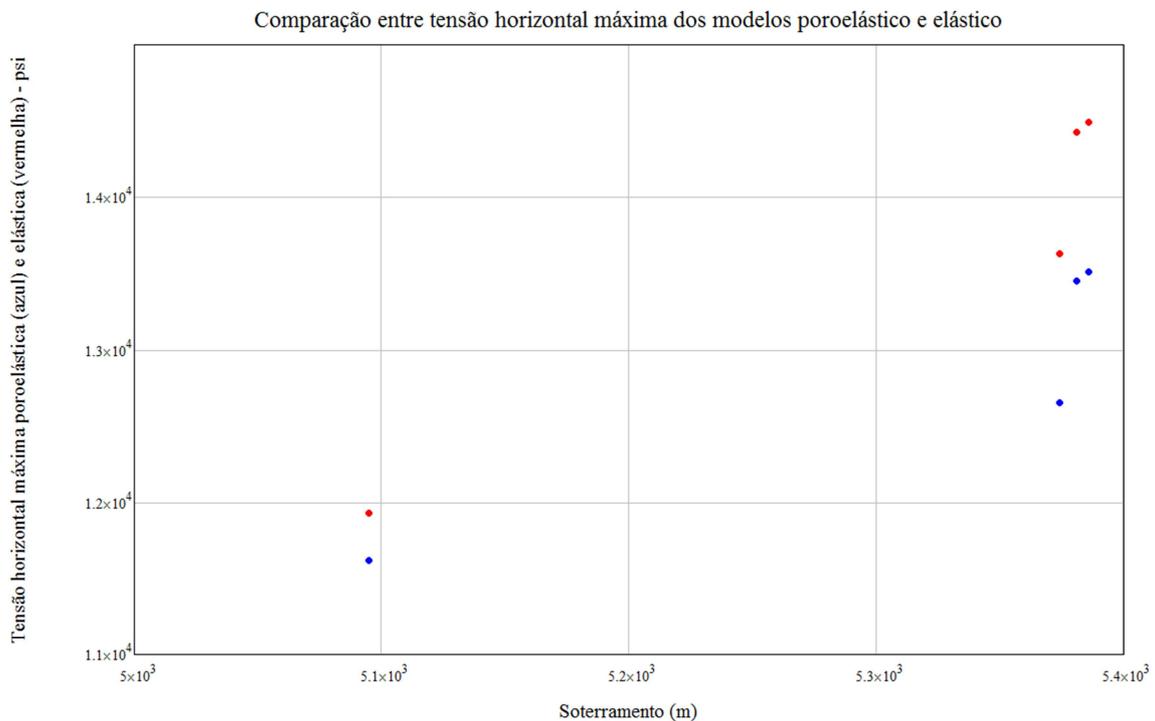


## Anexo A . Comparação entre os resultados de tensão horizontal máxima obtida para o modelo elástico e poroelástico.

Comparação dos resultados de tensão horizontal máxima ( $\sigma_H$ ) obtidas nas análises de *breakouts* considerando os modelos (elástico e poroelástico):

