

## 7

### Referências Bibliográficas

AKBAR, N., **Seismic Signatures of Reservoir Transport Properties and Pore Fluid Distribution**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, 1993.

AKBAR, N.; DVORKIN, J.; AND NUR, A., **Seismic Signatures of Reservoir Transport Properties and Pore Fluid Distribution**, *Geophysics*, vol. 58, p. 20-29, 1994.

ALBRIGHT, J.; CASSELS, B.; DANGERFIELD, J.; DEFLANDRE, J. P.; JOHNSTAD, S.; WINTERS, R.; **Seismic Surveillance for Monitoring Reservoir Changes**, *Oilfield Review*, p. 4-14, 1994.

BATZLE, M.; WANG, Z., **Seismic Properties of Pore Fluids**, *Geophysics*, Vol. 57, p. 1396-1408, 1992.

BATZLE, M., HAN, D. H., CASTAGNA, J. P., **Fluids and Frequency Dependent Seismic Velocity of Rocks**, *The Leading Edge*, Vol. 20, p. 168-171, 2001.

BEHRENS, R.; CONDON, P.; HAWORTH, W.; BERGERON, M.; WANG, Z., **Seismic Monitoring of Water Influx at Bay Marchand, The Practical Use of 4D in an Imperfect World**, *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*, p. 410-420, AAPG Annual Meeting, 2002.

BIOT, M. A., **Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid Saturated Porous Solid I. Low-Frequency Range**, *Journal of the acoustical society of America*, vol. 28, p.168-178, 1956a.

BIOT, M. A., **Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid Saturated Porous Solid I. Higher-Frequency Range**, *Journal of the acoustical society of America*, vol. 28, p.179-191, 1956b.

BIOT, M. A., **Mechanics of Deformation and Acoustic Propagation in Porous Media**, *Journal of applied physics*, vol. 23, p.1482-1498, 1962.

BROWN, P. J., DEY-SAKAR, S., BATZLE, M., TANG, E., MCMECHAN, G., STEENSMA, G., PEETERS, M., **Biot Slow Wave Laboratory Detection and Seismic Response**, *EAGE/SEG Research Workshop*, Pau, France, 2001.

CADORET, T., **Effet de la Saturation Eau/Gaz sur les Propriétés Acoustiques des Roches**, tese de doutorado, Universidade de Paris, 1993 . Apud Sengupta & Mavko, 2003; Knight et al, 1995, 1998; Mavko & Mukerji, 1998.

CALVERT, R., **Insights and Methods for 4D Reservoir Monitoring and Characterization**, Distinguished Instructor Short Course, SEG-EAGE, 2005a.

CALVERT, R., **4D Technology: Where Are We, and Where Are We Going?** Geophysical Prospecting, Blackwell Synergy, 2005b.

CHANG, Y. C.; MANI, V.; MOHANTY, K. K., **Effect of Wettability on Scale-Up of Multiphase Flow from Core-Scale to Reservoir Fine-Grid Scale**, R. Schatzinger & J. Jordan, Reservoir Characterization-Recent Advances, AAPG, p. 305-318, 1999.

CHAPMAN, M.; ZATSEPIN, S. V.; CRAMPIN, S., **Derivation of a Microstructural Poroelastic Model**, Geophysical Journal International, 151, 427-451.

CLAUDINO, C., **Modelagem Sísmica Time-lapse com Base em Dados de Simulação de Fluxo em Reservatórios**, tese de mestrado, Departamento de Geofísica, Universidade Federal da Bahia, 2007.

DVORKIN, J.; MAVKO, G.; NUR, N., **Squirt Flow in Fully Saturated Rocks**, Geophysics, Vol. 60, p. 97-107, 1995.

DOMENICO, S., **Effect of Brine-Gas Mixture on Velocity in an Unconsolidated Sand Reservoir**, Geophysics, Vol. 41, p. 882-894, 1976.

DVORKIN, J.; MAVKO, G.; NUR, A., **Squirt Flow in Fully Saturated Rocks**, Geophysics, Vol. 60, p. 97-107, 1995.

EASTWOOD, J.; LEBEL, P.; DILAY, A.; BLAKESLEE, S., **Estimates of Velocity Dispersion Between Seismic and Ultrasonic Frequencies**, Geophysics, Vol. 51, Assunto 1, p.183-189, 1986.

GHARBI, R. B., PETERS, E. J.; ELKAMEL, A.; AFZAL, N., **The Effect of Heterogeneity on the Performance of EOR Processes with Horizontal Wells**, SPE 38320, 1997.

GASSMANN, F., **Über Die Elastizität Poröser Medien (Elasticity of Porous Media)**. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft 96, p. 1-23, 1951. Versão da tradução: Janeiro 9, 1998.

GOSELIN, O. R.; MENEZES, O. R., **From Logs Scale to Reservoir Scale: Upscaling of the Petroelastic Model**, SPE Europec/EAGE Annual Conference and Exhibition, Vienna, Austria, 2006.

HAN, D. H., **Effects of Porosity and Clay Content on Acoustic Properties of Sandstones and Unconsolidated Sediments**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, 1986.

HAN, D. H., NUR A., **Effects of Porosity and Clay Content on Wave Velocity of Sandstones**, Geophysics, Vol. 51, p. 2093-2107, 1986,

HAN, D. H.; BATZLE, M. L., **Gassmann's Equation and Fluid-Saturation Effects on Seismic Velocities**, Geophysics, Vol. 69, Assunto 2, p. 398-405, 2004.

HASHIN, Z., AND SHTRIKMAN, S., **A Variational approach to the elastic behavior of multiphase materials**: J. Mech. Phys. Solids, vol. 11, p. 127-140, 1962. Apud Smith, 2003.

HILL, R., **Elastic Properties of Reinforced Solids: Some Theoretical Principles**, J. Mech. Phys. Solids, vol. 11, p. 357-372, 1963. Apud Packwood & Mavko, 1995.

HIRSHE, K.; **A Personal Perspective on the Past, Present and Future of Time-Lapse Seismic Monitoring**, CSEG Recorder Special Edition, p. 137-139, 2006.

JIZBA, D. L., **Mechanical and Acoustical Properties of Sandstones and Shales**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, 1991.

JONES, T. D., **Pore Fluids and Frequency-Dependent Wave Propagation**, Geophysics, vol. 51, p.1939-1953, 1986.

KNIGHT, R.; NOLEN-HOEKSEMA, **A Laboratory Study of the Dependence of Elastic Wave Velocities on Pore Scale Fluid Distribution**, Geophysical Research Letters (American Geophysical Union), Vol. 17, Assunto 10, 1990. Apud Knight, R., 1995.

KNIGHT, R.; DVORKIN, J.; NUR, A., **Seismic Signatures of Partial Saturation**, Expanded Abstracts with Authors' Biographies, SEG, International Exposition & 65 annual meeting, p. 870-873, 1995.

KNIGHT, R.; DVORKIN, J.; NUR, A., **Acoustic Signatures of Partial Saturation**, Geophysics, vol. 63, assunto 1, p. 132-138, 1998.

LUMLEY, D. E.; BEHRENS, R. A.; AND WANG, Z., **Assessing the technical risk of a 4-D seismic project**, The Leading Edge, vol. 16, p. 1287-1291, 1997.

LUMLEY, D. E.; BEHRENS, R. A., **Practical Issues of 4D Seismic Reservoir Monitoring: What an Engineer Needs to Know**, SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 1998.

LUMLEY, D. E.; **Time-Lapse Seismic Reservoir Monitoring**, Geophysics, vol. 66, p.50-53, 2001.

MAVKO, G.; NUR, A., **Wave Attenuation in Partially Saturated Rocks**, Geophysics, vol. 44, p.161-179, 1979.

MAVKO, G.; JIZBA, D., **Estimating Grain-Scale Fluid Effects on Velocity Dispersion in Rocks**, Geophysics, vol. 56, p.1940-1949, 1991.

MAVKO, G.; MUKERJI, T. **Bounds on Low-Frequency Seismic Velocities in Partially Saturated Rocks**, *Geophysics*, vol. 63, p. 918–924, 1998.

MURPHY, F. WILLIAM III, **Effects of Partial Water Saturation on Attenuation in Massillon Sandstone and Vycor Porous Glass**, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 71, Assunto 6, p.1458-1468, 1982.

MURPHY, F. WILLIAM III, **Sonic and Ultrasonic Velocities: Theory Versus Experiment**, *Geophysical Research Letters*, vol. 12, p.85-88, 1985. Apud

REUSS, A., **Berechnung der Fliesgrenzen von Mischkristallen. Zeitschrift für Angewandte**, *Mathematik und Mechanik*, vol. 9, p. 49–58, 1929. Apud Pacwood,

PACKWOOD, J. L., **Rock Physics for Hydrocarbon Recovery Monitoring**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, Califórnia, 1997.

PACKWOOD, J. L.; MAVKO, G, **Seismic Signatures of Multiphase Reservoir Fluid Distributions: Application of Reservoir Monitoring**, *Expanded Abstracts with Authors' Biographies, SEG, International Exposition & 65 annual meeting*, p. 910-913, 1995.

SENGUPTA, M, **Integrating Rock Physics and Flow Simulation to Reduce Uncertainties in Seismic Reservoir Monitoring**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, Califórnia, 2000.

SENGUPTA, M.; MAVKO, G., **Impact of Flow-Simulation Parameters on Saturation Scales and Seismic Velocity**, *Geophysics*, vol. 68, p.1267-1280, 2003.

SENGUPTA, M.; MAVKO, G.; MUKERJI, T., **Quantifying Subresolution Saturation Scales from Time-Lapse Seismic Data: A Reservoir Monitoring Case Study**, *Geophysics*, vol. 68, p.803-814, 2003.

SMITH, T. M.; SONDERGELD, C. H.; RAI, C. S., **Gassmann Fluid Substitution: A Tutorial**, *Geophysics*, vol. 68, p.430-440, 2003.

STRANDENES, S., BLANGY, J. P., **Ultrasonic velocity measurements in Troll sandstones - Stanford Rock Physics Proj.**, Vol. 47, A1-A54, 1991.

VASQUEZ, G. F.; DILLON, L. D., **Módulos Adiabáticos e Isotérmicos de Óleos Brutos**, 3º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, 1993.

VASQUEZ, G. F., **Comportamento Viscoelástico do Arenito Namorado e suas Relações com Atributos Faciológicos**, dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

WANG, Z., **Wave Velocities in Hydrocarbons and Hydrocarbons Saturated Rocks – With Applications to EOR Monitoring**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, Califórnia, 1988.

WANG, Z.; HIRSCH, W. K.; SEDGWICK, G., **Seismic Monitoring of Water Floods? - A Petrophysical Study**, Geophysics, vol. 56, p. 1614-1623, 1991.

WANG, Z., **The Gassmann Equation Revisited: Comparing Laboratory Data with Gassmann's Predictions**: Geophysics reprint series, Seismic and Acoustic Velocities of Reservoir Rocks, Vol.3, 2000.

WANG, Z., **Fundamentals of Rock Physics**, Geophysics, Vol. 66, Assunto 2, p. 398-412, 2001.

WANG, Z. & NUR, A., **Dispersion Analysis of Acoustic Velocities in Rocks**, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 87, p. 2384-2395, 1990.

WANG, Z. & NUR, A., **Elastic Wave Velocities in Porous Media: A Theoretical Recipe**. Wang, Z. and Nur, A. and Levin, F.K. Seismic and Acoustic Velocities in Reservoir Rocks, vol. 2, SEG Geophysics reprint series, 10, 1992.

