

5 Exemplos de Aplicação

São apresentados a seguir alguns exemplos que ilustram a aplicação da metodologia e das implementações apresentadas nos capítulos anteriores. Um estudo de reativação de falha com base em dados de um campo real comprova o potencial da metodologia apresentada para futuras análises.

5.1. Modelo com falha Inclínada a 80° em relação a horizontal

Rutqvist et al. (2007) apresenta um estudo de um modelo que contém a zona de falha com inclinação de $\theta = 80^\circ$ com a horizontal, que consiste em um reservatório e rochas adjacentes, como ilustrado na Figura 5.1.

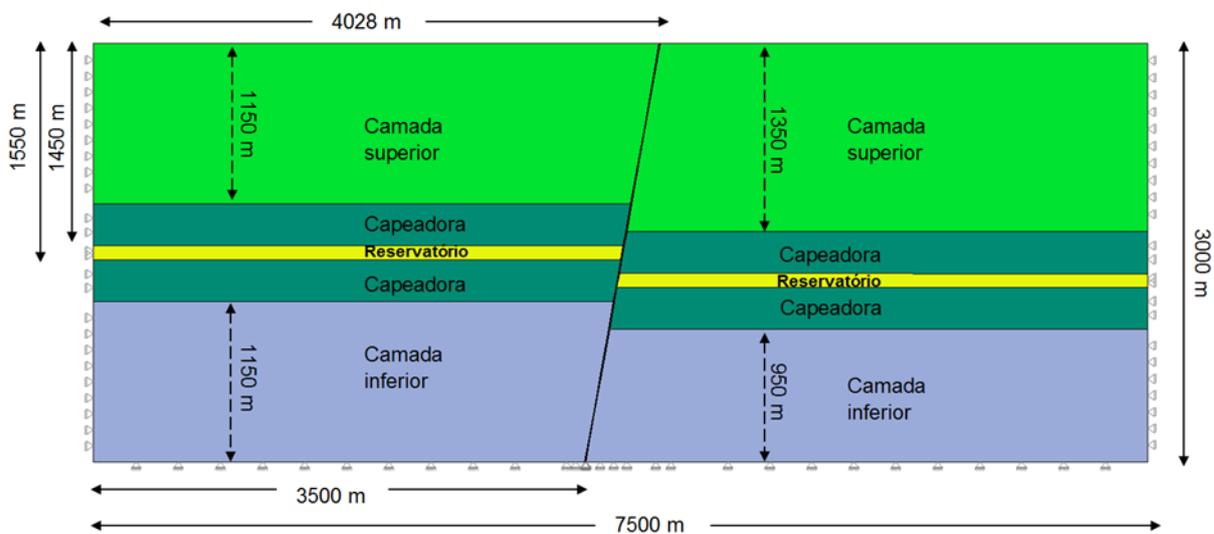


Figura 5.1 – Vista do modelo com falha Inclínada a 80° com a horizontal
(modificado de Rutqvist et al, 2007)

Neste trabalho o modelo foi idealizado considerando a falha geológica como uma zona de falha e também como um plano de falha com espessura de 10m. No modelo com plano de falha são utilizados elementos de interface de 6 nós. Neste caso, os trechos de falha fora do reservatório são considerados inicialmente selantes. As sobrepressões são transmitidas aos elementos da falha fora do reservatório à medida que esses são reativados. No Quadro 5.1 resumem-se as propriedades da rocha utilizadas em que E é o módulo de

elasticidade, ν é o coeficiente de Poisson e k é a permeabilidade. Rutqvist et al (2007) considera as falhas sem coesão, espessura $t = 10$ m e ângulo de atrito interno $\phi = 25^\circ$. No entanto, Abaqus não permite coesão nula para os elementos sólidos, logo, este trabalho adotou uma coesão $c = 0.25$ MPa para os modelos de plano de falha e zona de falha.

Quadro 5.1 – Propriedades da rocha e falha.