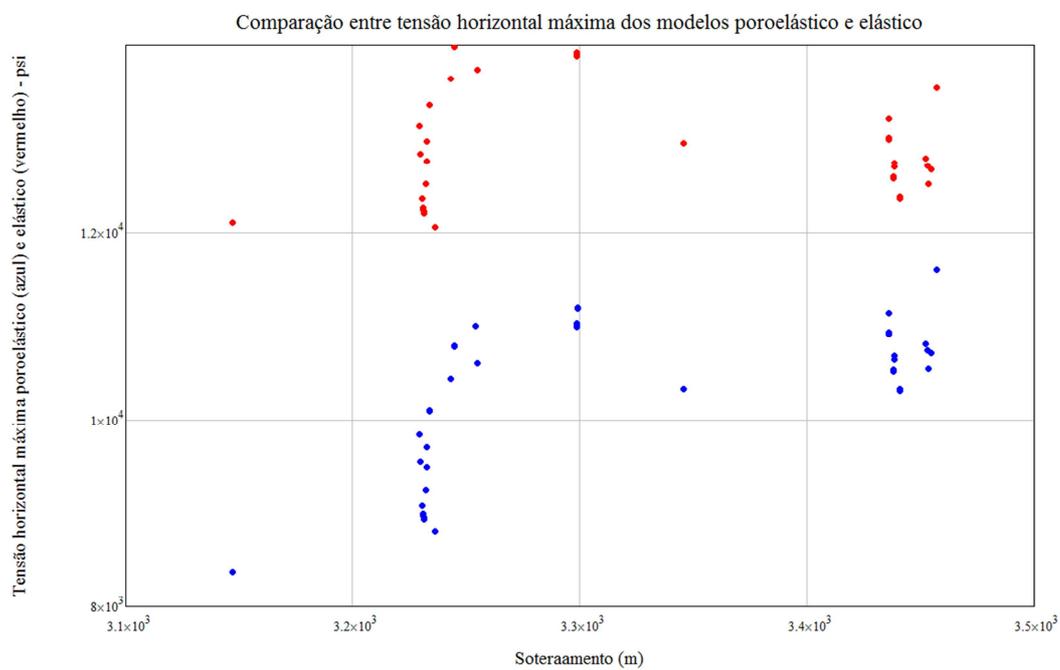
Pelas figuras (A.1) a (A.4) abaixo é possível ver que todos os valores calculados para o modelo poroelástico (azul) resultaram em valores menores de tensão horizontal maior ( $\sigma_H$ ) quando comparados com os resultados do modelo elástico (vermelho).

Poço D:



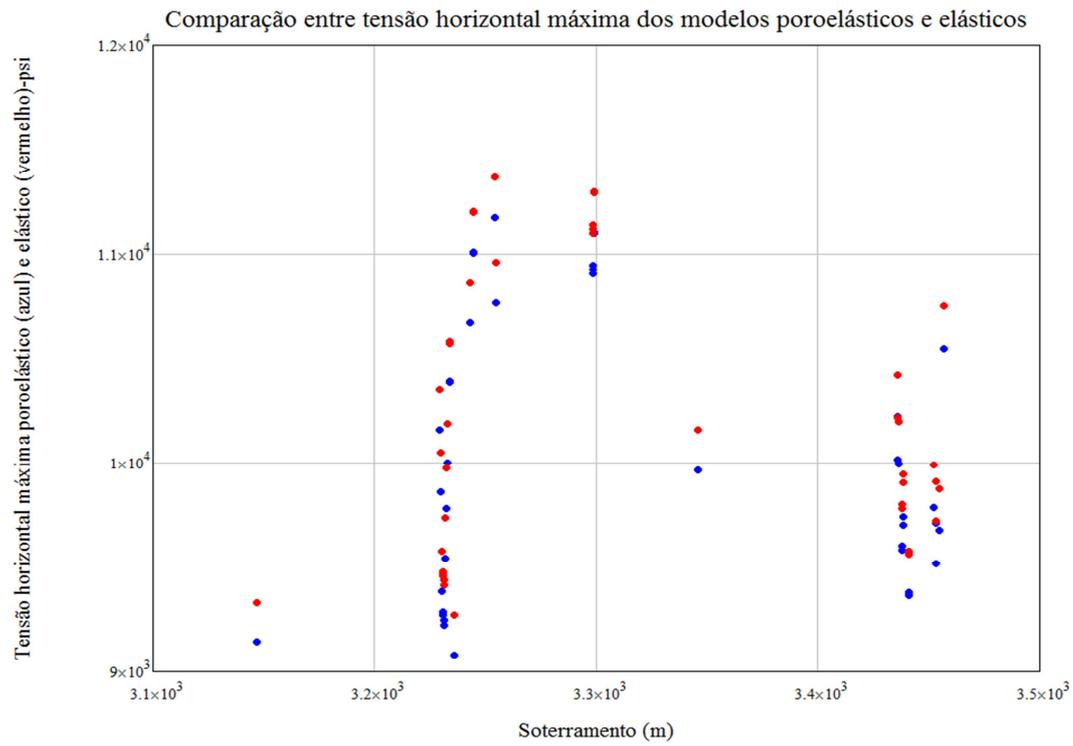
**Figura A. 1:** Comparação entre o valor calculado de tensão horizontal máxima para o modelo elástico e poroelástico do poço D

