

PTX vs VEL

Luiz Alberto Santos

Índice

- Efeito da litologia
- Efeito da densidade
- Efeito da porosidade
- Efeito do soterramento e pressão
- Efeito da idade, frequência e temperatura

Efeito da litologia

Efeito da litologia

Litologia = rocha = agregado de minerais

O que é mineral ?

Mineral é qualquer substância química sólida formada naturalmente com composição química e características cristalinas definidas



Efeito da litologia

Principais grupos de minerais

- Silicatos $X(\text{Si}_n\text{O}_m)$
- Carbonatos $(\text{CO}_3)_n$
- Halóides (ex: cloretos) XCl_n
- Sulfatos $\text{X}(\text{SO}_4)_n$
- Nativos Ex: Au, C, Cu
- Sulfetos XS_n
- Óxidos XO_n
- Hidróxidos $\text{X}(\text{OH})_n$
-

Na crosta terrestre os minerais mais abundantes são os silicatos seguido dos carbonatos e óxidos.

Efeito da litologia

Silicatos

Mineral	Density (g/cm ³)	V _P (km/s)	V _S (km/s)
Olivines			
Forsterite	3.32	8.54	5.04
"Olivine"	3.32	8.45	4.91
Garnets			
Almandine	4.18	8.51	4.77
Zircon	4.56	3.18	2.08
Epidotes			
Epidote	3.40	7.43	4.24
Dravite	3.05	8.24	5.08
Pyroxenes			
Diopside	3.31	7.70	4.39
Augite	3.26	7.22	4.18
	3.26	3.74	2.72
Sheet silicates			
Muscovite	2.79	6.46	3.84
	2.79	5.10	2.82
	2.79	5.78	3.33
Phlogopite	2.80	6.33	3.79
	2.80	4.56	2.19
Biotite	3.05	6.17	3.73
	3.05	4.35	2.02
Clays			
Kaolinite	1.58	1.44	0.93

Efeito da litologia

Silicatos

Mineral	Density (g/cm ³)	V _P (km/s)	V _S (km/s)
Olivines			
Forsterite	3.32	8.54	5.04
"Olivine"	3.32	8.45	4.91
Garnets			
Almandine	4.18	8.51	4.77
Zircon	4.56	3.18	2.08
Epidotes			
Epidote	3.40	7.43	4.24
Dravite	3.05	8.24	5.08
Pyroxenes			
Diopside	3.31	7.70	4.39
Augite	3.26	7.22	4.18
	3.26	3.74	2.72
Sheet silicates			
Muscovite	2.79	6.46	3.84
	2.79	5.10	2.82
	2.79	5.78	3.33
Phlogopite	2.80	6.33	3.79
	2.80	4.56	2.19
Biotite	3.05	6.17	3.73
	3.05	4.35	2.02
Clays			
Kaolinite	1.58	1.44	0.93

Efeito da litologia

Silicatos

Mineral	Density (g/cm ³)	V _p (km/s)	V _s (km/s)
"Gulf clays" (Han) ^a	2.55	3.81	1.88
"Gulf clays" (Tosaya) ^a	2.6	3.41	1.64
Mixed clays ^a		3.40	1.60
		3.41	1.63
Montmorillonite– illite mixture ^a		3.60	1.85
Illite ^a		4.32	2.54
Framework silicates			
Perthite	2.54	5.55	3.05
Plagioclase feldspar (Albite)	2.63	6.46	3.12
"Average" feldspar	2.62	4.68	2.39
Quartz	2.65	6.05	4.09
	2.65	6.04	4.12
	2.65	6.06	4.15
	2.65	6.05	4.09
Quartz with clay (Han)	2.65	5.59	3.52

Efeito da litologia

Carbonatos

Mineral	Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Density (g/cm ³)	V _P (km/s)	V _S (km/s)
Carbonates					
Calcite	76.8	32.0	2.71	6.64	3.44
	63.7	31.7	2.70	6.26	3.42
	70.2	29.0	2.71	6.34	3.27
	74.8	30.6	2.71	6.53	3.36
	68.3	28.4	2.71	6.26	3.24
Siderite	123.7	51.0	3.96	6.96	3.59
Dolomite	94.9	45.0	2.87	7.34	3.96
	69.4	51.6	2.88	6.93	4.23
	76.4	49.7	2.87	7.05	4.16
Aragonite	44.8	38.8	2.92	5.75	3.64
Natronite	52.6	31.6	2.54	6.11	3.53

Efeito da litologia

Halóides

Mineral	Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Density (g/cm^3)	V_P (km/s)	V_S (km/s)
Fluorite	86.4	41.8	3.18	6.68	3.62
Halite	24.8	14.9	2.16	4.55	2.63
Sylvite	17.4	9.4	2.16	4.50	2.59

Efeito da litologia

Sulfatos

Mineral	Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Density (g/cm ³)	V _P (km/s)	V _S (km/s)
Sulfates					
Barite	54.5	23.8	4.51	4.37	2.30
	58.9	22.8	4.43	4.49	2.27
	53.0	22.3	4.50	4.29	2.22
Celestite	81.9	21.4	3.96	5.28	2.33
	82.5	12.9	3.95	5.02	1.81
Anhydrite	56.1	29.1	2.98	5.64	3.13
	62.1	33.6	2.96	6.01	3.37
Gypsum	42.5	15.7	2.35	5.80	
Polyhalite			2.78	5.30	

Efeito da litologia

Nativos

Por ora pouco relevante para nosso estudo.