Camada	E (Gpa)	ν	Permeabilidade, k (m ²)
Camada superior	5	0.25	1.00E-15
Capeadora	5	0.25	1.00E-17
Reservatório	5	0.25	1.00E-13
Camada inferior	5	0.25	1.00E-17

No modelo idealizado como zona de falha são utilizados elementos sólidos como um contínuo equivalente. Neste caso a zona de falha é considerada selante fora do reservatório, ou seja, não se considera a transmissão de poropressões por reativação da falha. A coesão equivalente, c_e e o ângulo de atrito equivalente ϕ_e da zona de falha são calculadas a partir das equações apresentadas por Zhu et al. (2004), como segue:

$$\phi_e = \sin^{-1} \frac{\sin \phi}{\sin(2\theta - \phi)} \quad (5.1)$$

$$c_e = c \frac{\cos \phi}{\sin(2\theta - \phi) \cos \phi_e} \quad (5.2)$$

O estado inicial de tensões efetivas vertical σ_v e horizontal σ_h no reservatório a uma profundidade $H = 1500$ m é de -18.2 MPa e -8.24 Mpa, respectivamente. Portanto, deve-se aplicar em todas as camadas um gradiente de tensão $\lambda = \sigma_v / H = 12.13$ kPa/m com um coeficiente de empuxo $K_0 = \sigma_h / \sigma_v = 0.453$. A Figura 5.2 apresenta o modelo de elementos finitos com a área amplificada do reservatório. A camada de cor amarela representa o reservatório e a faixa vermelha representa a zona de falha. A Figura 5.3 apresenta o estado de tensões verticais (σ_v) do modelo.

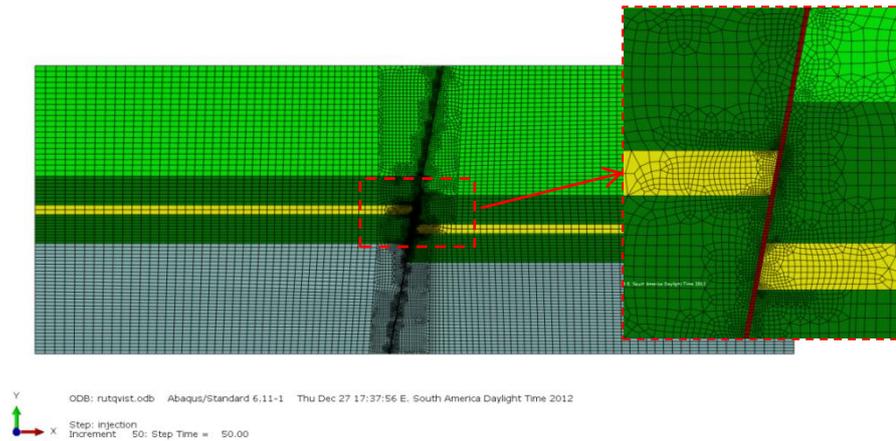


Figura 5.2 – Modelo de elementos finitos, com 45771 e 15130 nós e 15130 elementos

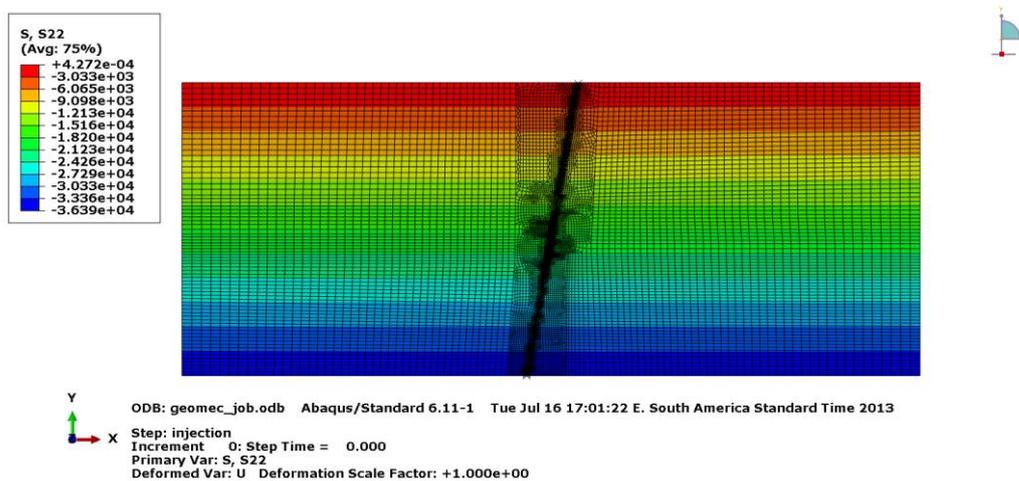


Figura 5.3 – Estado inicial de tensões verticais σ_v (kPa)