WINKLER, K. W., **Estimates of Velocity Dispersion Between Seismic and Ultrasonic Frequencies**, Geophysics, Vol. 51, Assunto 1, p.183-189, 1986.

YIN, H., **Acoustic Velocity and Attenuation of Rocks: Isotropy, Intrinsic Anisotropy, and Stress-Induced Anisotropy**, tese de doutorado, Departamento de Geofísica, Universidade de Stanford, Califórnia, 1993.

# APÊNDICE A

## Programas Utilizados

### A.1 UTCHEM

O UTCHEM é desenvolvido pelo Center for Petroleum and Geosystems Engineering - The University of Texas at Austin. Trata-se de um simulador de fluxo capaz de simular o comportamento de múltiplas fases (água, óleo, gás e microemulsão), transformações físicas e químicas, e propriedades de meios porosos. O UT-CHEM é um simulador de fluxo 3D cujo esquema de solução é do tipo IMPES (solução implícita da pressão e explícita em saturação). O método iterativo de gradiente conjugado, usado no cálculo da equação de pressão, é altamente recomendado para simulações em malha fina com um grande número de blocos.

O simulador modela o fluxo de fluido de diversas fases, e pode ter múltiplos componentes como água, óleo, gás, surfactante, gel, entre outros. Capilaridade e efeitos gravitacionais podem ser modelados pelo UT-CHEM. O simulador tem sido utilizado desde 1978 até o presente na indústria do petróleo, e tem sido submetido a testes rigorosos que demonstram sua capacidade.

O UTCHEM tem uma interface amigável (Fig. A.1) para introduzir dados da malha, propriedades do reservatório, propriedades físicas e detalhes do modelo de injeção utilizados. As modificações também podem ser editadas diretamente no arquivo .TXT. Os mapas com os resultados da simulação podem ser construídos através do SURFER® ou o MATLAB®.

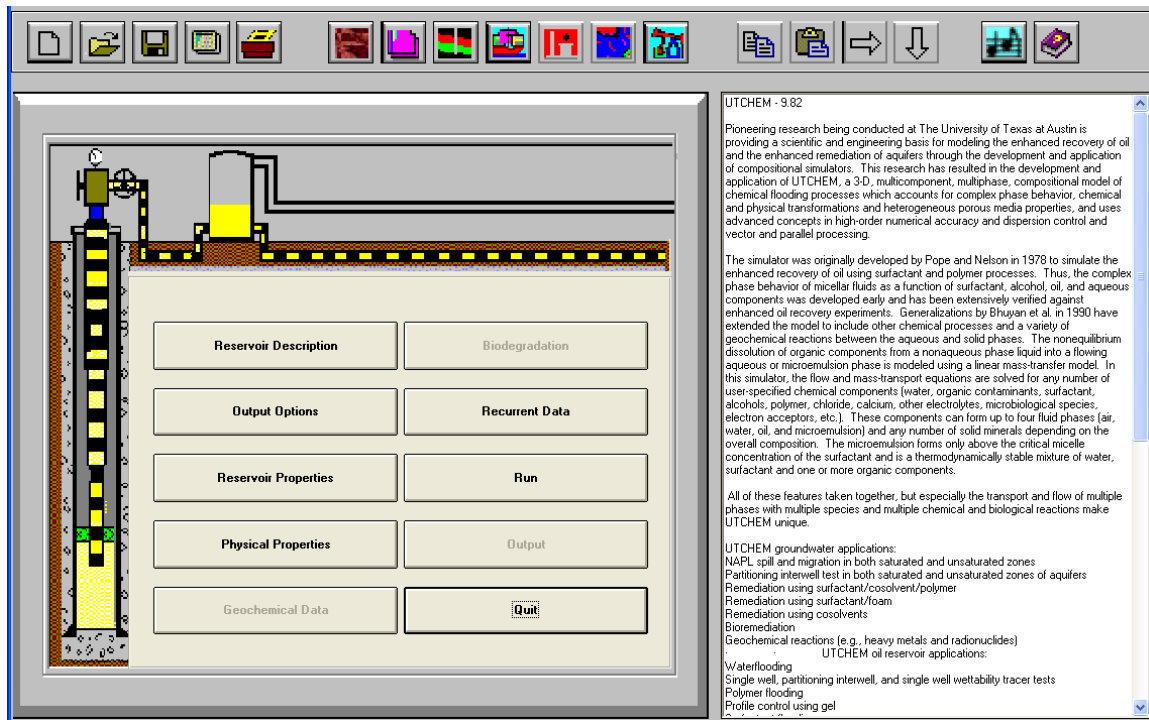


Figura A.1 – Interface UTCHEM.

## A.2 TESSERAL

O programa TESSERAL é um simulador de diferenças finitas que permite a modelagem de campos sísmicos e acústicos. No seu esquema metodológico, a propagação das ondas é calculada como uma distribuição de tensões e deslocamentos locais e instantâneos que mudam com relação ao tempo em toda a seção. Este método é diferente ao do traçamento de raios, onde cada raio é calculado como uma seqüência de pontos que progridem com o tempo e seguem a direção normal à frente de onda, sendo que, o cálculo para cada parte do raio se faz separadamente.

O TESSERAL permite as seguintes operações:

- Construir modelos de densidade/velocidade a partir de seções geológicas e posterior modelagem.
- Calcular sismogramas sintéticos e series de tiros para modelagem de incidência vertical (propagação vertical da energia sísmica)
- Modelar os efeitos da onda no meio heterogêneo.
- Modelar os efeitos da onda 2D em situações geológicas reais.
- Incluir os efeitos da onda de cisalhamento e onda convertida.

- Considerar anisotropia.
- Modelar absorção da energia sísmica pelo meio.
- Visualização dos resultados da modelagem.

### A.3 HYDRO\_GEN

O HYDRO\_GEN é um código computacional criado para gerar um atributo distribuído  $z(x)$ , onde  $x$  denota a coordenada espacial, a qual é modelada como uma função do espaço aleatória (RSF, Random Space Function),  $Z(x)$ , com uma função de covariância atribuída. Na última versão, o código gera duas RSF com seis tipos de correlação espacial: 1) função de covariância discreta; 2) função de covariância exponencial; 3) função de covariância Gaussiana; 4) função de covariância de Wittle isotrópica; 5) função de covariância de Mizell isotrópica (tipo B), (Mizell *et al.*, 1982); 6) Fractal. No trabalho foi utilizada a função de covariância Gaussiana. Os arquivos de entrada devem ser compilados usando Fortran 77.

Existem dois fatores essenciais para levar em conta antes da escolha de um modelo estocástico: a sua capacidade para reproduzir momentos espaciais prescritos e o tempo computacional associado, o qual é proporcional às dimensões do campo simulado. Bellin & Rubin (1996) desenvolveram o código HYDRO\_GEN (1996) e demonstraram que esse dois objetivos tem sido amplamente respeitados.

O código pode ser encontrado no endereço:

<http://www.ing.unitn.it/~bellin/frames/hydrogen.php>



## APÊNDICE B

### Rotinas MATLAB: Modelos de Saturação Homogêneo e Heterogêneo

Nesta seção são apresentadas as rotinas desenvolvidas no MATLAB® para fazer as análises da variação da velocidade compressional segundo a saturação de gás, para os modelos de saturação heterogêneo e homogêneo mostradas no Capítulo 3. Através destas implementações foram obtidas a janelas.de incerteza, definida pelo limite superior ou heterogêneo e o inferior ou homogêneo, para os diferentes cenários propostos.

#### B.1

##### Arenito Beaver – Efeito da Escala

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%  CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS  
%  INJEÇÃO DE GAS ARENITO BEAVER  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
c = 0;  
Kw = 2.25; % modulo Bulk da agua  
Kg = 0.0015; % modulo Bulk do gas  
rho_w = 1; % densidade da agua  
rho_gas = 0.09; % densidade do gas
```

```
API = 15;  
rho_oleo = 141.5/(131.5 + API);  
phi = 0.0636; %ok  
G = 20.8; % modulo cisalh da rocha seca para 5Mpa(GPa)  
Kd = 16.08; % modulo Bulk da rocha seca para 5Mpa(GPa)  
Ko = 35; % modulo Bulk do mineral
```

```
rhog = 2.466; % densidade do grao  
rhod = rhog*(1 - phi) % densidade da rocha seca
```

```
Koleo = Kw;  
rho_oleo = rho_w;
```

```
% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1
```

```
j=1;
```

```
for i=0:0.01:1 ,
```

```
Sgas(j) = i;
```

```
% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)
```

```
rhoHf(j) = Sgas(j)*rho_gas + (1-Sgas(j))*rho_oleo;
```

```
% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA
```

```
rhoBsat(j) = rhoHf(j)*phi + rhog*(1 - phi);
```

```
% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
```

```
KfIH(j) = (Sgas(j)*(Kg^(-1)) + (1-Sgas(j))*(Koleo^(-1)))^(-1);
```

```
% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
```

```
Kfl = KfIH(j);
```

```
% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)
```

```
Ksat(j) = Kd + (((1-(Kd/Ko))^2)/(phi/Kfl + (1-phi)/Ko - Kd/(Ko^2)));
```

```
% CALCULO DE VP e VS
```

```
vpsat2H(j) = ((Ksat(j) + (4/3)*G)/rhoBsat(j))^(1/2);
```

```
CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%
```

```
% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO  
KG
```

```
Kf1 = Kg;
```

```
K1 = Ko*(phi*Kd - (1+phi)*Kf1*Kd/Ko + Kf1)/((1-phi)*Kf1 + phi*Ko - Kf1*Kd/Ko);
```

```
% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA
```

```
Kf2 = Koleo;
```

```
K2 = Ko*( phi*Kd - (1+phi)*Kf2*Kd/Ko + Kf2)/((1-phi)*Kf2 + phi*Ko - Kf2*Kd/Ko);
```

```
% CALCULO DE VP e VS
```

```
vpsat2P(j) = (((Sgas(j))*((K1 + (4/3)*G)^(-1)) + (1-Sgas(j))*((K2 + (4/3)*G)^(-1)))^(-1))/rhoBsat(j))^(1/2);
```

```
j=j+1;
```

```
end
```

```
GRAFICO %%%%%%%%%%
```

```
set(0,'DefaultAxesXgrid','on');
```

```
set(0,'DefaultAxesXgrid','on');
```

```
set(0,'DefaultAxesXgrid','on');
```

```
figure(1),plot(Sgas,vpsat2H,'r',Sgas,vpsat2P,'b-')
legend('Vp_H','Vp_P');
xlabel('S_g_a_s');
ylabel('V_p (Km/s)');
```

## B.2 Chert Monterrey – Efeito da Temperatura

### B.2.1 Óleo Leve

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%  CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
clear all
```

```
% Propriedades dos fluidos PAPER BATZLE Pp=10 MPa
% SUBINDICE W SE REFERE A OLEO!!!
```

```
% PARA 25 C
```

```
rho_gas1 = 0.09; % densidade do gas
Kg1 = 0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)
```

```
rho_w1 = 0.78; % densidade do óleo
Kw1 = 1.272; % MODULO BULK do óleo (GPa)
```

```
% PARA 125 C
```

```
rho_gas2 = 0.06; % densidade do gas
Kg2 = 0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)
```

```
Kw2 = 0.7; % MODULO BULK do óleo (GPa)
rho_w2 = 0.72; % densidade do óleo
```

```
% PARAMETROS SEGUNDO TESE WANG MONTERREY PARA EFETIVA 15 MPA
% PARA 25 C
```

```
phi1 = 0.15; %
G1 = 8.26; % varia bastante com a temperatura
Kd1 = 7.56; % modulo Bulk da rocha seca (GPa) varia pouco com a temperatura
Ko = 37; % MODULO BULK do mineral
%rhog = 2.65; % densidade do grao
rhod1 = 2.04; % densidade da rocha seca
```

```
rhog1 = 2.4;
```