Efeito da litologia

Sulfetos

Mineral	Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Density (g/cm ³)	V _P (km/s)	V _S (km/s)
Sulfides					
Pyrite	147.4	132.5	4.93	8.10	5.18
	138.6	109.8	4.81	7.70	4.78
Pyrrhotite	53.8	34.7	4.55	4.69	2.76
Sphalerite	75.2	32.3	4.08	5.38	2.81

Efeito da litologia

Óxidos

Mineral	Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Density (g/cm^3)	V_P (km/s)	V_S (km/s)
Oxides					
Corundum	252.9	162.1	3.99	10.84	6.37
Hematite	100.2	95.2	5.24	6.58	3.51
	154.1	77.4	5.24	7.01	3.84
Rutile	217.1	108.1	4.26	9.21	5.04
Spinel	203.1	116.1	3.63	9.93	5.65
Magnetite	161.4	91.4	5.20	7.38	4.19
	59.2	18.7	4.81	4.18	1.97

Efeito da litologia

Hidróxidos

Mineral	Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Density (g/cm ³)	V _P (km/s)	V _S (km/s)
Hydroxides					
Limonite	60.1	31.3	3.55	5.36	2.97

Efeito da litologia

MINERAL	DENSITY(g/cm3)	VP (m/s)
albita	2.59	6220.41
anidrita	2.98	6096.00
anortita	2.74	6773.33
anortoclásio	2.59	
anquerita	2.86	
antracito	1.47	2902.86
barita	4.09	
beta-cristobalita	2.15	
betumen	1.24	2540.00
biotita	2.99	6000.00
bischofita	1.54	3048.00
calcita	2.71	6220.41
calcopirita	4.07	
caolinita	2.41	
carbonoapatita	3.13	
camalita	1.57	
celestita	3.79	
clorita	2.76	
cloroapatita	3.18	7257.14
dolomita	2.85	6927.27
enxofre	2.02	2498.36
esfalerita	3.85	
flogopita		6096.00
fluorapatita	3.21	7257.14
galena	6.39	
gibbsita	2.49	
gipsita	2.35	5861.54

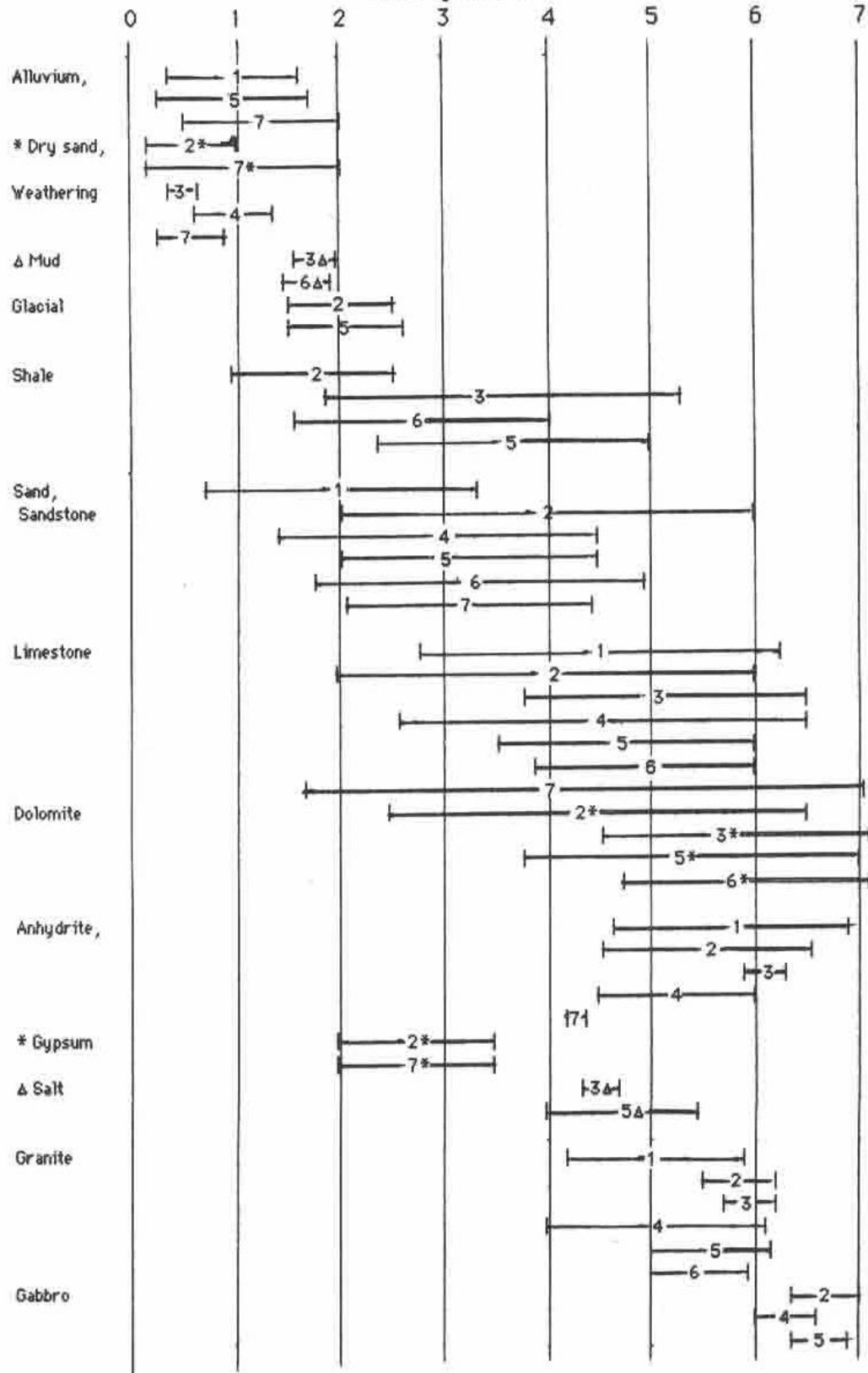
MINERAL	DENSITY(g/cm3)	VP (m/s)
glaucônita	2.54	
goethita	4.34	
granada	4.31	
halita	2.04	4549.25
hematita	5.18	7104.90
hidroxiapatita	3.17	7257.14
hornblenda	3.2	6958.90
ilita	2.52	
kainita	2.12	
limonita	3.59	5356.77
linhito	1.19	1905.00
magnetita	5.08	
marcassita	4.87	
mircoclina	2.53	
montmorilonita	2.12	
muscovita	2.82	6220.41
opala	2.13	5255.17
ortoclásio	2.52	4417.39
pirita	4.99	7775.51
pirrotita	4.53	
polihalita	2.79	
quartzo	2.64	5442.86
siderita	3.89	6485.11
silvita	1.86	
taquidrita	1.66	3313.04
turmalina	3.02	
zircão	4.5	