## Poço A



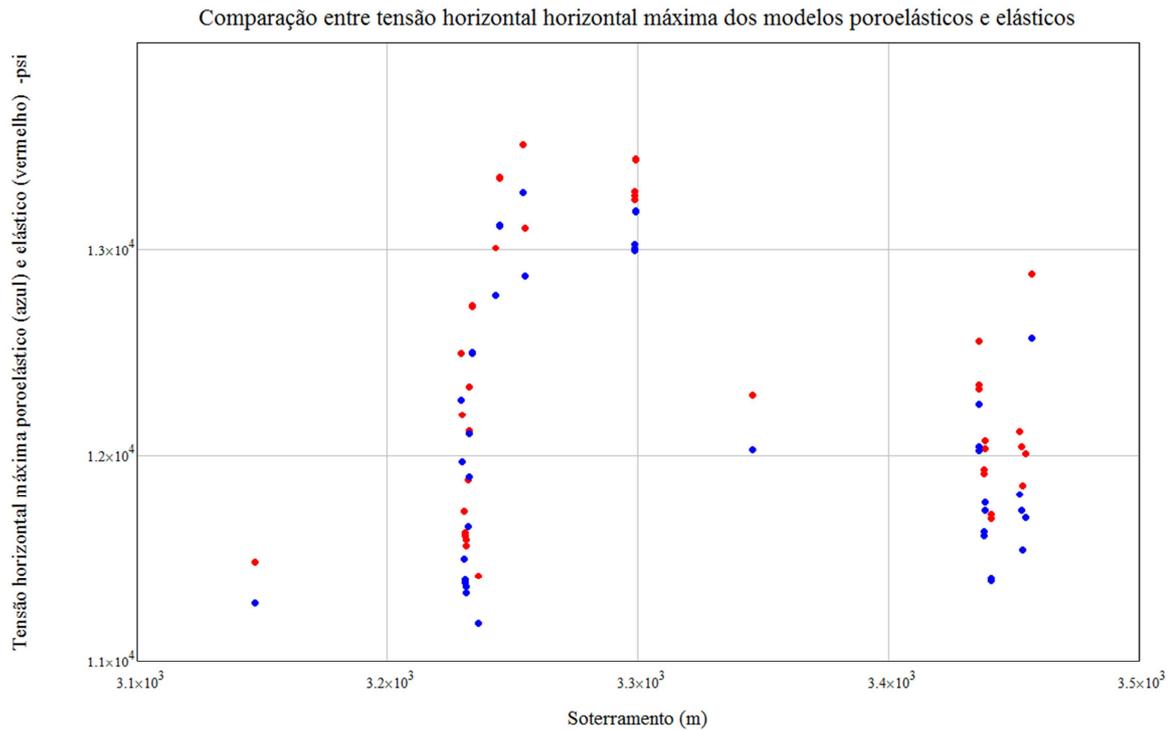
*Figura A . 2: Comparação entre o valor calculado de tensão horizontal máxima para o modelo elástico e poroelástico do poço A*

## Poço B



**Figura A . 3** Comparação entre o valor calculado de tensão horizontal máxima para o modelo elástico e poroelástico do poço *B*

Poço C



**Figura A . 4:** Comparação entre o valor calculado de tensão horizontal máxima para o modelo elástico e poroelástico do poço C

Tal resultado pode ser compreendido ao se analisar o critério de falha de por cisalhamento (Mohr-Coulomb) envolvido nos eventos de *breakout* (usados para se determinar a tensão horizontal máxima).

### **Resistência da rocha:**

A resistência da rocha é definida pela envoltória de ruptura através do uso do critério de Mohr-Coulomb:

$$\tau = C + \sigma \tan(\phi) \quad (\text{A.1})$$

Onde,

$C$  = coesão (psi);

$\Phi$  = ângulo interno de atrito (°);

$\sigma$  = tensão normal (psi);

$\tau$  = tensão cisalhante (psi);

Como as duas análises, poroelástica e elástica, são realizadas para o mesmo ponto devem obedecer ao mesmo envelope de falha definido pela equação (A.1) acima.