% CONSIDERANDO SOMENTE VARIAÇÃO DAS PROPR DOS FLUIDOS:

phi2 = phi1; %

G2 = G1; %

Kd2 = Kd1; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)

rhod2 = rhod1; % densidade da rocha seca

rhog2 = rhog1;

%%%

% MODELO 1

% T = 25

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%

% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1

j=1;

for i=0:0.02:1 ,

Sgas(j) = i;

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

rhofl1(j) = Sgas(j)\*rho\_gas1 + (1-Sgas(j))\*rho\_w1;

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

KfIH1(j) = (Sgas(j)\*(Kg1^(-1)) + (1-Sgas(j))\*(Kw1^(-1)))^(-1);

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

rhoBsat1(j) = rhofl1(j)\*phi1 + rhog1\*(1 - phi1);

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

Kfluido1 = KfIH1(j);

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

Ksat1(j) = Kd1 + (((1-(Kd1/Ko))^2)/(phi1/Kfluido1 + (1-phi1)/Ko - Kd1/(Ko^2)));

% CALCULO DE VP e VS

vpstat2H1(j) = ((Ksat1(j) + (4/3)\*G1)/rhoBsat1(j))^(1/2);

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO

KG

Kf1 = Kg1;

$$K1 = K_o * (\phi_1 * K_{d1} - (1 + \phi_1) * K_{f1} * K_{d1} / K_o + K_{f1}) / ((1 - \phi_1) * K_{f1} + \phi_1 * K_o - K_{f1} * K_{d1} / K_o);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$K_{f12} = K_{w1};$$

$$K2 = K_o * (\phi_1 * K_{d1} - (1 + \phi_1) * K_{f2} * K_{d1} / K_o + K_{f2}) / ((1 - \phi_1) * K_{f2} + \phi_1 * K_o - K_{f2} * K_{d1} / K_o);$$

% CALCULO DE VP

$$v_{psat2P1(j)} = (((S_{gas(j)} * ((K1 + (4/3) * G1)^{-1}) + (1 - S_{gas(j)}) * ((K2 + (4/3) * G1)^{-1}))^{-1}) / \rho_{Bsat1(j)})^{1/2};$$

%%%

% MODELO 2

$$\% t = 125$$

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\rho_{H2(j)} = S_{gas(j)} * \rho_{gas2} + (1 - S_{gas(j)}) * \rho_{w2};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fH2(j)} = (S_{gas(j)} * (K_{g2}^{-1}) + (1 - S_{gas(j)}) * (K_{w2}^{-1}))^{-1};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA AQUI ERROR EM RHOFL!!!

$$\rho_{Bsat2(j)} = \rho_{H2(j)} * \phi_2 + \rho_{g2} * (1 - \phi_2);$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fluido2} = K_{fH2(j)};$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat2(j)} = K_{d2} + (((1 - (K_{d2}/K_o))^{-2}) / (\phi_2 / K_{fluido2} + (1 - \phi_2) / K_o - K_{d2} / (K_o^2)));$$

% CALCULO DE VP e VS

$$v_{psat2H2(j)} = ((K_{sat2(j)} + (4/3) * G2) / \rho_{Bsat2(j)})^{1/2};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{f11} = K_{g2};$$

$$K11 = K_o * (\phi_2 * K_{d2} - (1 + \phi_2) * K_{f11} * K_{d2} / K_o + K_{f11}) / ((1 - \phi_2) * K_{f11} + \phi_2 * K_o - K_{f11} * K_{d2} / K_o);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

Kfl22 = Kw2;

K22 = Ko\*( phi2\*Kd2 - (1+phi2)\*Kfl22\*Kd2/Ko + Kfl22)/((1-phi2)\*Kfl22 + phi2\*Ko - Kfl22\*Kd2/Ko);

% CALCULO DE VP e VS

vpsat2P2(j) = (((Sgas(j))\*((K11 + (4/3)\*G2)^(-1)) + (1-Sgas(j))\*((K22 + (4/3)\*G2)^(-1)))^(-1))/rhoBsat2(j))^(1/2);

%%  
 % DIFERENÇA ENTRE Vp PATCHY E HOMOGENEA PARA CADA PRESSAO  
 %%%

c = max(vpsat2P1);

vp30(j) = ((vpsat2P1(j) - vpsat2H1(j))\*100)/c;

d = max(vpsat2P2);

vp10(j) = ((vpsat2P2(j) - vpsat2H2(j))\*100)/d;

j=j+1;

end

GRAFICO %%%

```
figure(1),plot(Sgas,vpsat2H1,'b^:',Sgas,vpsat2P1,'b^-',
'Sgas,vpsat2H2,'ro:',Sgas,vpsat2P2,'ro-')
legend('Vp_H 25C','Vp_P 25C','Vp_H 125C','Vp_P 125C');
xlabel('S_g');
ylabel('V_p (Km/s)');
```

```
figure(3),plot(Sgas,vp30,'b^:',Sgas,vp10,'r:o')
legend('25C','125C');
xlabel('S_g');
ylabel('Diferença (%)');
```

## B.2.2 Óleo Pesado

%%  
 % CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS  
 %%%

clear all

% Propriedades dos fluidos PAPER BATZLE Pp=10 MPa para oleo pesado

% SUBINDICE W SE REFERE A OLEO!!!

% PARA 25 C

rho\_gas1 = 0.09; % densidade do gas  
Kg1 = 0.01; %0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)

rho\_w1 = 1; % densidade do óleo  
Kw1 = 2.55; % MODULO BULK do óleo (GPa)

% PARA 125 C

rho\_gas2 = 0.06; % densidade do gas  
Kg2 = 0.01; %0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)

Kw2 = 1.4; % MODULO BULK do óleo (GPa)  
rho\_w2 = 0.925; % densidade do óleo

% PARAMETROS SEGUNDO TESE WANG MONTERREY PARA EFETIVA 15 MPA  
% PARA 25 C

phi1 = 0.15; %  
G1 = 8.26; % varia bastante com a temperatura  
Kd1 = 7.56; % modulo Bulk da rocha seca (GPa) varia pouco com a temperatura  
Ko = 37; % MODULO BULK do mineral  
%rhog = 2.65; % densidade do grao  
rhod1 = 2.04; % densidade da rocha seca

rhog1 = 2.4;

% PARAMETROS SEGUNDO TESE WANG MONTERREY DOLOMITA PARA  
EFETIVA 15 MPA  
% PARA 125 C

phi2 = 0.15; %  
G2 = 7.65; %  
Kd2 = 6.26; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)  
rhod2 = 2.26; % densidade da rocha seca

rhog2 = 2.65;

%%%%%%%%%

% MODELO 1

% T = 25

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%

% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1

j=1;

for i=0:0.02:1 ,

Sgas(j) = i;

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

rhofl1(j) = Sgas(j)\*rho\_gas1 + (1-Sgas(j))\*rho\_w1;

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

KfIH1(j) = (Sgas(j)\*(Kg1^(-1)) + (1-Sgas(j))\*(Kw1^(-1)))^(-1);

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

rhoBsat1(j) = rhofl1(j)\*phi1 + rhog1\*(1 - phi1);

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

Kfluido1 = KfIH1(j);

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

Ksat1(j) = Kd1 + (((1-(Kd1/Ko))^2)/(phi1/Kfluido1 + (1-phi1)/Ko - Kd1/(Ko^2)));

% CALCULO DE VP e VS

vpsat2H1(j) = ((Ksat1(j) + (4/3)\*G1)/rhoBsat1(j))^(1/2);

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

Kf1 = Kg1;

K1 = Ko\*(phi1\*Kd1 - (1+phi1)\*Kf1\*Kd1/Ko + Kf1)/((1-phi1)\*Kf1 + phi1\*Ko - Kf1\*Kd1/Ko);

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

Kf2 = Kw1;

K2 = Ko\*( phi1\*Kd1 - (1+phi1)\*Kf2\*Kd1/Ko + Kf2)/((1-phi1)\*Kf2 + phi1\*Ko - Kf2\*Kd1/Ko);

% CALCULO DE VP

vpsat2P1(j) = (((Sgas(j))\*((K1 + (4/3)\*G1)^(-1)) + (1-Sgas(j))\*((K2 + (4/3)\*G1)^(-1)))^(-1))/rhoBsat1(j))^(1/2);



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% MODELO 2
% t = 125

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)
rhoH2(j) = Sgas(j)*rho_gas2 + (1-Sgas(j))*rho_w2;

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
KfH2(j) = (Sgas(j)*(Kg2^(-1)) + (1-Sgas(j))*(Kw2^(-1)))^(-1);

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA AQUI ERROR EM RHOFL!!!
rhoBsat2(j) = rhoH2(j)*phi2 + rhog2*(1 - phi2);

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
Kfluido2 = KfH2(j);

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)
Ksat2(j) = Kd2 + (((1-(Kd2/Ko))^2)/(phi2/Kfluido2 + (1-phi2)/Ko - Kd2/(Ko^2)));

% CALCULO DE VP e VS
vpsat2H2(j) = ((Ksat2(j) + (4/3)*G2)/rhoBsat2(j))^(1/2);

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG
Kfl11 = Kg2;

K11 = Ko*(phi2*Kd2 - (1+phi2)*Kfl11*Kd2/Ko + Kfl11)/((1-phi2)*Kfl11 + phi2*Ko - Kfl11*Kd2/Ko);

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA
Kfl22 = Kw2;

K22 = Ko*( phi2*Kd2 - (1+phi2)*Kfl22*Kd2/Ko + Kfl22)/((1-phi2)*Kfl22 + phi2*Ko - Kfl22*Kd2/Ko);

% CALCULO DE VP e VS
vpsat2P2(j) = (((Sgas(j))*((K11 + (4/3)*G2)^(-1)) + (1-Sgas(j))*((K22 + (4/3)*G2)^(-1)))^(-1))/rhoBsat2(j))^(1/2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% DIFERENÇA ENTRE Vp PATCHY E HOMOGENEA PARA CADA PRESSAO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

c = max(vpsat2P1);
vp30(j) = ((vpsat2P1(j) - vpsat2H1(j))*100)/c;

d = max(vpsat2P2);

```

```
vp10(j) = ((vpsat2P2(j) - vpsat2H2(j))*100)/d;
```

```
j=j+1;
```

```
end
```

```
GRAFICO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure(1),plot(Sgas,vpsat2H1,'b^:',Sgas,vpsat2P1,'b^-'
',Sgas,vpsat2H2,'ro:',Sgas,vpsat2P2,'ro-')
legend('Vp_H 25C','Vp_P 25C','Vp_H 125C','Vp_P 125C');
xlabel('S_g');
ylabel('V_p (Km/s)');
```