Efeito da litologia

Grupos de rochas

- Ígneas
- Sedimentares
- Metamórficas

Velocity (km/s)



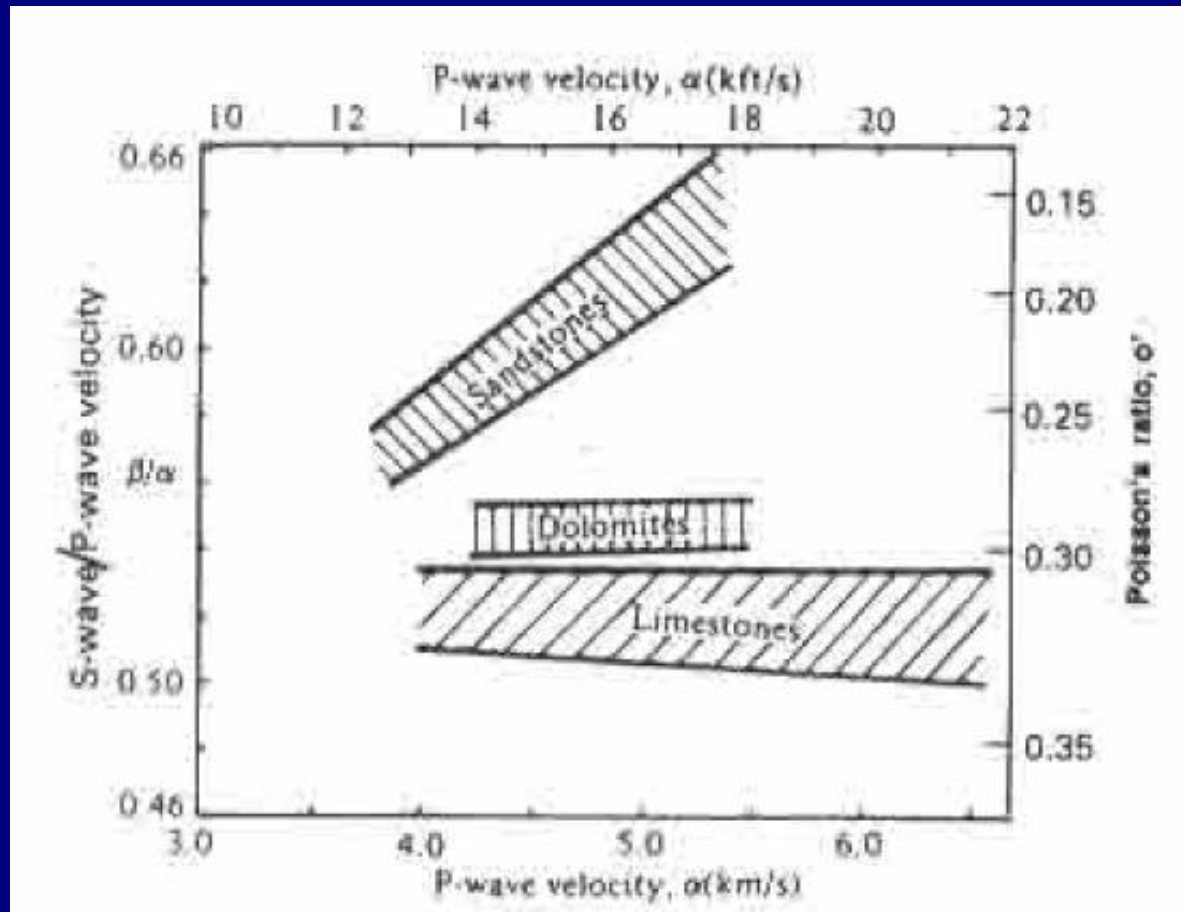
Efeito da litologia

A velocidade P somente não é um bom discriminador litológico.

A velocidade S tão pouco. Eventualmente são mais dispersos.

Efeito da litologia

Picket (1963) empregou a razão V_s/V_p como discriminador litológico.



Picket (1963)

Hamilton (1971) advoga que rochas inconsolidadas possuem $V_s/V_p < 0.5$. Nem sempre, contudo, rochas consolidadas possuem $V_s/V_p > 0.5$.