Tensões atuantes na parede do poço:

Admitindo-se o modelo elástico e analisando a posição ( $\theta$ ) ao redor do poço onde ocorreu o breakout tem-se o seguinte conjunto de tensões atuantes na parede do poço responsável pelo cisalhamento *breakout*;

**Tensões totais:**

$$\sigma_r = P_w \quad (A.2)$$

$$\sigma_\theta = 3\sigma_H - \sigma_h - P_w \quad (A.3)$$

**Tensões efetivas:**

$$\sigma'_r = P_w - P_p \quad (A.4)$$

$$\sigma'_{\theta} = 3\sigma_H - \sigma_h - P_w - P_p \quad (A.5)$$

para o modelo poroelástico tem-se:

**Tensões totais:**

$$\sigma_{rp} = P_w \quad (A.6)$$

$$\sigma_{\theta p} = 3\sigma_H - \sigma_h - P_w + 2\Gamma(P_w - P_p) \quad (A.7)$$

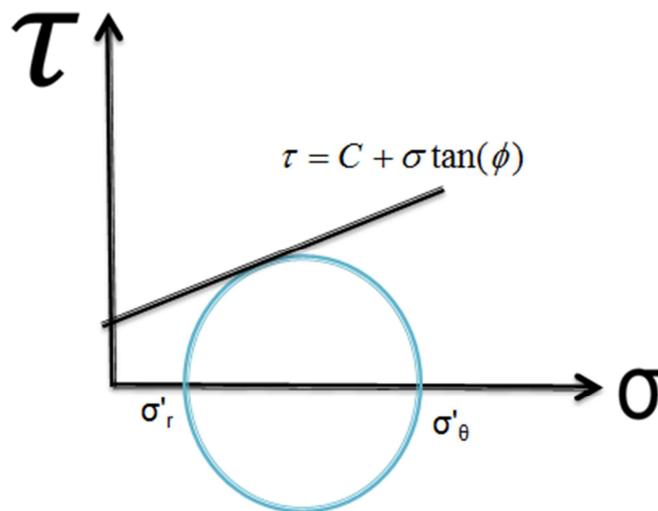
**Tensões efetivas:**

$$\sigma'_{rp} = P_w - P_w = 0 \quad (A.8)$$

$$\sigma'_{\theta p} = [3\sigma_H - \sigma_h - P_w] + 2\Gamma(P_w - P_p) \cdot P_w \quad (A.9)$$

Resistência da rocha x tensão na parede do poço:

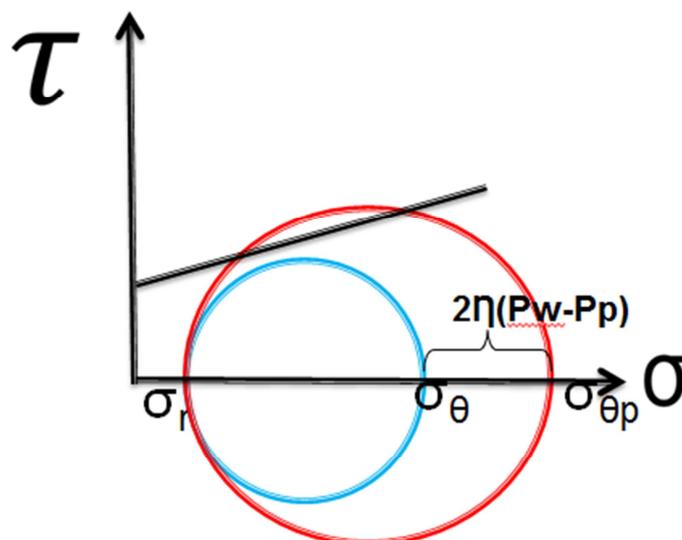
A falha da rocha irá ocorrer quando o círculo de Mohr das tensões atuantes na parede do poço atingir a envoltória de ruptura.



*Figura A . 5: Círculo de Mohr esquemático na parede do poço*

Observa-se que tanto o aumento da tensão desviadora (raio do círculo de Mohr) como o aumento da pressão de poros aproxima a solução do envelope de ruptura.

