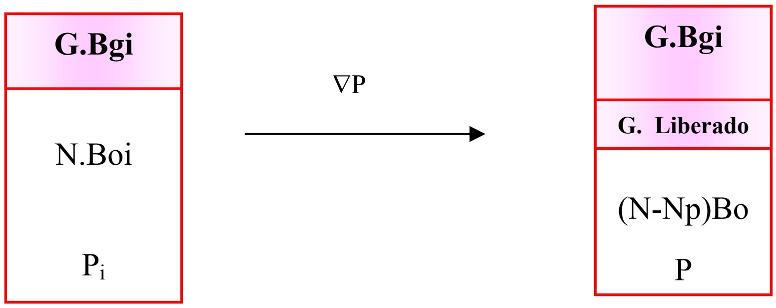
Problema Óleo-3:

Calcule N usando a linearização da Equação de Balanço de Materiais, sabendo que:

$Cr = 60x10^{-6}\ cm^2/kgf$ $Cw = 40x10^{-6}\ cm^2/kgf$ $Sw = 0{,}20$

Pressão	Bo	Rs	Bg	Gp	Np
kgf/cm^2	m^3/m^3	m^3/m^3	m^3/m^3	Mm^3	Mm^3
195,0	1,34914	106,6	0,00513	0	0
180,0	1,3227	97,7	0,00555	550	5
167,0	1,3001	90,0	0,00599	1200	10
68,0	1,1428	33,7	0,01645	15000	50

2.d) RESERVATÓRIOS DE ÓLEO com capa de GÁS:



Definir m como sendo a razão entre os volumes da capa de gás e da zona de óleo

$$m = \frac{G.Bgi}{N.Boi} \quad \text{então,} \quad G = \frac{m.N.Boi}{Bgi}$$

A equação do balanço de materiais pode ser escrita como:

$$G.Bgi + N.Boi = G.Bg + G_{LIB} + (N - Np)Bo$$

Vimos que o gás liberado, em condições de reservatório, pode ser expresso por:

$$G_{LIB} = N(Rsi - Rs)Bg + Np(Rs - Rp)Bg$$

Substituindo na equação do balanço de materiais, fica:

$$G.Bgi + N.Boi = G.Bg + N(Rsi - Rs)Bg + Np(Rs - Rp)Bg + (N - Np)Bo$$

Substituindo a expressão para G, fica:

$$m.N.Boi + N.Boi = G.Bg + N(Rsi - Rs)Bg + Np(Rs - Rp)Bg + (N - Np)Bo$$

Re-arranjando e resolvendo para N obtemos:

$$\boxed{N = \frac{Np\left[Bo + (Rp - Rs)Bg\right]}{Bo - Boi + (Rsi - Rs)Bg + m\dfrac{Boi}{Bgi}(Bg - Bgi)}}$$

E como $Bt = Bo + (Rsi - Rs)Bg$, podemos escrever:

$$\boxed{N = \frac{Np\left[Bt + (Rp - Rsi)Bg\right]}{Bt - Bti + m\dfrac{Bti}{Bgi}(Bg - Bgi)}}$$

Exemplo) Determinar o valor de m

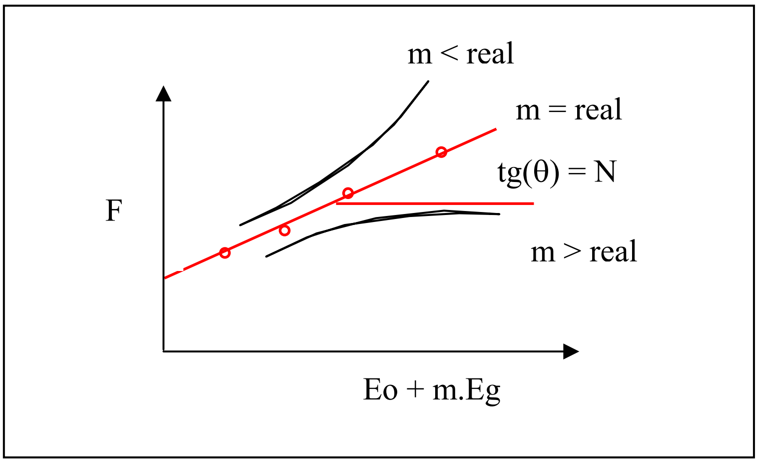
a) Podemos escrever a E.B.M. na seguinte forma:

$$N = \frac{F}{Eo + m.Eg}\,, \quad \text{ou então} \quad \boxed{F = N(Eo + m.Eg)} \quad , \quad \text{onde}$$

$$F \;=\; Np[\; Bo + (Rp - Rs)Bg\;] \qquad\qquad Eo \;=\; Bo - Boi + (Rsi - Rs)Bg$$

$$Eg \;= Boi(Bg - Bgi)/Bgi$$

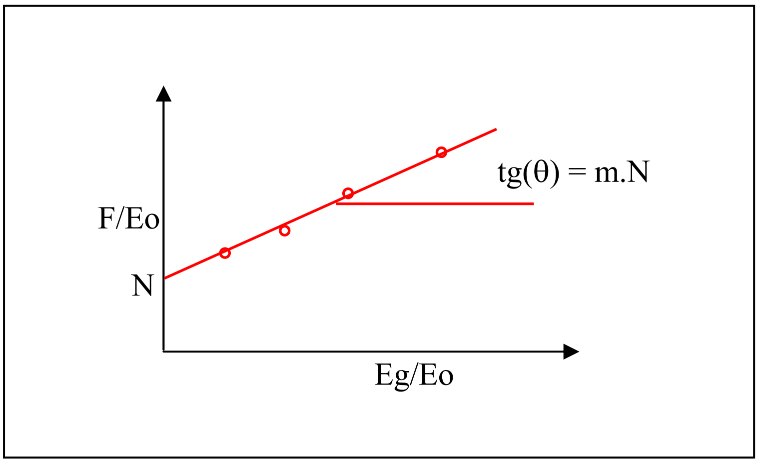
Um gráfico de F versus (Eo+m.Eg) deve ser uma reta. Como m é desconhecido, ajustamos seu valor por tentativas



b) Podemos também escrever a equação na forma: $F = N(Eo + m.Eg)$

ou então: $\boxed{\dfrac{F}{Eo} = N + m.N.\dfrac{Eg}{Eo}}$

Um gráfico de F/Eo versus Eg/Eo deve ser uma reta de inclinação igual a <u>m.N</u> e N será a interseção da reta com o eixo vertical.



2.e) RESERVATÓRIOS DE ÓLEO SATURADO com os efeitos:

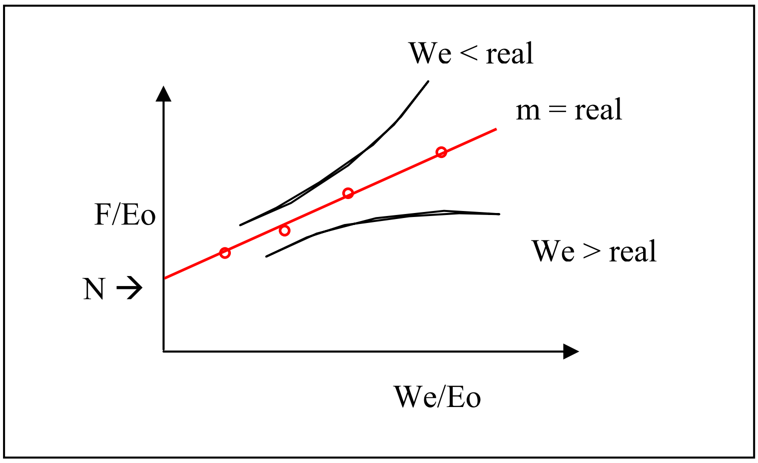
Influxo de Água
Expansão da água conata
Expansão da rocha

$$N = \frac{Np\left[Bo + (Rp - Rs)Bg\right] - We}{(Rsi - Rs)Bg + Bo - Boi\left[1 - \frac{(Cw.Sw + Cr)}{1 - Sw}.\Delta P\right]}$$

Podemos escrever a equação na forma: $N = \frac{F - We}{Eo}$

Re-arranjando, obtemos : $\boxed{\frac{F}{Eo} = N + \frac{We}{Eo}}$

Um gráfico de F/Eo versus We/Eo deve ser uma reta e N será a interseção da reta com o eixo vertical.



2.f) RESERVATÓRIOS DE ÓLEO : Forma geral da E. B. M.

$$\boxed{N = \frac{Np\left[Bo + (Rp - Rs)Bg\right] + WpBw - We - WinjBwinj - GinjBginj}{Bo - Boi + (Rsi - Rs)Bg + mBoi(Bg/Bgi - 1) + (1+m)Boi\left[\frac{Cw.Sw + Cr}{1 - Sw}\right]\Delta P}}$$