Efeito da densidade

Efeito da densidade

$$\rho = \phi \rho_f + (1 - \phi) \rho_s$$

$$a = 0,31$$

$$b = 0,25$$

$$\rho = a.v^b$$

ρ – massa específica (g/cm³)

v – velocidade (m/s)

Gardner et al. (1974)

Efeito da densidade

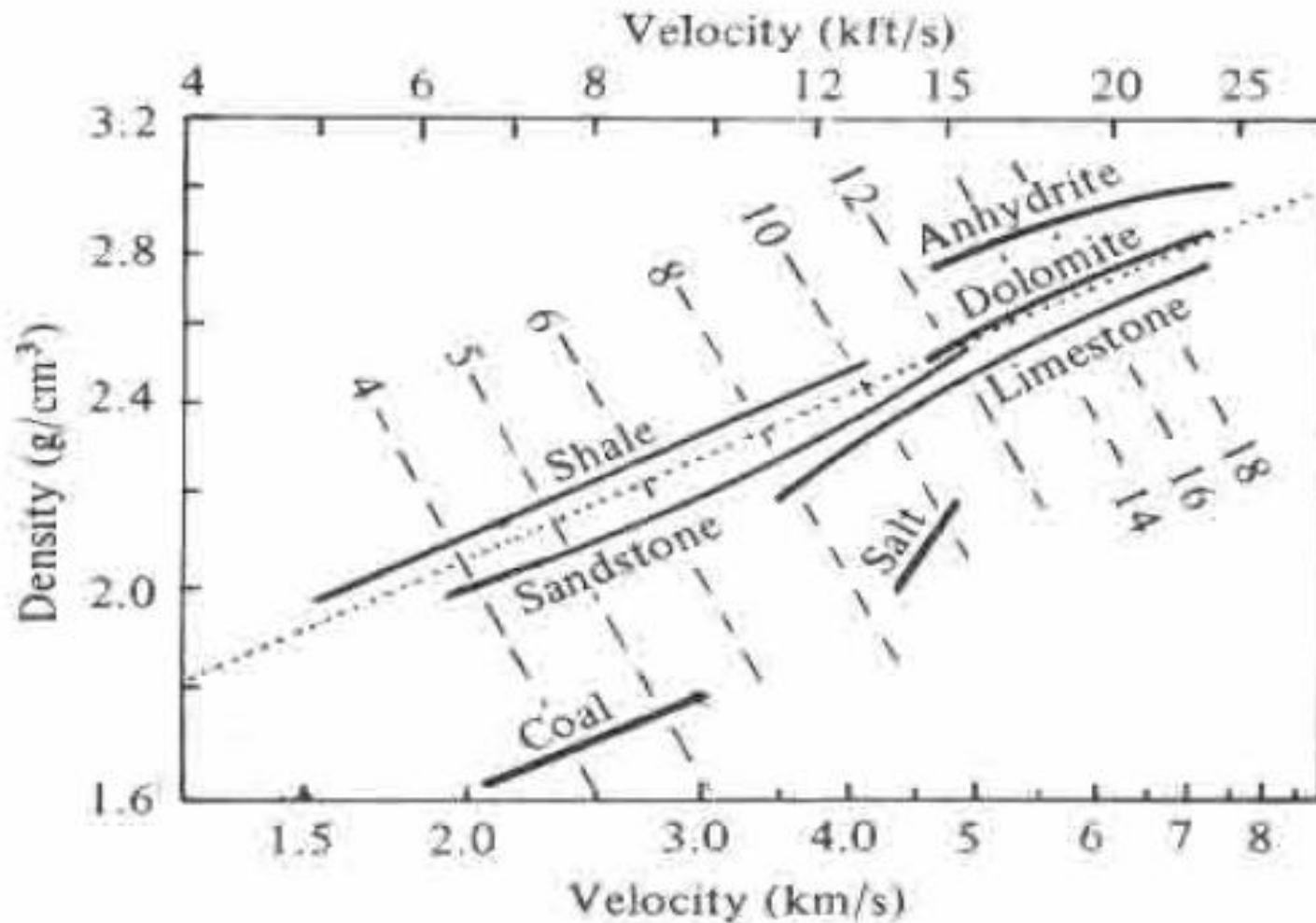


Fig. 5.15 *P*-wave velocity–density relationship for different lithologies (the scale is log–log). The dotted line shows eq. (5.15) and the dashed lines show constant acoustic impedance ($\text{kg/s. m}^2 \times 10^6$). After Gardner et al. 1974; and Meckel and Nath, 1977.)

Efeito da porosidade

Efeito da porosidade

$$\Delta t = \phi \Delta t_p + (1 - \phi) \Delta t_m$$

$$\frac{1}{V} = \phi \frac{1}{V_p} + (1 - \phi) \frac{1}{V_m}$$

Fórmulas puramente estatísticas.

Não leva em conta a estrutura ou a história geológica, conectividade entre poros ou a cimentação.