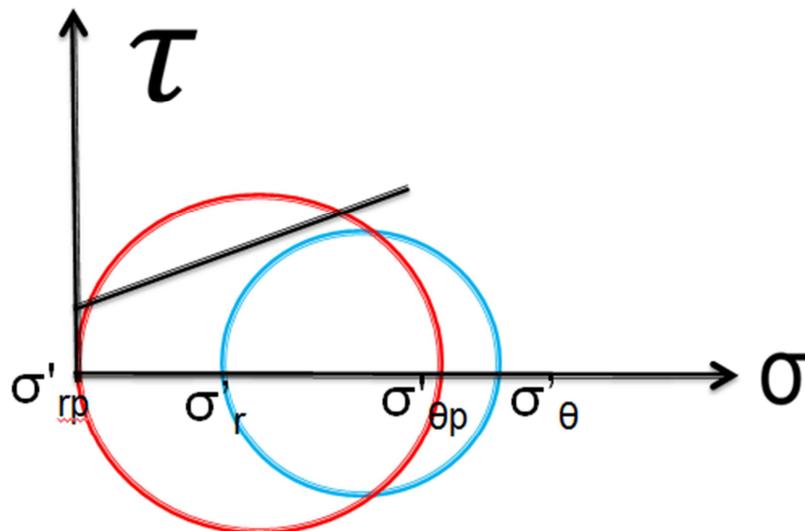
Assumindo que pressão interna no poço é maior que na formação, ou seja, perfuração *overbalance* ( $P_w > P_p$ ) tem-se que  $2\eta(P_w - P_p)$  sempre será positivo. De modo que no modelo poroelástico a tensão desviadora é acrescida de  $2\eta(P_w - P_p)$ , criando uma tensão de compressão adicional. Esse acréscimo de tensão em relação ao modelo elástico faz com que o modelo poroelástico chegue à ruptura com valores menores de tensão horizontal máxima. A figura (A.6) abaixo apresenta o efeito acima em termos de tensão total.



**Figura A . 6: Círculo de Mohr em tensões totais representando o acréscimo de tensão tangencial do modelo poroelástico de Detournay&Cheng (1988) (vermelho) em comparação com o modelo elástico (azul)**

Além da influência do acréscimo da tensão desviadora (aumento do raio do círculo de Mohr) no modelo poroelástico, descrito acima, deve-se também levar em consideração para o entendimento da diferença entre os valores de tensão horizontal máxima encontrados nos dois modelos, o fato do modelo elástico ser não penetrante e o poroelástico ser penetrante.

Como o critério de ruptura é analisado em termos de tensões efetivas, deve-se para o caso do modelo penetrante subtrair da tensão total a pressão do poço  $P_w$ , e para o modelo não penetrante a pressão de poros. Como a pressão interna do poço é maior do que a pressão de poros ( $P_w > P_p$ ) ocorre um maior deslocamento em direção ao eixo das ordenadas levando mais rapidamente a falha sem a necessidade de grandes valores de tensão horizontal máxima.



*Figura A . 7: Círculo de Mohr em tensões efetivas representando o acréscimo de tensão tangencial do modelo poroelástico de Detournay&Cheng (1988) (vermelho) em comparação com o modelo elástico (azul)*

Esse resultado mostra-se coerente reforçando a metodologia usada no cálculo da tensão horizontal máxima.

## Bibliografia

Aadnoy B.S & Reza Looyeh, 2011 **Petroleum Rock Mechanics, Drilling operations and well design**, 1nd Ed Elsevier Science

Aadnoy B.S, 1991 **Effects of Reservoir Depletion on Borehole Stability** Journal of Petroleum Science and Engineering Vol. 6

Aadnoy, B.S. and Chenevert, 1987 **Stability of highly inclined boreholes**, SPE Drilling Eng., 2(4):364.374

Aadnoy, B.S., 1988 **Modeling of Stability of Highly Inclined Boreholes in. Anisotropic Rock Formations**, SPE Drilling Engineering, September

Byerlee, J.D, 1978 **Friction of rock: Pure and Applied Geophysics**, v. 116, p. 615-626. Byerlee, J.