```
figure(3),plot(Sgas,vp30,'b^:',Sgas,vp10,'r:o')
legend('25C','125C');
xlabel('S_g');
ylabel('Diferença (%)');
```

### B.2.3

#### Óleo Leve versus Pesado

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%  CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
clear all
```

```
% Propriedades dos fluidos PAPER BATZLE
% SUBINDICE W SE REFERE A OLEO!!!
```

```
%-----
% FLUIDOS PARA 10 MPa
%-----
```

```
% GÁS LEVE PARA 125 C PP=10 MPA
```

```
rho_gas1 = 0.06; % densidade do gas
rho_gas3 = rho_gas1; % densidade do gas
```

```
Kg1 = 0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)
Kg3 = Kg1; % modulo Bulk do gas (GPa)
```

```
% GÁS LEVE PARA 25 C PP=10 MPA
```

```
rho_gas2 = 0.09; % densidade do gas
rho_gas4 = rho_gas2; % densidade do gas
```

```
Kg2 = 0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)
Kg4 = Kg2; % modulo Bulk do gas (GPa)
```

% OLEO 10 API PARA 125 C PP=10 MPA

$Kw1 = 1.4$ ; % MODULO BULK do óleo (GPa)  
 $\rho_{w1} = 0.925$ ; % densidade do óleo

% OLEO 10 API PARA 25 C PP=10 MPA

$Kw2 = 2.55$ ; % MODULO BULK do óleo (GPa)  
 $\rho_{w2} = 1$ ; % densidade do óleo

% OLEO 50 API PARA 125 C PP=10 MPA

$Kw3 = 0.7$ ; % MODULO BULK do óleo (GPa)  
 $\rho_{w3} = 0.72$ ; % densidade do óleo

% OLEO 50 API PARA 25 C PP=10 MPA

$Kw4 = 1.272$ ; % MODULO BULK do óleo (GPa)  
 $\rho_{w4} = 0.78$ ; % densidade do óleo

% PARAMETROS SEGUNDO TESE WANG MONTERREY DOLOMITA PARA  
EFETIVA 15 MPA  
% PARA 125 C

$\phi1 = 0.15$ ; %  
 $\phi3 = \phi1$ ; %

$G1 = 7.65$ ; %  
 $G3 = G1$ ; %

$Kd1 = 6.26$ ; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)  
 $Kd3 = Kd1$ ; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)

$\rho_{d1} = 2.26$ ; % densidade da rocha seca  
 $\rho_{d3} = \rho_{d1}$ ; % densidade da rocha seca

$\rho_{g1} = 2.65$ ;  
 $\rho_{g3} = \rho_{g1}$ ;

$Ko = 37$ ; % MODULO BULK do mineral

% PARAMETROS SEGUNDO TESE WANG MONTERREY PARA EFETIVA 15 MPA  
% PARA 25 C

$\phi2 = 0.15$ ; %  
 $\phi4 = \phi2$ ; %

$G2 = 8.26$ ; % varia bastante com a temperatura  
 $G4 = G2$ ; % varia bastante com a temperatura

$Kd2 = 7.56$ ; % modulo Bulk da rocha seca (GPa) varia pouco com a temperatura

Kd4 = Kd2; % modulo Bulk da rocha seca (GPa) varia pouco com a temperatura

rhod2 = 2.04; % densidade da rocha seca  
rhod4 = rhod2; % densidade da rocha seca

rhog2 = 2.4;  
rhog4 = rhog2;

% CONSIDERANDO SOMENTE VARIAÇÃO DAS PROPR DOS FLUIDOS:

% G2 = G1; %  
% G3 = G1; %  
% Kd2 = Kd1; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)  
% Kd3 = Kd1; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)  
% rhod2 = rhod1; % densidade da rocha seca  
% rhod3 = rhod1; % densidade da rocha seca  
% rhog2 = rhog1;  
% rhog3 = rhog1;

%%%

% MODELO 1

% oleo 10 API 125C

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%

% Kg1 = Kw1;  
% rho\_gas1 = rho\_w1;

% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1

j=1;

for i=0:0.02:1 ,

Sgas(j) = i;

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)  
rhofl1(j) = Sgas(j)\*rho\_gas1 + (1-Sgas(j))\*rho\_w1;

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)  
KfIH1(j) = (Sgas(j)\*(Kg1^(-1)) + (1-Sgas(j))\*(Kw1^(-1)))^(-1);

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA  
rhoBsat1(j) = rhofl1(j)\*phi1 + rhog1\*(1 - phi1);

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)  
Kfluido1 = KfIH1(j);

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat1}(j) = K_{d1} + (((1 - (K_{d1}/K_o))^2) / (\phi_{i1}/K_{fluido1} + (1 - \phi_{i1})/K_o - K_{d1}/(K_o^2)));$$

% CALCULO DE VP e VS

$$v_{psat2H1}(j) = ((K_{sat1}(j) + (4/3)*G_1)/\rho_{hBs1}(j))^{(1/2)};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{fl1} = K_{g1};$$

$$K_1 = K_o * (\phi_{i1} * K_{d1} - (1 + \phi_{i1}) * K_{fl1} * K_{d1}/K_o + K_{fl1}) / ((1 - \phi_{i1}) * K_{fl1} + \phi_{i1} * K_o - K_{fl1} * K_{d1}/K_o);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$K_{fl2} = K_{w1};$$

$$K_2 = K_o * (\phi_{i1} * K_{d1} - (1 + \phi_{i1}) * K_{fl2} * K_{d1}/K_o + K_{fl2}) / ((1 - \phi_{i1}) * K_{fl2} + \phi_{i1} * K_o - K_{fl2} * K_{d1}/K_o);$$

% CALCULO DE VP

$$v_{psat2P1}(j) = (((S_{gas}(j)) * ((K_1 + (4/3)*G_1)^{-1}) + (1 - S_{gas}(j)) * ((K_2 + (4/3)*G_1)^{-1}))^{-1}) / \rho_{hBs1}(j))^{(1/2)};$$

%%%%%%%%%

% MODELO 2

% OLEO 10 API 25C

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\rho_{hofl2}(j) = S_{gas}(j) * \rho_{gas2} + (1 - S_{gas}(j)) * \rho_{w2};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{flH2}(j) = (S_{gas}(j) * (K_{g2}^{-1}) + (1 - S_{gas}(j)) * (K_{w2}^{-1}))^{-1};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

$$\rho_{hBs2}(j) = \rho_{hofl2}(j) * \phi_{i2} + \rho_{h2} * (1 - \phi_{i2});$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fluido2} = K_{flH2}(j);$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat2(j)} = K_{d2} + \left( \frac{(1 - (K_{d2}/K_o))^2}{\phi_2/K_{fluido2} + (1 - \phi_2)/K_o - K_{d2}/(K_o^2)} \right);$$

% CALCULO DE VP e VS

$$v_{psat2H2(j)} = \left( \frac{K_{sat2(j)} + (4/3) \cdot G_2}{\rho_{Bs2(j)}} \right)^{1/2};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{fl11} = K_{g1};$$

$$K_{11} = K_o \cdot \left( \frac{\phi_2 \cdot K_{d2} - (1 + \phi_1) \cdot K_{fl11} \cdot K_{d2}/K_o + K_{fl11}}{(1 - \phi_2) \cdot K_{fl11} + \phi_2 \cdot K_o - K_{fl11} \cdot K_{d2}/K_o} \right);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$K_{fl22} = K_{w2};$$

$$K_{22} = K_o \cdot \left( \frac{\phi_2 \cdot K_{d2} - (1 + \phi_1) \cdot K_{fl22} \cdot K_{d2}/K_o + K_{fl22}}{(1 - \phi_2) \cdot K_{fl22} + \phi_2 \cdot K_o - K_{fl22} \cdot K_{d2}/K_o} \right);$$

% CALCULO DE VP

$$v_{psat2P2(j)} = \left( \frac{(S_{gas(j)} \cdot ((K_{11} + (4/3) \cdot G_2)^{-1}) + (1 - S_{gas(j)}) \cdot ((K_{22} + (4/3) \cdot G_2)^{-1}))^{-1}}{\rho_{Bs2(j)}} \right)^{1/2};$$

%%%%%%%%%

% MODELO 3

% oleo 50 API 125C

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\rho_{hofl3(j)} = S_{gas(j)} \cdot \rho_{gas3} + (1 - S_{gas(j)}) \cdot \rho_{w3};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{flH3(j)} = (S_{gas(j)} \cdot (K_{g3}^{-1}) + (1 - S_{gas(j)}) \cdot (K_{w3}^{-1}))^{-1};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

$$\rho_{Bs3(j)} = \rho_{hofl3(j)} \cdot \phi_3 + \rho_{g3} \cdot (1 - \phi_3);$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fluido3} = K_{flH3(j)};$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat3(j)} = K_{d3} + \left( \frac{(1 - (K_{d3}/K_o))^2}{\phi_3/K_{fluido3} + (1 - \phi_3)/K_o - K_{d3}/(K_o^2)} \right);$$

% CALCULO DE VP e VS

$$\text{vpsat2H3(j)} = ((\text{Ksat3(j)} + (4/3)*\text{G3})/\text{rhoBsat3(j)})^{(1/2)};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION

%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO  
KG

$$\text{Kfl111} = \text{Kg2};$$

$$\text{K111} = \text{Ko} * (\text{phi3} * \text{Kd3} - (1 + \text{phi3}) * \text{Kfl111} * \text{Kd3} / \text{Ko} + \text{Kfl111}) / ((1 - \text{phi3}) * \text{Kfl111} + \text{phi3} * \text{Ko} - \text{Kfl111} * \text{Kd3} / \text{Ko});$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$\text{Kfl222} = \text{Kw3};$$

$$\text{K222} = \text{Ko} * (\text{phi3} * \text{Kd3} - (1 + \text{phi3}) * \text{Kfl222} * \text{Kd3} / \text{Ko} + \text{Kfl222}) / ((1 - \text{phi3}) * \text{Kfl222} + \text{phi3} * \text{Ko} - \text{Kfl222} * \text{Kd3} / \text{Ko});$$

% CALCULO DE VP e VS

$$\text{vpsat2P3(j)} = (((\text{Sgas(j)} * (\text{K111} + (4/3) * \text{G3})^{(-1)}) + (1 - \text{Sgas(j)}) * (\text{K222} + (4/3) * \text{G3})^{(-1)}))^{(-1)}) / \text{rhoBsat3(j)}^{(1/2)};$$

%%

% MODELO 4

% OLEO 50 API 25C

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\text{rhoFl4(j)} = \text{Sgas(j)} * \text{rho\_gas4} + (1 - \text{Sgas(j)}) * \text{rho\_w4};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$\text{KflH4(j)} = (\text{Sgas(j)} * (\text{Kg4}^{(-1)}) + (1 - \text{Sgas(j)}) * (\text{Kw4}^{(-1)}))^{(-1)};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

$$\text{rhoBsat4(j)} = \text{rhoFl4(j)} * \text{phi4} + \text{rhoG4} * (1 - \text{phi4});$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$\text{Kfluido4} = \text{KflH4(j)};$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$\text{Ksat4(j)} = \text{Kd4} + (((1 - (\text{Kd4} / \text{Ko}))^2) / (\text{phi4} / \text{Kfluido4} + (1 - \text{phi4}) / \text{Ko} - \text{Kd4} / (\text{Ko}^2)));$$

% CALCULO DE VP e VS

$$\text{vpsat2H4(j)} = ((\text{Ksat4(j)} + (4/3) * \text{G4})/\text{rhoBsat4(j)})^{(1/2)};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

Kfl1111 = Kg4;

K1111 = Ko\*(phi4\*Kd4 - (1+phi4)\*Kfl1111\*Kd4/Ko + Kfl1111)/((1-phi4)\*Kfl1111 + phi4\*Ko - Kfl1111\*Kd4/Ko);

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

Kfl2222 = Kw4;

K2222 = Ko\*( phi4\*Kd4 - (1+phi4)\*Kfl2222\*Kd4/Ko + Kfl2222)/((1-phi4)\*Kfl2222 + phi4\*Ko - Kfl2222\*Kd4/Ko);