Quanto menor a porosidade, maior a velocidade

Efeito da porosidade

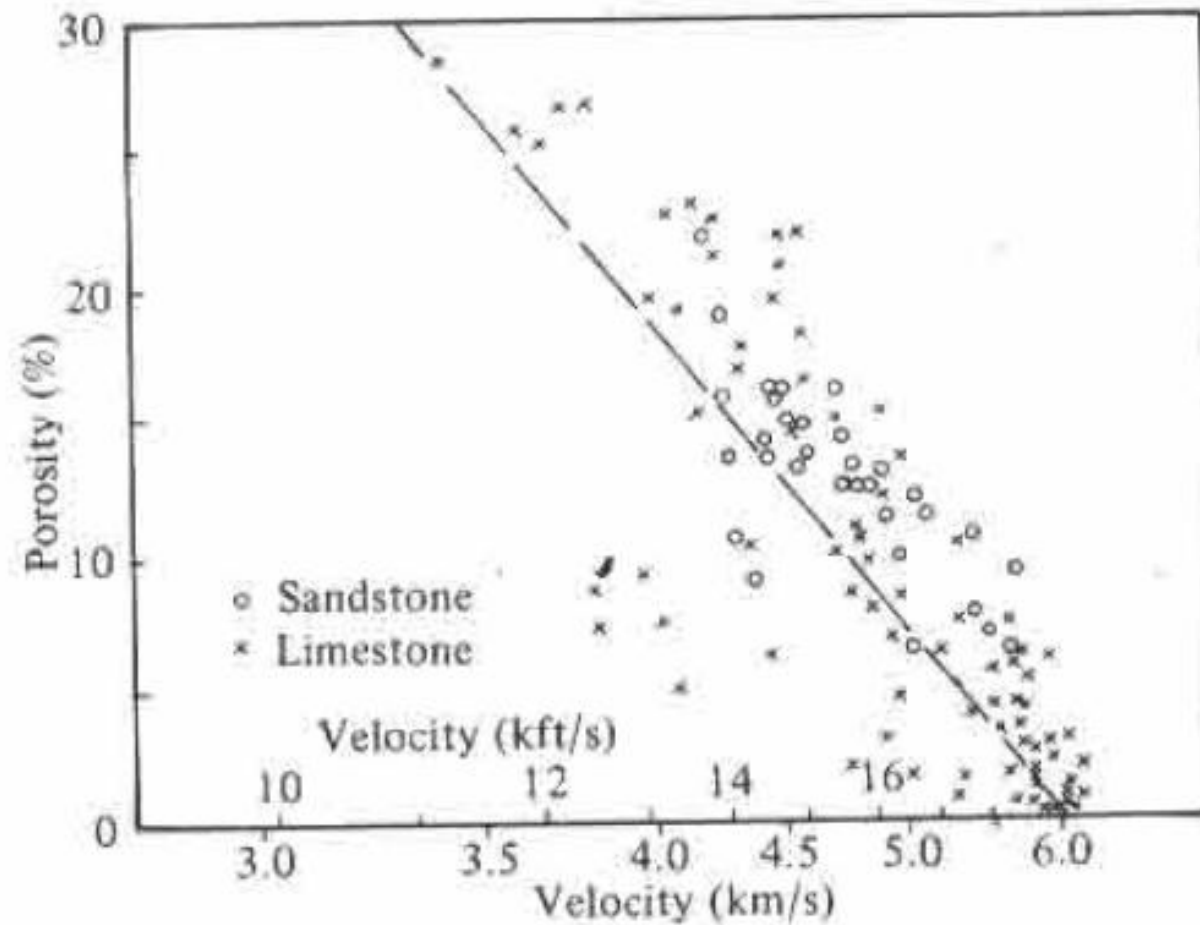


Fig. 5.16 Velocity–porosity relationship. The horizontal scale is linear in transit time ($1/V$). The dashed line is the time-average eq. (5.16b) for $V_m = 5.94$ km/s (19.5 kft/s) and $V_f = 1.62$ km/s (5.32 kft/s). (After Wyllie et al., 1958.)