Cheng, A.H.D.; Abousleiman, Y.; Roegiers, December, 1993 **Review of some poroelastic effects in rock mechanics**.J.C. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts vol. 30. p. 1119-1126 issue 7

De Bree, P,Walters , 1989 J.V Micro/Minifrac **Test Procedures and Interpretation for In-situ stress determination**. Int J. Rock Mech.Sci & Geomech. Abstr Vol 26(No.6),512.521.

Detournay&Cheng (1988) E. and Cheng A. H..D.,1988 **Poroelastic response of aborehole in a non hydrostatic stress field**. Int. J. Rock Mech. Min.Sci & Geomech. Abstr. 25, 171.182 .

Fairhurst, C.,1968 **Methods of Determining In-situ Rock Stresses at Great Depth**.Nebraska, USA, TRI.68 Missouri River Division, Corps of Engineers.

Fjaer, E.; Holt, R. M.; Horsrud, P.; Raaen, A. M.; Risnes, R., 2008 Petroleum related rock mechanics, 2nd Ed , [s.l.]: Elsevier Science.

Haimson, B. C. and Fairhurst C.,1967 **Initiation and extension of hydraulic fractures in rock**, Soc. Petr. Engrg. J., 7, 310–318.

Haimson, B.C, 1988. **Status of In Situ Stress Determination Methods**; Symposium on Rock Mechanics.

Haimson, B.C.,1978 **The Hydrofracturing Stress Measurement Technique Method and Recent Field Results**. . Int. Journal of Rock Mech. and Min. Sci.,15(4). pp. 167 – 178.

Hickman,S.H and Zoback,M.D,1983 **The interpretation of Hydraulic fracturing pressure time data for in situ stress determination.Hydraulic fracturing Measurements**.Whashington,D.C, National Acedemy Press.

Hubbert, M.K., and Willis, D.G.,1957 **Mechanics of Hydraulic Fracturing** Trans. Soc. Petroleum Eng. AIME . , Vol. 210.

Jaeger, J. C., and Cook, N.G. W., 1979., **Fundamentals of Rock Mechanics**. London, Chapman and Hall., 593p

Lavrov Alexandre, P.Tempone , October 2008 **DEM Modelling of Mudlosses into Single Fractures and Fracture Networks**, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) Goa, India

Montemagno, C.; Pyrakolte, L.,1999 **Fracture network versus single fractures: Measurement of fracture geometry with X-ray tomography** Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, vol. 24, issue 7, pp. 575-579,

Owen, L.B., Toronto, T.W. e Peterson, R.E., 1988 **Reliability of Anelastic Strain Recovery Estimates for Stress Orientation in The Travis Peak Formation**, Harrison Couty, Texas. . In 63th Annual Tech. Conf. and Exhibition, Houston

Perkins, T.K., and Gonzalez, J.A., February 1985 **The Effect of Thermoelastic Stresses on Injection Well Fracturing**," SPE Journal,pp. 78.88.

Pyrak.Nolte, L.J., Cook, N.G.W., and D.D. Nolte, 1988, **Geophysical Research Letters**, Vol. 15, no. 11, p1247.1250.

Sadd, H. Martim, 2004 **Elasticity Second editoin: Theory, Applications, and Numerics**

Warpinski, N.R. e Teufel, L.W.. 1984 **Determination of In-situ Stress from Anelastic Strain Recovery Measurement**, . In: US Rock Mechm. Symp. on Rock Mechanics, 25., pp. 176 . 185.

Zoback, M. D. and Healy, J. H., 1984. “**Friction, faulting, and “in situ” stresses.**” *Annales Geophys- icae*, 2, 689–698.

Zoback, M.D , Apr 2010 **Reservoir Geomechanics**, Cambridge University Press, 464 pages

Zoback, M.D AND Pollard ,D.D, 1978 **Hydraulic fracture propagation and the interpretation of pressure-time records for in-situ determination**. 19th U.S Symposium on Rock Mechanics, Mac Kay School of mines, Univ. of Nevada, Reno, Nevada.

Zoback, M.D and Townend, J. 2001 “ **Implications of hydrostatic pore pressure and high crustal strength for the deformation of intraplate lithosphere**” *Tectonophysics*, 336, 19.30