% CALCULO DE VP e VS

vpsat2P4(j) = (((Sgas(j))\*((K1111 + (4/3)\*G4)^(-1)) + (1-Sgas(j))\*((K2222 + (4/3)\*G4)^(-1)))^(-1))/rhoBsat4(j))^(1/2);

%%%%%%%%%

% DIFERENÇA ENTRE Vp PATCHYs 25 e 125 C PARA cada API

%%%%%%%%%

b = max(vpsat2P2);

Dvp10(j) = (vpsat2P2(j) - vpsat2P1(j))\*1000; %\*100)/b;

c = max(vpsat2P4);

Dvp50(j) = (vpsat2P4(j) - vpsat2P3(j))\*1000; % \*100)/c;

j=j+1;

end

GRAFICO %%%%%%%%%%

figure(1),plot(Sgas,vpsat2P1,'b-',Sgas,vpsat2P2,'v-',Sgas,vpsat2P3,'R-',Sgas,vpsat2P4,'Y-',Sgas,vpsat2H1,'b-',Sgas,vpsat2H2,'v-',Sgas,vpsat2H3,'R-',Sgas,vpsat2H4,'Y-')

legend('Vp\_P 10 API 125','Vp\_P 10 API 25','Vp\_P 50 API 125','Vp\_P 50 API 25','Vp\_H 10 API 125','Vp\_H 10 API 25','Vp\_H 50 API 125','Vp\_H 50 API 25');

xlabel('S\_g');

ylabel('V\_p (Km/s)');

figure(3),plot(Sgas,Dvp10,'r:o',Sgas,Dvp50,'b:^')

legend('10 API','50 API');

xlabel('S\_g');

ylabel('Vp\_2\_5 - Vp\_1\_2\_5 (m/s)');



### B.3 Areia Limpa - Efeito da Pressão

```

%%%%%%%%%%
%  CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS
%  SISTEMA AGUA-GAS
%%%%%%%%%%

clear all

% PROPRIEDADES DOS FLUIDOS PAPER BATZLE!!

Kg2 = 0.025; % modulo Bulk do gas
rho_gas2 = 0.01; % densidade do gas
Kg1 = 0.1; % modulo Bulk do gas
rho_gas1 = 0.23; % densidade do gas

Kw2 = 2.25; % MODULO BULK da agua (não salgada)
rho_w2 = 1; % densidade da agua
Kw1 = 2.37; % MODULO BULK da agua
rho_w1 = 1; % densidade da agua ppm = 0

% PARAMETROS SEGUNDO TESE YIN AREIA 30 MPA

phi1 = 0.34; %
G1 = 2.2; %
Kd1 = 9.2; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)
Ko = 36.6; % MODULO BULK do mineral
rhog = 2.65; % densidade do grao
rhod1 = rhog*(1 - phi1); % densidade da rocha seca

% PARAMETROS SEGUNDO TESE YIN AREIA 10 MPA

phi2 = 0.36; %
G2 = 1; %
Kd2 = 8.4; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)
rhod2 = rhog*(1 - phi2); % densidade da rocha seca

% PARAMETROS SEGUNDO TESE YIN AREIA 22 MPA

% Kw2 = 2.15; % MODULO BULK da agua
% rho_w2 = 1; % densidade da agua
% rho_oleo2 = 0.75; % densidade do oleo
% Koleo2 = 1.42; %0.85; % MODULO BULK do oleo
% phi2 = 0.36; %
% G2 = 2.0; %
% Kd2 = 8.4; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)
% rhod2 = rhog*(1 - phi2); % densidade da rocha seca

```

```

%%%%%%%%%%
% MODELO 1
% 30 MPa

```

```

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%%

```

```

% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1

```

```

j=1;

```

```

for i=0:0.01:1 ,

```

```

Sgas(j) = i;

```

```

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)
rhoFl1(j) = Sgas(j)*rho_gas1 + (1-Sgas(j))*rho_w1;

```

```

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
KfIH1(j) = (Sgas(j)*(Kg1^(-1)) + (1-Sgas(j))*(Kw1^(-1)))^(-1);

```

```

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA
rhoBsat1(j) = rhoFl1(j)*phi1 + rhog*(1 - phi1);

```

```

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
Kfluido1 = KfIH1(j);

```

```

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)
Ksat1(j) = Kd1 + (((1-(Kd1/Ko))^2)/(phi1/Kfluido1 + (1-phi1)/Ko - Kd1/(Ko^2)));

```

```

% CALCULO DE VP e VS

```

```

vpsat2H1(j) = ((Ksat1(j) + (4/3)*G1)/rhoBsat1(j))^(1/2);

```

```

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%%

```

```

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO
KG

```

```

Kfl1 = Kg1;

```

```

K1 = Ko*(phi1*Kd1 - (1+phi1)*Kfl1*Kd1/Ko + Kfl1)/((1-phi1)*Kfl1 + phi1*Ko -
Kfl1*Kd1/Ko);

```

```

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

```

```

Kfl2 = Kw1;

```

```

K2 = Ko*( phi1*Kd1 - (1+phi1)*Kfl2*Kd1/Ko +Kfl2)/((1-phi1)*Kfl2 + phi1*Ko -
Kfl2*Kd1/Ko);

```

% CALCULO DE VP

$$vpsat2P1(j) = (((Sgas(j) * ((K1 + (4/3) * G1)^{-1}) + (1 - Sgas(j)) * ((K2 + (4/3) * G1)^{-1})))^{-1}) / \rho_{Bs1}(j)^{1/2};$$

%%%

% MODELO 2

% 10 MPA

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\rho_{fl2}(j) = Sgas(j) * \rho_{gas2} + (1 - Sgas(j)) * \rho_{w2};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{flH2}(j) = (Sgas(j) * (Kg2^{-1}) + (1 - Sgas(j)) * (Kw2^{-1}))^{-1};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA AQUI ERROR EM RHOFL!!!

$$\rho_{Bs2}(j) = \rho_{fl2}(j) * \phi_2 + \rho_{og} * (1 - \phi_2);$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fluido2} = K_{flH2}(j);$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat2}(j) = Kd2 + (((1 - (Kd2/Ko))^2) / (\phi_2 / K_{fluido2} + (1 - \phi_2) / Ko - Kd2 / (Ko^2)));$$

% CALCULO DE VP e VS

$$vpsat2H2(j) = ((K_{sat2}(j) + (4/3) * G2) / \rho_{Bs2}(j))^{1/2};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{fl11} = Kg2;$$

$$K_{11} = Ko * (\phi_2 * Kd2 - (1 + \phi_2) * K_{fl11} * Kd2 / Ko + K_{fl11}) / ((1 - \phi_2) * K_{fl11} + \phi_2 * Ko - K_{fl11} * Kd2 / Ko);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$K_{fl22} = Kw2;$$

$$K_{22} = Ko * (\phi_2 * Kd2 - (1 + \phi_2) * K_{fl22} * Kd2 / Ko + K_{fl22}) / ((1 - \phi_2) * K_{fl22} + \phi_2 * Ko - K_{fl22} * Kd2 / Ko);$$

% CALCULO DE VP e VS

$$vpsat2P2(j) = (((Sgas(j) * ((K11 + (4/3) * G2)^{-1}) + (1 - Sgas(j)) * ((K22 + (4/3) * G2)^{-1})))^{-1}) / \rho_{Bs2}(j)^{1/2};$$

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% DIFERENÇA ENTRE Vp PATCHY E HOMOGENEA PARA CADA PRESSAO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

c = max(vpsat2P1);
vp30(j) = ((vpsat2P1(j) - vpsat2H1(j))*100)/c;

d = max(vpsat2P2);
vp10(j) = ((vpsat2P2(j) - vpsat2H2(j))*100)/d;

j=j+1;
end

GRAFICO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% ter grid nos graficos por padrao
set(0,'DefaultAxesXgrid','on');
set(0,'DefaultAxesXgrid','on');
set(0,'DefaultAxesXgrid','on');

figure(1),plot(Sgas,vpsat2H1,'r:',Sgas,vpsat2P1,'b-',Sgas,vpsat2H2,'r:',Sgas,vpsat2P2,'v-')
legend('Vp_H 30 MPa','Vp_P 30 MPa','Vp_H 10 MPa','Vp_P 10 MPa');
xlabel('S_g');
ylabel('V_p (Km/s)');

figure(3),plot(Sgas,vp30,'r:',Sgas,vp10,'v-')
legend('30 MPa','10 MPa');
xlabel('S_g');
ylabel('Diferença (%)');

```

## B.4 Areia Limpa e Areia Argilosa - Efeito da Porosidade

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS
% SISTEMA AGUA-GAS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all

% PROPRIEDADES DOS FLUIDOS PAPER BATZLE!! FLUIDOS PARA 10 MPA

Kg2 = 0.02; % modulo Bulk do gas
rho_gas2 = 0.09; % densidade do gas
Kg1 = Kg2;
rho_gas1 = rho_gas2;

Kw2 = 2.25; % MODULO BULK da agua (não salgada)
Kw1 = Kw2;
rho_w2 = 1.1; % densidade da agua

```

rho\_w1 = rho\_w2;

% PROPRIEDADES DOS FLUIDOS PAPER BATZLE!! FLUIDOS PARA 30 MPA

% Kg1 = 0.1; % modulo Bulk do gas

% Kg2 = Kg1;

% rho\_gas1 = 0.23; % densidade do gas

% rho\_gas2 = rho\_gas1;

% Kw1 = 2.37; % MODULO BULK da agua

% Kw2 = Kw1;

% rho\_w1 = 1; % densidade da agua ppm = 0

% rho\_w2 = rho\_w1;

% PARAMETROS SEGUNDO TESE YIN AREIA PARA 30 MPA

% phi1 = 0.34; %

% G1 = 2.2; %

% Kd1 = 9.2; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)

% Ko = 36.6; % MODULO BULK do mineral

% rhod1 = rhog\*(1 - phi1); % densidade da rocha seca

rhog = 2.65; % densidade do grao

% PARAMETROS SEGUNDO TESE YIN AREIA PARA 15 MPA (POROSIDADES ALTA)

Ko2 = 36.6; % modulo Bulk do mineral

phi2 = 0.36; %

G2 = 1.5; % 1.6; %

Kd2 = 8.7; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)

rhod2 = rhog\*(1 - phi2) % densidade da rocha seca

% PARAMETROS SEGUNDO TESE YIN AREIA-ARGILOSA C20%PARA 15 MPA  
(POROSIDADES BAIXA)