Efeito do soterramento e da pressão de poro

$$P_L = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_f$$

$$v = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$P_e = P_L - P_f$$

Efeito do soterramento e pressão de poro

Efeito do soterramento e da pressão de poro

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

Poisson tende a diminuir com a profundidade

Efeito do soterramento e da pressão de poro

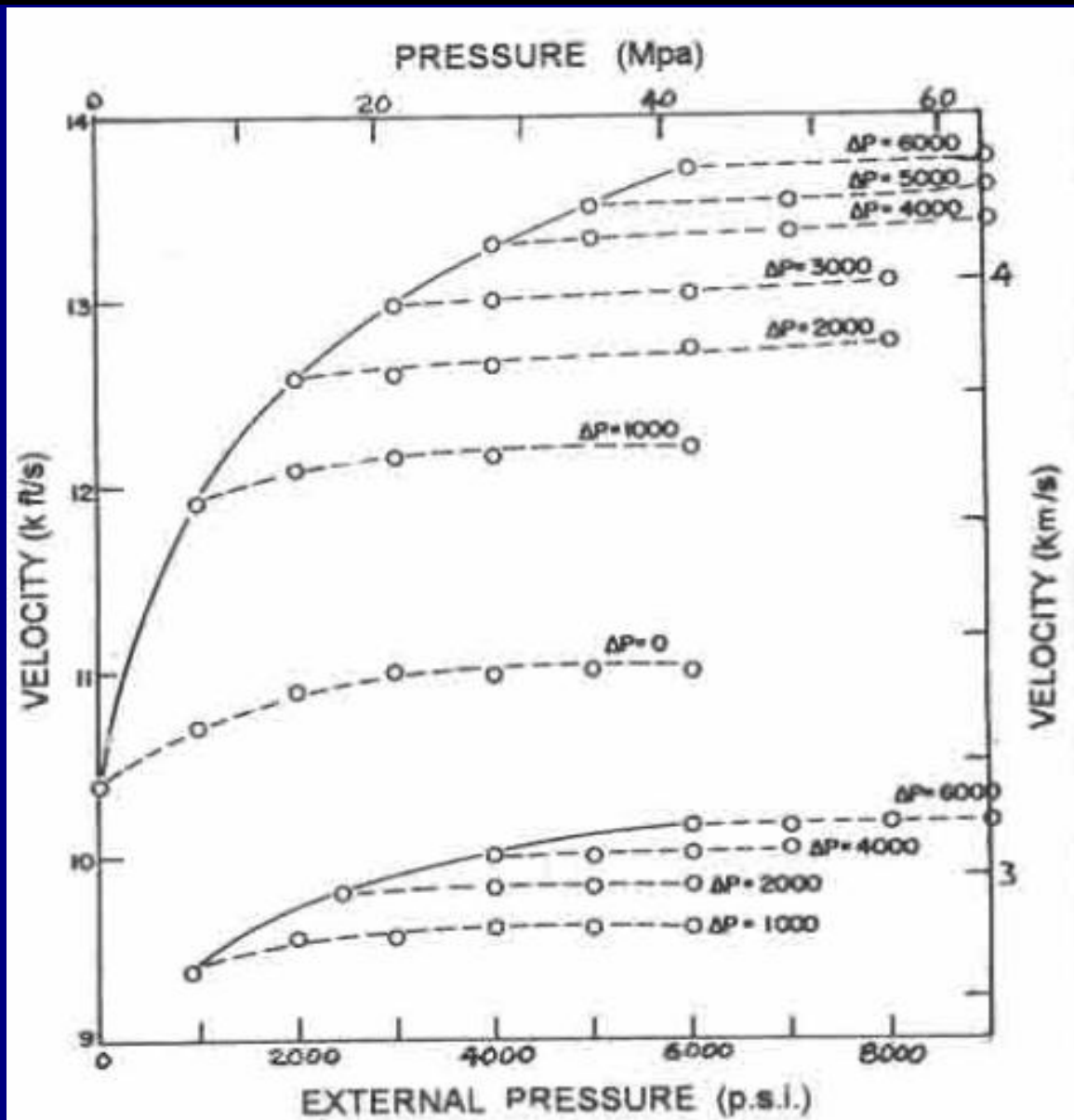


Fig. 5.18 *P*-wave velocity for two sandstone cores versus confining pressure where the differential pressure is held constant at the indicated values (in psi). (After Hicks and Berry, 1956.)

Efeito do soterramento e da pressão de poro

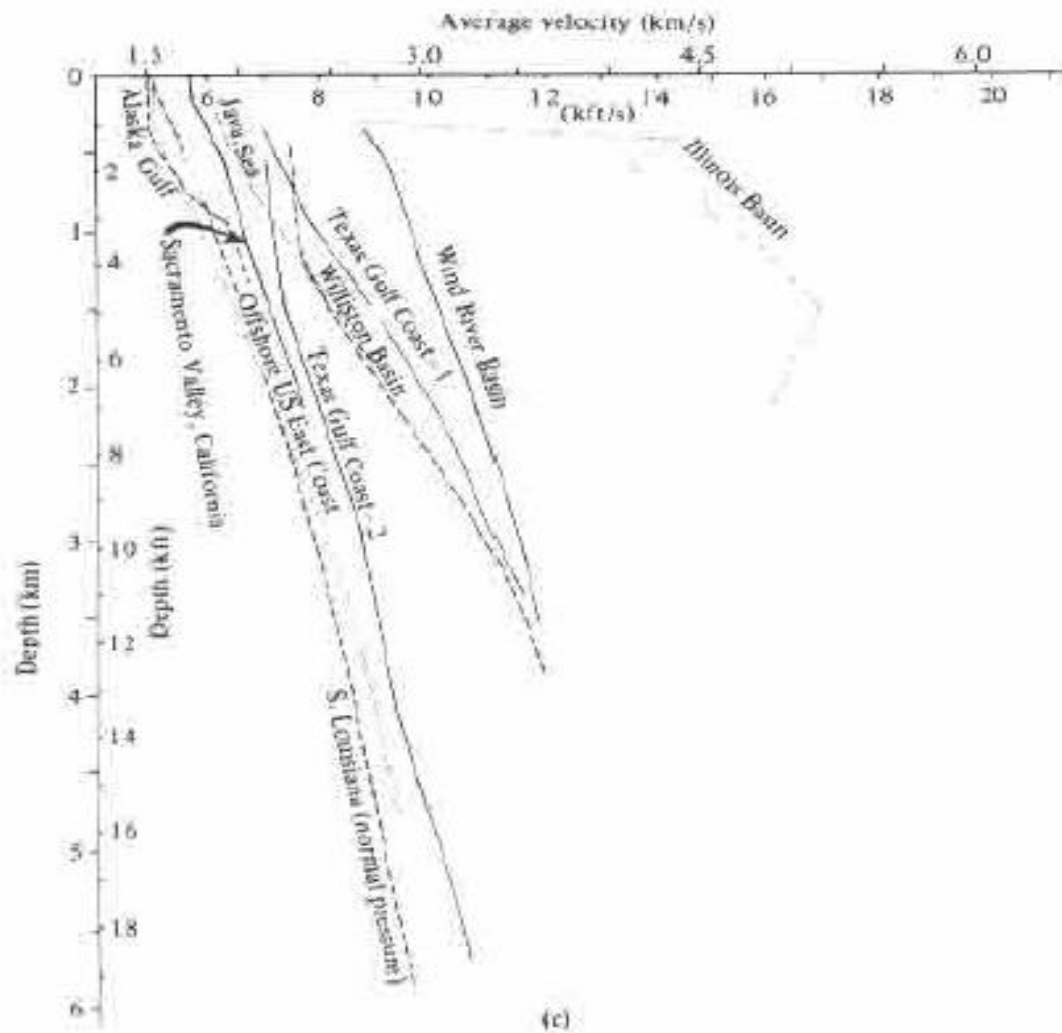
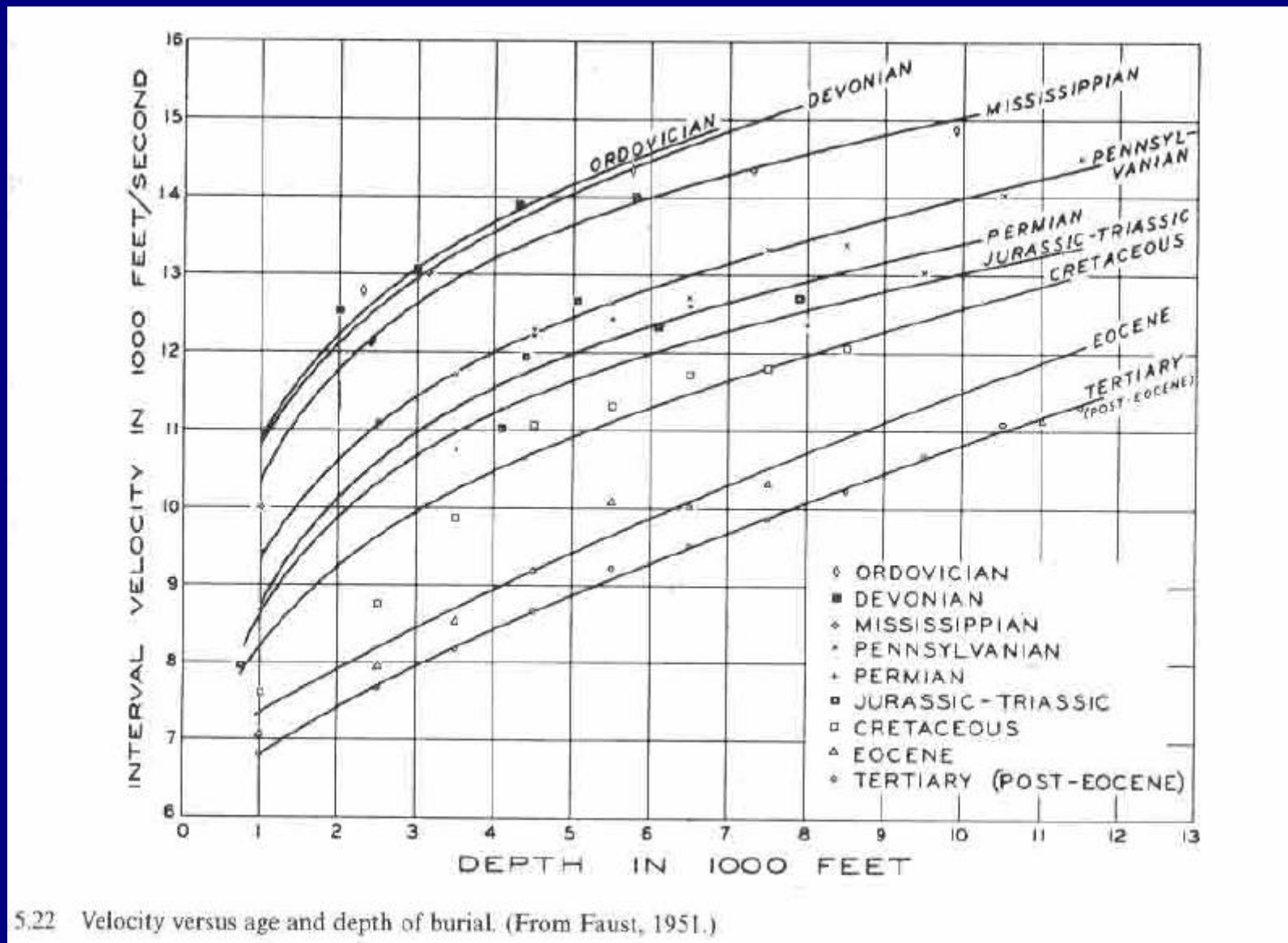