5.1.1. Modelo com zona de falha (contínuo equivalente)

A plastificação da zona de falha é governada pelo critério de Mohr-Coulomb. A análise da zona de falha é feita para um incremento de poropressão $\Delta p = 10000$ kPa, sendo este o incremento limite de injeção obtido por Rutqvist et al. (2007). As tensões normais e cisalhantes no plano de falha são calculadas da projeção das tensões σ_x , σ_y , σ_{xy} . As figuras a seguir ilustram as tensões normais e a razão $R = \tau_s/\tau_{slip}$ ao longo da zona de falha adjacente ao reservatório para os incrementos de poropressão $\Delta p = 5000$ kPa.

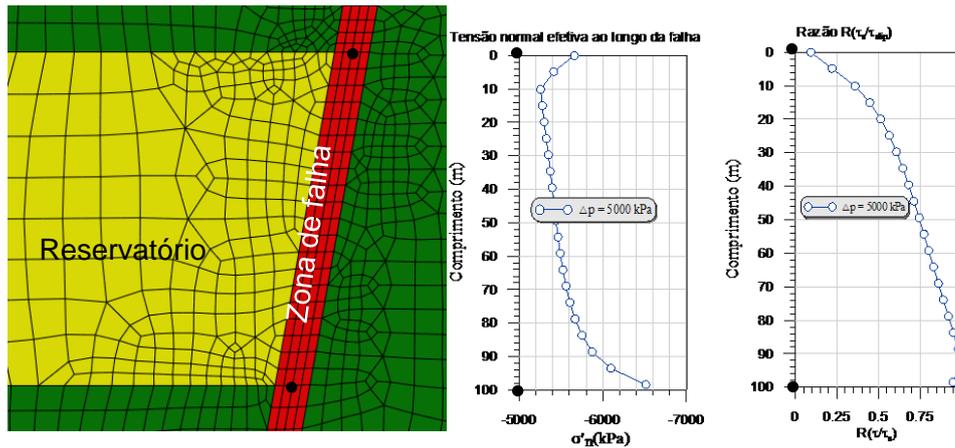


Figura 5.4 – Tensões normais e razão $R = \tau_s/\tau_{slip}$ ao longo da zona de falha no incremento de poropressão $\Delta p = 5000$ kPa

Os resultados na Figura 5.4 mostram que para o incremento de poropressão $\Delta p = 5000$ kPa a reativação da falha inicia desde a parte inferior do reservatório. Durante a análise não se apresentaram valores nulos das tensões normais efetivas. A seguir se apresenta a evolução da plastificação da zona de falha para os incrementos de poropressão de $\Delta p = 4400$ kPa e $\Delta p = 10000$ kPa