Ko1 = 32; % MODULO BULK do mineral

phi1 = 0.24; %

G1 = 1.2; %

Kd1 = 13; % modulo Bulk da rocha seca (GPa)

rhod1 = rhog\*(1 - phi1) % densidade da rocha seca

%%%

% MODELO 1

% porosidade baixa

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1

j=1;

```
for i=0:0.02:1 ,
```

```
Sgas(j) = i;
```

```
% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)
```

```
rhofl1(j) = Sgas(j)*rho_gas1 + (1-Sgas(j))*rho_w1;
```

```
% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
```

```
KfH1(j) = (Sgas(j)*(Kg1^(-1)) + (1-Sgas(j))*(Kw1^(-1)))^(-1);
```

```
% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA
```

```
rhoBsat1(j) = rhofl1(j)*phi1 + rhog*(1 - phi1);
```

```
% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)
```

```
Kfluido1 = KfH1(j);
```

```
% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)
```

```
Ksat1(j) = Kd1 + (((1-(Kd1/Ko1))^2)/(phi1/Kfluido1 + (1-phi1)/Ko1 - Kd1/(Ko1^2)));
```

```
% CALCULO DE VP e VS
```

```
vpsat2H1(j) = ((Ksat1(j) + (4/3)*G1)/rhoBsat1(j))^(1/2);
```

```
CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%
```

```
% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO  
KG
```

```
Kfl1 = Kg1;
```

```
K1 = Ko1*(phi1*Kd1 - (1+phi1)*Kfl1*Kd1/Ko1 + Kfl1)/((1-phi1)*Kfl1 + phi1*Ko1 -  
Kfl1*Kd1/Ko1);
```

```
% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA
```

```
Kfl2 = Kw1;
```

```
K2 = Ko1*( phi1*Kd1 - (1+phi1)*Kfl2*Kd1/Ko1 + Kfl2)/((1-phi1)*Kfl2 + phi1*Ko1 -  
Kfl2*Kd1/Ko1);
```

```
% CALCULO DE VP
```

```
vpsat2P1(j) = (((Sgas(j))*((K1 + (4/3)*G1)^(-1)) + (1-Sgas(j))*((K2 + (4/3)*G1)^(-1)))^(-  
1))/rhoBsat1(j))^(1/2);
```

```
%%%%%%%%%%
```

```
% MODELO 2
```

```
% POROSIDADE ALTA
```

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\text{rhoFl2(j)} = \text{Sgas(j)} * \text{rho\_gas2} + (1 - \text{Sgas(j)}) * \text{rho\_w2};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$\text{KflH2(j)} = (\text{Sgas(j)} * (\text{Kg2}^{(-1)} + (1 - \text{Sgas(j)}) * (\text{Kw2}^{(-1)}))^{(-1)});$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA AQUI ERROR EM RHOFL!!!

$$\text{rhoBsat2(j)} = \text{rhoFl2(j)} * \text{phi2} + \text{rhog} * (1 - \text{phi2});$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$\text{Kfluido2} = \text{KflH2(j)};$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$\text{Ksat2(j)} = \text{Kd2} + (((1 - (\text{Kd2}/\text{Ko2}))^2) / (\text{phi2}/\text{Kfluido2} + (1 - \text{phi2})/\text{Ko2} - \text{Kd2}/(\text{Ko2}^2)));$$

% CALCULO DE VP e VS

$$\text{vpsat2H2(j)} = ((\text{Ksat2(j)} + (4/3) * \text{G2}) / \text{rhoBsat2(j)})^{(1/2)};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$\text{Kfl11} = \text{Kg2};$$

$$\text{K11} = \text{Ko2} * (\text{phi2} * \text{Kd2} - (1 + \text{phi2}) * \text{Kfl11} * \text{Kd2}/\text{Ko2} + \text{Kfl11}) / ((1 - \text{phi2}) * \text{Kfl11} + \text{phi2} * \text{Ko2} - \text{Kfl11} * \text{Kd2}/\text{Ko2});$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$\text{Kfl22} = \text{Kw2};$$

$$\text{K22} = \text{Ko2} * (\text{phi2} * \text{Kd2} - (1 + \text{phi2}) * \text{Kfl22} * \text{Kd2}/\text{Ko2} + \text{Kfl22}) / ((1 - \text{phi2}) * \text{Kfl22} + \text{phi2} * \text{Ko2} - \text{Kfl22} * \text{Kd2}/\text{Ko2});$$

% CALCULO DE VP e VS

$$\text{vpsat2P2(j)} = (((\text{Sgas(j)} * ((\text{K11} + (4/3) * \text{G2})^{(-1)}) + (1 - \text{Sgas(j)}) * ((\text{K22} + (4/3) * \text{G2})^{(-1)}))^{(-1)} - 1) / \text{rhoBsat2(j)})^{(1/2)});$$

%%%%%%%%%

% DIFERENÇA ENTRE Vp PATCHY E HOMOGENEA PARA CADA PRESSAO

%%%%%%%%%

$$\text{c} = \max(\text{vpsat2P1});$$

$$\text{vp\_phi\_baixo(j)} = ((\text{vpsat2P1(j)} - \text{vpsat2H1(j)}) * 100) / \text{c};$$

$$\text{d} = \max(\text{vpsat2P2});$$

```
vp_phi_alto(j) = ((vpsat2P2(j) - vpsat2H2(j))*100)/d;
```

```
j=j+1;
```

```
end
```

```
GRAFICO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% ter grid nos graficos por padrao
```

```
set(0,'DefaultAxesXgrid','of');
```

```
set(0,'DefaultAxesXgrid','of');
```

```
set(0,'DefaultAxesXgrid','of');
```

```
figure(1),plot(Sgas,vpsat2H1,'b^:',Sgas,vpsat2P1,'b^-
```

```
',Sgas,vpsat2H2,'ro:',Sgas,vpsat2P2,'ro-')
```

```
legend('Vp_H phi = 0.24','Vp_P phi = 0.24','Vp_H phi = 0.36','Vp_P phi = 0.36');
```

```
xlabel('S_g');
```

```
ylabel('V_p (Km/s)');
```

```
figure(3),plot(Sgas,vp_phi_baixo,'b^:',Sgas,vp_phi_alto,'r:o')
```

```
legend('phi = 0.24','phi = 0.36');
```

```
xlabel('S_g');
```

```
ylabel('Diferença (%)');
```

## B.5

### Arenito Fontainebleu

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% CALCULO DA VELOCIDADE VP EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO DE GAS
```

```
% INJEÇÃO DE GAS
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Propriedades dos fluidos PAPER BATZLE: INDICE "W" SE REFERE A OLEO
```

```
% PARAMETROS FLUIDO SUBMETIDO A 3 MPA 25OC
```

```
Kg1 = 0.007; % modulo Bulk do gas
```

```
rho_gas1 = 0.03; % densidade do gas
```

```
Kw1 = 1.31; % MODULO BULK do oleo 1.6
```

```
rho_w1 = 0.77; % densidade do oleo
```

```
% PP=3 MPA PARA 125 C
```

```
Kg2 = 0.007; % modulo Bulk do gas (GPa)
```

```
rho_gas2 = 0.02; % densidade do gas
```

```
Kw2 = 0.6; % MODULO BULK do óleo (GPa)
```

```
rho_w2 = 0.72; % densidade do óleo
```



% PP=10 MPA PARA 125 C

rho\_gas3 = 0.06; % densidade do gas  
Kg3 = 0.02; % modulo Bulk do gas (GPa)

Kw3 = 0.7; % MODULO BULK do óleo (GPa)  
rho\_w3 = 0.72; % densidade do óleo

%%  
% ST. FONTAINEBLEU SANDSTONE: (PACKWOOD TESE)  
%%

phi = 0.154; %ok  
G = 19.07; % modulo cisalh da rocha seca para 5Mpa(GPa)  
Kd = 18.07; % modulo Bulk da rocha seca para 5Mpa(GPa)  
Ko = 38; % modulo Bulk do mineral  
rhog = 2.65;  
rhod = rhog\*(1 - phi); % densidade da rocha seca

%%  
% MODELO 1

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% VARIANDO A SATURACAO DA AGUA DE 0 A 1

j=1;

for i=0:0.02:1 ,

Sgas(j) = i;

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)  
rhoH1(j) = Sgas(j)\*rho\_gas1 + (1-Sgas(j))\*rho\_w1;

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)  
KfH1(j) = (Sgas(j)\*(Kg1^(-1)) + (1-Sgas(j))\*(Kw1^(-1)))^(-1);

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA  
rhoBsat1(j) = rhoH1(j)\*phi + rhog\*(1 - phi)

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)  
Kfluido1 = KfH1(j);

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)  
Ksat1(j) = Kd + (((1-(Kd/Ko))^2)/(phi/Kfluido1 + (1-phi)/Ko - Kd/(Ko^2)))

% CALCULO DE VP e VS

vpH1(j) = ((Ksat1(j) + (4/3)\*G)/rhoBsat1(j))^(1/2);

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{f1} = K_{g1};$$

$$K_1 = K_o * (\phi * K_d - (1 + \phi) * K_{f1} * K_d / K_o + K_{f1}) / ((1 - \phi) * K_{f1} + \phi * K_o - K_{f1} * K_d / K_o);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$K_{f2} = K_{w1};$$

$$K_2 = K_o * (\phi * K_d - (1 + \phi) * K_{f2} * K_d / K_o + K_{f2}) / ((1 - \phi) * K_{f2} + \phi * K_o - K_{f2} * K_d / K_o);$$

% CALCULO DE VP

$$vpsat2P1(j) = (((S_{gas}(j)) * ((K_1 + (4/3) * G)^{-1}) + (1 - S_{gas}(j)) * ((K_2 + (4/3) * G)^{-1}))^{-1} - 1) / \rho_{bsat1}(j)^{1/2};$$

%%%%%%%%%

% MODELO 2

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%%%%%%%%%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\rho_{fl2}(j) = S_{gas}(j) * \rho_{gas2} + (1 - S_{gas}(j)) * \rho_{w2};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fH2}(j) = (S_{gas}(j) * (K_{g1}^{-1}) + (1 - S_{gas}(j)) * (K_{w2}^{-1}))^{-1};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

$$\rho_{bsat2}(j) = \rho_{fl2}(j) * \phi + \rho_{og} * (1 - \phi)$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fluido2} = K_{fH2}(j);$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat2}(j) = K_d + (((1 - (K_d / K_o))^2) / (\phi / K_{fluido2} + (1 - \phi) / K_o - K_d / (K_o^2)))$$

% CALCULO DE VP e VS

$$vpsat2H2(j) = ((K_{sat2}(j) + (4/3) * G) / \rho_{bsat2}(j))^{1/2};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%%%%%%%%%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{fl11} = K_{g1};$$

$$K_{11} = K_o * (\phi * K_d - (1 + \phi) * K_{fl11} * K_d / K_o + K_{fl11}) / ((1 - \phi) * K_{fl11} + \phi * K_o - K_{fl11} * K_d / K_o);$$

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA

$$K_{fl22} = K_{w2};$$

$$K_{22} = K_o * (\phi * K_d - (1 + \phi) * K_{fl22} * K_d / K_o + K_{fl22}) / ((1 - \phi) * K_{fl22} + \phi * K_o - K_{fl22} * K_d / K_o);$$

% CALCULO DE VP

$$v_{psat2P2}(j) = (((S_{gas}(j) * ((K_{11} + (4/3) * G)^{-1})) + (1 - S_{gas}(j)) * ((K_{22} + (4/3) * G)^{-1}))^{-1}) / \rho_{bsat2}(j))^{1/2};$$

%%%

% MODELO 3

CURVA INFERIOR: HOMOGENEOUS SATURATION %%

% DENSIDADE DO FLUIDO (AGUA E GAS)

$$\rho_{ofl3}(j) = S_{gas}(j) * \rho_{gas3} + (1 - S_{gas}(j)) * \rho_{w3};$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{flH3}(j) = (S_{gas}(j) * (K_{g3}^{-1}) + (1 - S_{gas}(j)) * (K_{w3}^{-1}))^{-1};$$

% DENSIDADE DA ROCHA SATURADA

$$\rho_{bsat3}(j) = \rho_{ofl3}(j) * \phi + \rho_{og} * (1 - \phi);$$

% MODULO BULK DO FLUIDO(AGUA E GAS)

$$K_{fluido3} = K_{flH3}(j);$$

% MODULO BULK DA ROCHA SATURADA (EQUACAO DE GASSMAN)

$$K_{sat3}(j) = K_d + (((1 - (K_d / K_o))^2) / (\phi / K_{fluido3} + (1 - \phi) / K_o - K_d / (K_o^2)));$$

% CALCULO DE VP e VS

$$v_{psat2H3}(j) = ((K_{sat3}(j) + (4/3) * G) / \rho_{bsat3}(j))^{1/2};$$

CURVA SUPERIOR: PATCHY SATURATION %%

% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE GAS DE MODULO KG

$$K_{fl111} = K_{g2};$$

$$K_{111} = K_o * (\phi * K_d - (1 + \phi) * K_{fl111} * K_d / K_o + K_{fl111}) / ((1 - \phi) * K_{fl111} + \phi * K_o - K_{fl111} * K_d / K_o);$$