Fig. 5.19 Velocity–depth relationships for selected wells. (a) Data from Gulf of Alaska Cost-B2 well, offshore U.S. East Coast, wells in Tyler (#1) and Dewitt (#2) counties in Texas Gulf Coast, Illinois Basin, and Permian Basin. (b) Data from Sacramento Valley, Yolo Co., Calif.; Central Valley, Calif. (from Stulken, 1941); Wind River Basin, Fremont Co., Wyo.; Williston Basin, Divide Co., N.D.; and the Java Sea. (c) Average velocity to various depths for the data in parts (a) and (b).

Efeito da idade

Efeito da idade

Segundo Faust (1951), quanto maior a idade, maior a velocidade.



Efeito da idade

Hoje, somente a idade não é fator decisivo para predição da velocidade.

Efeito da frequência

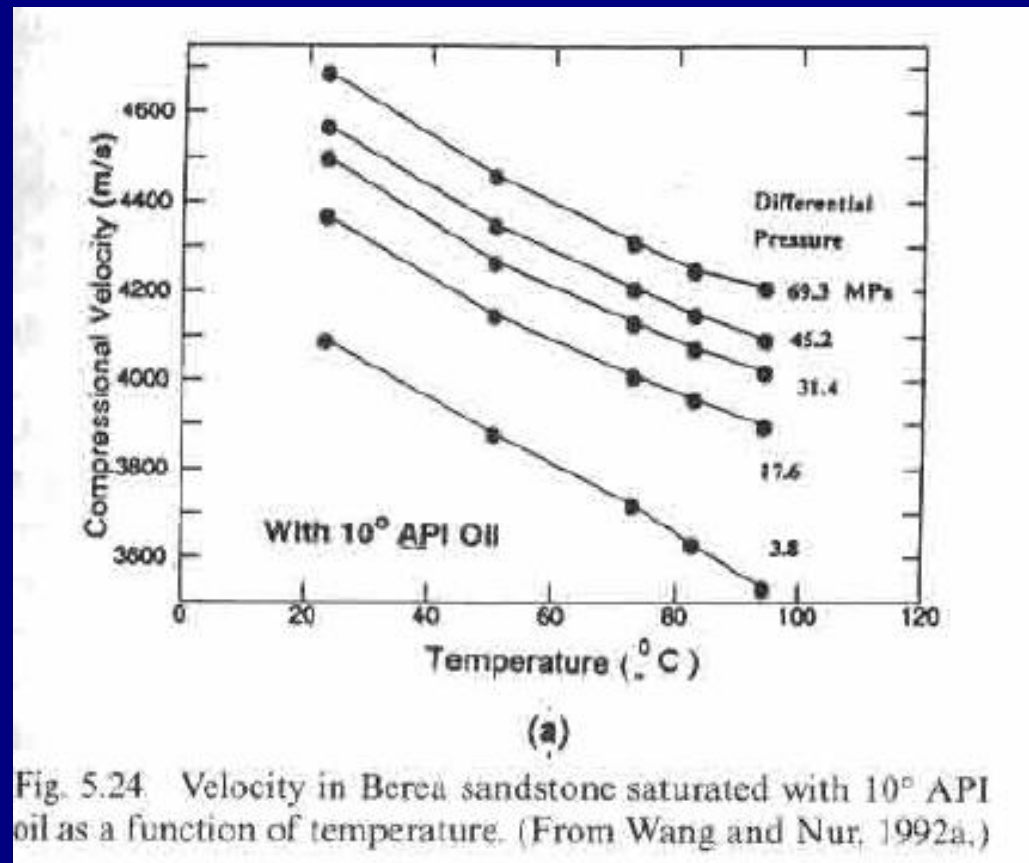
Efeito da frequência

- Dados experimentais indicam que a dispersão ($v(f)$) é pequena de Hz a KHz.
- Dispersão em rochas saturadas com fluidos é maior. Não se verificou dispersão em rochas secas até o momento.
- Murphy (1985) relata aumento de 15% de velocidade P entre 2Hz e 200 KHz.

Efeito da temperatura

Efeito da temperatura

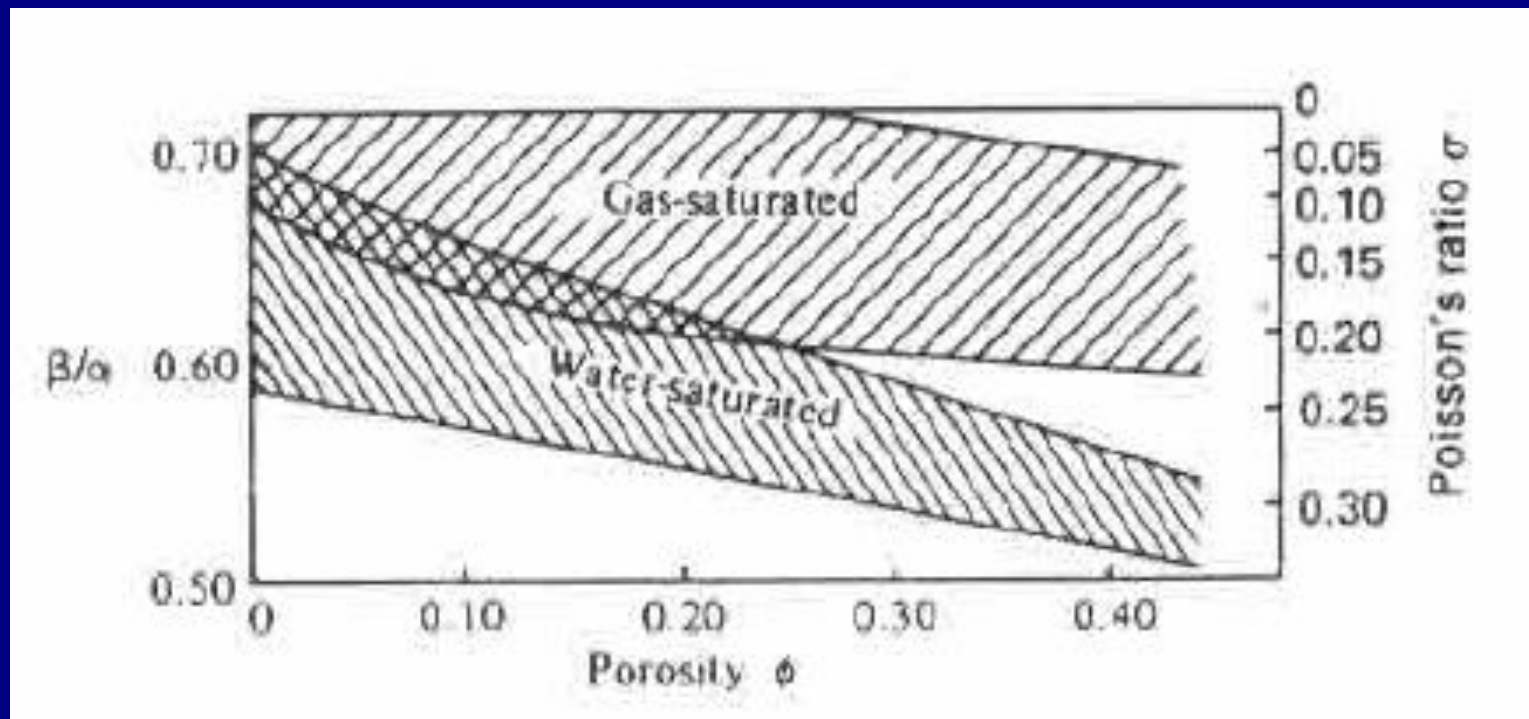
- A temperatura influencia pouco na parte sólida da rocha. Um decréscimo de 5 a 6% a cada 100° C positivo (Sheriff e Geldart (1995)).
- Os fluidos, contudo, variam muito sobretudo óleo e asfalto.



Efeito dos fluidos intersticiais

Efeito dos fluidos

- Razão V_s/V_p usada para identificação de fluidos.



Efeito dos fluidos

- CUIDADO !!!

- Uma pequena quantidade de gás pode causar uma grande redução de V_p gerando forte anomalia (Domenico, 1974).

Resumindo

ROCK PROPERTY