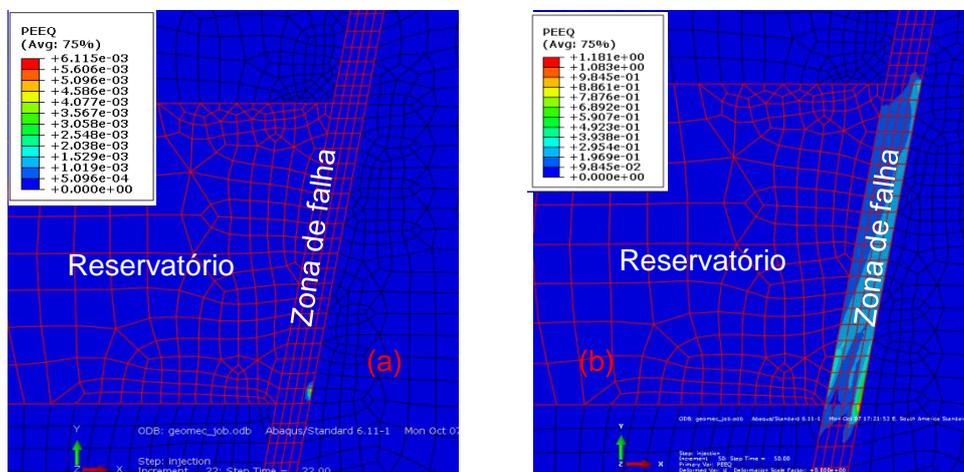


Figura 5.5 – Plastificação ao longo da zona de falha nos incrementos de poropressão: (a) $\Delta p = 4400$ kPa, (b) $\Delta p = 10000$ kPa

Observa-se na Figura 5.5 que no incremento de poropressão $\Delta p = 4400$ kPa a plastificação da zona de falha inicia desde a base do reservatório e se propaga até o topo do reservatório para o incremento $\Delta p = 10000$ kPa. Como não foi considerada a transmissão de poropressões por reativação de falha, não é possível estabelecer a pressão a que leva à propagação da plastificação até o topo da capeadora.

5.1.2. Modelo com plano de falha (elementos de interface)

O histórico de poropressões foi aplicado também ao modelo com plano de falha em uma análise incremental. Para as pressões compilaram-se os resultados da razão R entre a tensão equivalente, τ_s , e a tensão cisalhante crítica, τ_{slip} , com o propósito de determinar os valores dos incrementos de poropressão que induzem a reativação da falha.

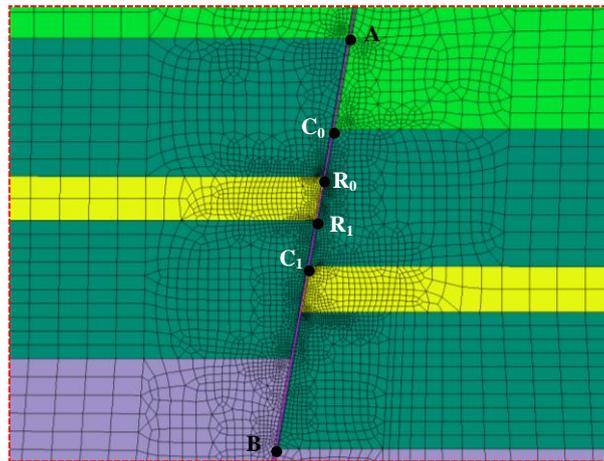


Figura 5.6 – Razão $R = \tau_s / \tau_{slip}$ ao longo da falha para o incremento de poropressão $\Delta p = 3400$ kPa

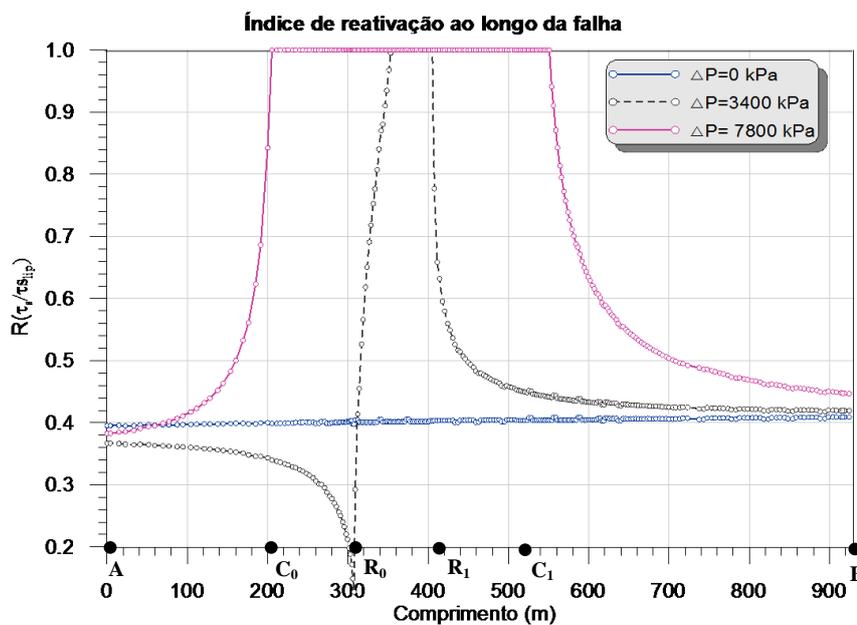


Figura 5.7 – Índice de reativação $R = \tau_s / \tau_{slip}$ ao longo do trecho de falha A-B para $\Delta p = 0, 3400$ kPa e 7800 kPa