```
% MODULO BULK DA ROCHA TOTALMENTE SATURADA DE AGUA
```

```
Kfl222 = Kw3;
```

```
K222 = Ko*( phi*Kd - (1+phi)*Kfl222*Kd/Ko + Kfl222)/((1-phi)*Kfl222 + phi*Ko -  
Kfl222*Kd/Ko);
```

```
% CALCULO DE VP e VS
```

```
vpsat2P3(j) = (((Sgas(j))*((K111 + (4/3)*G)^(-1)) + (1-Sgas(j))*((K222 + (4/3)*G)^(-1)))^(-  
1))/rhoBsat3(j)^(1/2);
```

```
j=j+1;
```

```
end
```

```
GRAFICO %%%%%%%%%%
```

```
figure(1),plot(Sgas,vpsat2P1,'b^-',Sgas,vpsat2H1,'b^-',Sgas,vpsat2P2,'ro-'  
,Sgas,vpsat2H2,'ro-',Sgas,vpsat2P3,'v-',Sgas,vpsat2H3,'v:')
```

```
legend('Vp_P 3 MPa 25','Vp_H 3 MPa 25','Vp_P 3 MPa 125','Vp_H 3 MPa 125','Vp_P 10  
MPa 125','Vp_H 10 MPa 125');
```

```
xlabel('S_g');
```

```
ylabel('V_p (Km/s)');
```

## APÊNDICE C

### Código MATLAB:

### *Upscaling* da Saturação

### Limite Homogêneo e *Patchy*

### Cálculo de $V_p$ e Impedância Acústica

Nesta seção são apresentadas as rotinas desenvolvidas no MATLAB para fazer a ligação entre simulação de fluxo e modelagem sísmica. São calculados os limites homogêneo e heterogêneo da velocidade compressional segundo a saturação de gás. Além disso, o *upscaling* das saturações e velocidades é feito para escala sísmica e a partir desses valores é calculada a impedância acústica e a variação desta com o tempo. Os modelos utilizados para o cálculo da velocidade compressional são o proposto por Gassmann (1951) e o apresentado por Mavko & Jizba (1911). Essas implementações são utilizadas nas análises realizadas no Capítulo 4 e Capítulo 5.

#### C.1.

#### Método de Gassmann: $V_p$ para escala fina e grossa

```
clear
```

```
DECLARACAO DE VARIAVEIS %%%%%%%%%%
```

```
numerocamadas=80;  
colunamodelo=240;  
saturacaoaguaresidual=0.20;  
saturacaooleoresidual=0.15;  
saturacaogasresidual=0.02;  
linhasfase=24;  
nfases=4  
intervalocamadasSat=numerocamadas*(linhasfase+1);  
intervalodiasSat=1+nfases*intervalocamadasSat;  
Sar=saturacaoaguaresidual;  
Sor=saturacaooleoresidual;  
Sgr=saturacaogasresidual;  
TempReserv=60;  
phi=0.3;
```

CARREGANDO ARQUIVOS COM OS DADOS %%%%%%%%%%

```
[DADOSSAT1]=xlsread('...implementações \ Gassmann \ sim009_t=0.xls');
linhaMatrizSat1=size(DADOSSAT1,1);
colunaMatrizSat1=size(DADOSSAT1,2);
[DADOSSAT2]=xlsread('...implementações \ Gassmann \ sim009_t=500.xls');
linhaMatrizSat2=size(DADOSSAT2,1);
colunaMatrizSat2=size(DADOSSAT2,2);
p1=linhaMatrizSat1/intervalodiasSat;
p2=linhaMatrizSat2/intervalodiasSat;
```

OBTENCAO DOS MAPAS DE SATURACAO GAS %%%%%%%%%%

```
a=1;
b=(intervalocamadasSat*3)+3;
for n=1:p1;
    k=b;
    for m=1:numerocamadas;
        for i=k:k+linhasfase-1;
            for j=1:colunaMatrizSat1;
                SAT(m,a,n)= DADOSSAT1(i,j);
                a = a+1;
            end
        end
        k=i+2;
        a=1;
    end
    b=b+intervalodiasSat;
end
```

```
a=1;
b=(intervalocamadasSat*3)+3;
for n=(p1+1):p1+p2;
    k=b;
    for m=1:numerocamadas;
        for i=k:k+linhasfase-1;
            for j=1:colunaMatrizSat2;
                SAT(m,a,n)= DADOSSAT2(i,j);
                a = a+1;
            end
        end
        k=i+2;
        a=1;
    end
    b=b+intervalodiasSat;
end
```

UPSCALING %%%%%%%%%%

```
celulalinhaup=20;
celulacolunaup=40;
colunaup=fix(size(SAT,2)/celulacolunaup);
```

```

linhaup=size(SAT,1)/celulalinhaup;
for k=1:size(SAT,3);
    for i=1:linhaup;
        for j=1:colunaup;
            UPSCALSAT(i,j,k)=sum(sum(SAT(1+celulalinhaup*(i-
1):celulalinhaup*i,1+celulacolunaup*(j-
1):celulacolunaup*j,k)))/(celulacolunaup*celulalinhaup);
        end
    end
end

DEFINICAO DE PARAMETROS %%%%%%%%%%%
% 1 psi/ft = 2.306 g/cm3
% 1 psi = 6894.79 Pa
% 1 psi = 14.5 Bar
% 1 psi = 70.3 g/cm2
% 1 ft = 30,48 cm
% 1 libra = 453.6 g
% 1 libra/ft3 = 0.016g/cm3;

densg = 2.650;           % densidade do quartzo (g/cm3)
K0=36.6;                % modulo Bulk do quartzo(GPa)
Kd=9.2;                 % MODULO BULK da rocha seca(GPa)
G=2.2;                  % modulo de Shear da rocha(GPa)
Kgas=0.04;              % MODULO BULK do gas(GPa)
Koleo=1.15;             % MODULO BULK do oleo(GPa)
Kagua=2.25;             % MODULO BULK da agua(GPa)
densagua=1;             % densidade da agua(g/cm3)
densoleo=0.848;         % densidade do oleo(g/cm3)
densgas=0.0375;         % densidade do gas(g/cm3)

CALCULO DE VELOCIDADE %%%%%%%%%%%

% MODULO BULK da rocha totalmente saturada de agua
K1 = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Kagua + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));

% MODULO BULK da rocha totalmente saturada de oleo
K2 = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Koleo + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));

% MODULO BULK da rocha totalmente saturada de gas
K3 = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Kgas + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));

j=1;
% variando a saturacao da gas de 0 a 1
for i=0:0.01:1;
    Sw(j) = i;

    % densidade do fluido (agua, oleo e gas 60C)
    densfl(j) = Sw(j)*densgas + (1-Sw(j))*densoleo;

    % densidade da rocha saturada

```

```
densrochasat(j) = densfl(j)*phi + densg*(1-phi);
```

```
Saturacao Homogenea %%%%%%%%%%
```

```
% MODULO BULK do fluido(agua e oleo)
```

```
Kfl(j) = (Sw(j)*(Kgas^(-1)) + (1-Sw(j))*(Koleo^(-1)))^(-1);
```

```
% MODULO BULK da rocha saturada
```

```
KsatH(j) = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Kfl(j) + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));
```

```
% calculo de VP e VS
```

```
vpsatH(j) = ((KsatH(j) + (4/3)*G)/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
```

```
vssatH(j) = (G/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
```

```
Patchy saturation %%%%%%%%%%
```

```
KsatP(j) = (Sw(j)*((K3 + (4/3)*G)^(-1)) + (1-Sw(j))*((K2 + (4/3)*G)^(-1)))^(-1) - (4/3)*G;
```

```
% calculo de VP e VS
```

```
vpsatP(j) = ((KsatP(j) + (4/3)*G)/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
```

```
vssatP(j) = (G/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
```

```
j=j+1;
```

```
end
```

```
Patchy Modificado %%%%%%%%%%
```

```
for k=1:size(SAT,3);
```

```
for i=1:linhaup;
```

```
for j=1:colunaup;
```

```
So=1-UPSCALSAT(i,j,k);
```

```
densfl = UPSCALSAT(i,j,k)*densgas+(So-Sar)*densoleo+Sar*densagua;
```

```
densrochasat2(i,j,k) = densfl*phi + densg*(1-phi);
```

```
Kf1 = ((1-Sor-Sgr)/Kagua + Sor/Koleo + Sgr/Kgas)^(-1);
```

```
Kf2 = (Sar/Kagua + (1-Sar-Sgr)/Koleo + Sgr/Kgas)^(-1);
```

```
Kf3 = (Sar/Kagua + Sor/Koleo + (1-Sor-Sar)/Kgas)^(-1);
```

```
Kar = K0*(Kd/(K0-Kd) + Kf1/(phi*(K0-Kf1)))/(1 + Kd/(K0-Kd) + Kf1/(phi*(K0-Kf1)));
```

```
Kor = K0*(Kd/(K0-Kd) + Kf2/(phi*(K0-Kf2)))/(1 + Kd/(K0-Kd) + Kf2/(phi*(K0-Kf2)));
```

```
Kgr = K0*(Kd/(K0-Kd) + Kf3/(phi*(K0-Kf3)))/(1 + Kd/(K0-Kd) + Kf3/(phi*(K0-Kf3)));
```

```
Sf3(i,j,k) = (UPSCALSAT(i,j,k)-Sgr)/(1-Sar-Sor-Sgr);
```

```
Sf2(i,j,k) = (So-Sor-Sar)/(1-Sar-Sor-Sgr);
```

```
Kmp(i,j,k) = (Sf3(i,j,k)/(Kgr + 4*G/3) + Sf2(i,j,k)/(Kor + 4*G/3))^(-1) - 4*G/3 ;
```

```
%% VP, VS, IMPEDANCIA e DENSIDADE
```

```
UPSCALVP(i,j,k) = ((Kmp(i,j,k) + (4/3)*G)/densrochasat2(i,j,k))^(1/2)*1000;
```

```
UPSCALVS(i,j,k) = (G/densrochasat2(i,j,k))^(1/2)*1000;
```

```
UPSCALIMPED(i,j,k)=UPSCALVP(i,j,k)*densrochasat2(i,j,k)*1000000;
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```



```

VP=UPSCALVP;
VS=UPSCALVS;
IMPED=UPSCALIMPED;
DENS=densrochasat2;CONSTRUCAO DOS GRAFICOS

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

x1=0:1.25:1.25*(linhasfase*10-1);
z1=0:1:1*(numerocamadas-1);
x2=0:50:50*(colunaup-1);
z2=0:20:20*(linhaup-1);

```

```

for t=2:5:11;
    figure(t),plot(UPSCALSAT(:,t),UPSCALVP(:,t),'ro',Sw,vpsatH,'g*',Sw,vpsatP,'b*'),
hold on;
end

```

## C.2.

### Método de Mavko & Jizba: $V_p$ para escala fina e grossa

```

clear

```

```

DECLARACAO DE VARIAVEIS %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

numerocamadas=80;
%linhamodelo=270;
colunamodelo=240;
saturacaoaguaresidual=0.20;
saturacaooleoresidual=0.15;
saturacaogasresidual=0.02;
linhasfase=24;
nfases=4;
intervalocamadasSat=numerocamadas*(linhasfase+1);
intervalodiasSat=1+nfases*intervalocamadasSat;
Sar=saturacaoaguaresidual;
Sor=saturacaooleoresidual;
Sgr=saturacaogasresidual;
TempReserv=60;
phi=0.3;
aa=2.5;
c=0;

```

```

CARREGANDO ARQUIVOS COM OS DADOS %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

[DADOSSAT1]=xlsread('...implementações \ Gassmann \ sim009_t=0.xls');
linhaMatrizSat1=size(DADOSSAT1,1);
colunaMatrizSat1=size(DADOSSAT1,2);
[DADOSSAT2]=xlsread('...implementações \ Gassmann \ sim009_t=500.xls');
linhaMatrizSat2=size(DADOSSAT2,1);
colunaMatrizSat2=size(DADOSSAT2,2);
p1=linhaMatrizSat1/intervalodiasSat;

```

```
p2=linhaMatrizSat2/intervalodiasSat;
```

```
OBTENCAO DOS MAPAS DE SATURACAO GAS %%%%%%%%%%
```

```
a=1;
b=(intervalocamadasSat*3)+3;
for n=1:p1;
    k=b;
    for m=1:numerocamadas;
        for i=k:k+linhasfase-1;
            for j=1:colunaMatrizSat1;
                SAT(m,a,n)= DADOSSAT1(i,j);
                a = a+1;
            end
        end
        k=i+2;
        a=1;
    end
    b=b+intervalodiasSat;
end
```

```
a=1;
b=(intervalocamadasSat*3)+3;
for n=(p1+1):p1+p2;
    k=b;
    for m=1:numerocamadas;
        for i=k:k+linhasfase-1;
            for j=1:colunaMatrizSat2;
                SAT(m,a,n)= DADOSSAT2(i,j);
                a = a+1;
            end
        end
        k=i+2;
        a=1;
    end
    b=b+intervalodiasSat;
end
```

```
UPSCALING %%%%%%%%%%
```

```
celulalinhaup=20;
celulacolunaup=40;
colunaup=fix(size(SAT,2)/celulacolunaup);
linhaup=size(SAT,1)/celulalinhaup;
for k=1:size(SAT,3);
    for i=1:linhaup;
        for j=1:colunaup;
            UPSCALSAT(i,j,k)=sum(sum(SAT(1+celulalinhaup*(i-1):celulalinhaup*i,1+celulacolunaup*(j-1):celulacolunaup*j,k)))/(celulacolunaup*celulalinhaup);
        end
    end
end
```

end  
end

DEFINICAO DE PARAMETROS %%%%%%%%%%

% 1 psi/ft = 2.306 g/cm3  
% 1 psi = 6894.79 Pa  
% 1 psi = 14.5 Bar  
% 1 psi = 70.3 g/cm2  
% 1 ft = 30,48 cm  
% 1 libra = 453.6 g  
% 1 libra/ft3 = 0.016g/cm3;

densg = 2.650;                   % densidade do quartzo (g/cm3)  
K0=36.6;                        % modulo Bulk do quartzo(GPa)  
Kd=9.2;                        % MODULO BULK da rocha seca(GPa)  
G=2.2;                         % modulo de Shear da rocha(GPa)  
Kgas=0.04;                    % MODULO BULK do gas(GPa)  
Koleo=1.15;                    % MODULO BULK do oleo(GPa)  
Kagua=2.25;                    % MODULO BULK da agua(GPa)  
densagua=1;                    % densidade da agua(g/cm3)  
densoleo=0.848;                % densidade do oleo(g/cm3)  
densgas=0.0375;                % densidade do gas(g/cm3)

CALCULO DE VELOCIDADE %%%%%%%%%%

% MODULO BULK da rocha totalmente saturada de agua  
 $K1 = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Kagua + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));$

% MODULO BULK da rocha totalmente saturada de oleo  
 $K2 = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Koleo + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));$

% MODULO BULK da rocha totalmente saturada de gas  
 $K3 = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Kgas + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));$

j=1;  
% variando a saturacao da gas de 0 a 1  
for i=0:0.01:1;  
    Sw(j) = i;

    % densidade do fluido (agua, oleo e gas 60C)  
    densfl(j) = Sw(j)\*densgas + (1-Sw(j))\*densoleo;

    % densidade da rocha saturada  
    densrochasat(j) = densfl(j)\*phi + densg\*(1-phi);

Saturacao Homogenea %%%%%%%%%%

% MODULO BULK do fluido(agua e oleo)  
 $Kfl(j) = (Sw(j)*(Kgas^(-1)) + (1-Sw(j))*(Koleo^(-1)))^(-1);$

```
% MODULO BULK da rocha saturada
KsatH(j) = Kd + (((1-(Kd/K0))^2)/(phi/Kfl(j) + (1-phi)/K0 - Kd/(K0^2)));
```

```
% calculo de VP e VS
vpsatH(j) = ((KsatH(j) + (4/3)*G)/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
vssatH(j) = (G/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
```

```
Patchy saturation %%%%%%%%%%
```

```
KsatP(j) = (Sw(j)*((K3 + (4/3)*G)^(-1)) + (1-Sw(j))*((K2 +(4/3)*G)^(-1)))^(-1) - (4/3)*G;
```

```
% calculo de VP e VS
vpsatP(j) = ((KsatP(j) + (4/3)*G)/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
vssatP(j) = (G/densrochasat(j))^(1/2)*1000;
j=j+1;
```

```
end
```

```
EQUAÇÕES DE JIZBA PRA CALCULO DOS MODULOS NAO RELAXADOS %%%%%%%%%%
```

```
Kdnr = 34 - 79*(phi + c/2.4);
```

```
Gnr = (1/G - 4/15*(1/Kdnr - 1/Kd))^(-1);
```

```
Kdj = Kdnr;
```

```
Gj = Gnr;
```

```
Patchy Modificado %%%%%%%%%%
```

```
for k=1:size(SAT,3);
```

```
for i=1:linhaup;
```

```
for j=1:colonaup;
```

```
So=1-UPSCALSAT(i,j,k);
```

```
densfl = UPSCALSAT(i,j,k)*densgas+(So-Sar)*densoleo+Sar*densagua;
```

```
densrochasat2(i,j,k) = densfl*phi + densg*(1-phi);
```

```
Kf2 = (Sar/Kagua + (1-Sar-Sgr)/Koleo + Sgr/Kgas)^(-1);
```

```
Kf3 = (Sar/Kagua + Sor/Koleo + (1-Sor-Sar)/Kgas)^(-1);
```

```
Kor = K0*(Kdj/(K0-Kdj) + Kf2/(phi*(K0-Kf2)))/(1 + Kdj/(K0-Kdj) + Kf2/(phi*(K0-Kf2)));
```

```
Kgr = K0*(Kdj/(K0-Kdj) + Kf3/(phi*(K0-Kf3)))/(1 + Kdj/(K0-Kdj) + Kf3/(phi*(K0-Kf3)));
```

```
Sf3(i,j,k) = (UPSCALSAT(i,j,k)-Sgr)/(1-Sar-Sor-Sgr);
```

```
Sf2(i,j,k) = (So-Sor-Sar)/(1-Sar-Sor-Sgr);
```

```
EQUAÇÕES PRA CALCULO da velocidade %%%%%%%%%%
```

```
% OR
```

```
rho11_or(i,j,k) = densrochasat2(i,j,k); % matriz 4x6x11
```

```
rho22_or = aa*phi*densfl; % upscaled
```

```
rho12_or = (1-aa)*phi*densfl; % upscaled
```

```
D1 = 1 - phi - Kdj/K0 + phi*(K0/Kf2);
```

```

Q1 = phi*(Kor - Kdj)*(1 - phi - Kdj/K0)/(1 - Kdj/K0)^2; % Ksat = Kor
R1 = phi^2*(Kor - Kdj)/(1 - Kdj/K0)^2;
P1 = (Kor - Kdj)*((1-phi)*(1 - phi - Kdj/K0) + phi*Kdj/Kf2)/(1 - Kdj/K0)^2 + 4/3*Gj;
B1(i,j,k) = rho11_or(i,j,k)*rho22_or - rho12_or^2;
A1(i,j,k) = P1*rho22_or + R1*rho11_or(i,j,k) - 2*Q1*rho12_or;

Vp_biot_or(i,j,k) = sqrt((A1(i,j,k) + sqrt((A1(i,j,k))^2 - 4*B1(i,j,k)*(P1*R1 -
Q1^2)))/(2*B1(i,j,k)));
Vs_biot_or(i,j,k) = sqrt(Gj/(rho11_or(i,j,k) - rho12_or^2/rho22_or));

% GR
rho11_gr(i,j,k) = densrochasat2(i,j,k); % matriz 4x6x11
rho22_gr = aa*phi*densfl; % upscaled
rho12_gr = (1-aa)*phi*densfl; % upscaled
D2 = 1 - phi - Kdj/K0 + phi*(K0/Kf3);
Q2 = phi*(Kgr - Kdj)*(1 - phi - Kdj/K0)/(1 - Kdj/K0)^2;
R2 = phi^2*(Kgr - Kdj)/(1 - Kdj/K0)^2;
P2 = (Kgr - Kdj)*((1-phi)*(1 - phi - Kdj/K0) + phi*Kdj/Kf3)/(1 - Kdj/K0)^2 + 4/3*Gj;
B2 = rho11_gr*rho22_gr - rho12_gr^2;
A2 = P2*rho22_gr + R2*rho11_gr - 2*Q2*rho12_gr;

Vp_biot_gr(i,j,k) = sqrt((A2(i,j,k) + sqrt((A2(i,j,k))^2 - 4*B2(i,j,k)*(P2*R2 -
Q2^2)))/(2*B2(i,j,k)));
Vs_biot_gr(i,j,k) = sqrt(Gj/(rho11_gr(i,j,k) - rho12_gr^2/rho22_gr));

UPSCALVP(i,j,k) = (Vp_biot_or(i,j,k)+ Vp_biot_gr(i,j,k))/2*1000;
UPSCALVS(i,j,k) = (Vs_biot_or(i,j,k) + Vs_biot_gr(i,j,k))/2*1000;

Kmp(i,j,k) = (UPSCALVP(i,j,k))^2*densrochasat2(i,j,k)/1000000 - (4/3)*Gj;

%% VP, VS, IMPEDANCIA e DENSIDADE
UPSCALIMPED(i,j,k)=UPSCALVP(i,j,k)*densrochasat2(i,j,k)*1000000;
end
end
end

VP=UPSCALVP;
VS=UPSCALVS;
IMPED=UPSCALIMPED;
DENS=densrochasat2;

CONSTRUCAO DOS GRAFICOS %%%%%%%%%%%%%%%

% Eixo dos graficos
x1=0:1.25:1.25*(linhasfase*10-1);
z1=0:1:1*(numerocamadas-1);
x2=0:50:50*(colunaup-1);
z2=0:20:20*(linhaup-1);
for t=2:5:11;
figure(t),plot(UPSCALSAT(:,t),UPSCALVP(:,t),'ro',Sw,vpsatH,'g*',Sw,vpsatP,'b*'), hold
on;
end

```