Como pode ser observado através da análise da Figura 5.7 a falha inicia a reativação desde a parte inferior do reservatório para um incremento de poropressão $\Delta p = 3400$ kPa, sendo este comportamento semelhante ao modelo de zona de falha e do trabalho Rutqvist et al. (2007). Para o incremento de poropressão $\Delta p = 7800$ kPa a reativação da falha se apresenta até o ponto C_0 da rocha capeadora superior. No incremento posterior, $\Delta p = 8000$ kPa, foram registrados valores $R=1$ ao longo da falha adjacente à camada superior. Neste contexto, os limites seguros de pressões de injeção por reativação são $\Delta p = 3400$ kPa e 7800 kPa. O Quadro 5.2 apresenta os resultados comparativos entre as duas formulações: modelo com zona de falha (contínuo equivalente) e os obtidos com o modelo com plano de falha representado por elementos de interface.

Quadro 5.2 – Resultados comparativos de pressão de reativação na falha

	Δp (kPa)	
	Plastificação	$R = \tau_s/\tau_{slip} = 1$
Zona de Falha (Abaqus)	4400	5000
Zona de Falha (Rutqvist et al., 2007)	4000	
Plano de Falha		3400

Observa-se no Quadro 5.2 que os resultados de reativação usando elementos de interface resultaram mais críticas em comparação com os obtidos pela representação do meio contínuo equivalente

Com o propósito de verificar se há abertura na falha compilaram-se as tensões normais efetivas da falha ao longo do reservatório para os incrementos de poropressão $\Delta p = 0$ kPa, 3400 kPa e 5200 kPa.

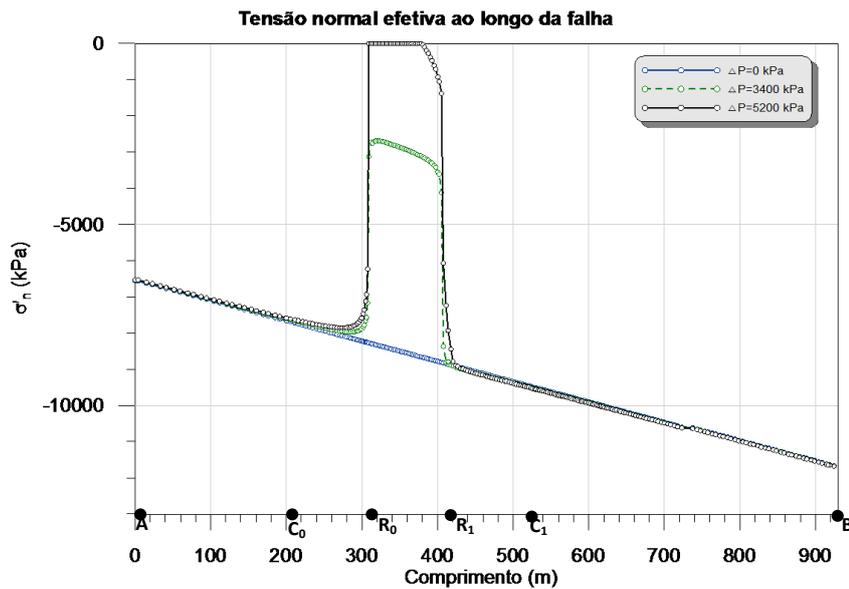


Figura 5.8 – Tensão normal efetiva ao longo da falha para os incrementos de poropressão $\Delta p = 0$ kPa, 3400 kPa e 5200 kPa

Dos resultados da análise incremental constatou-se que a falha inicia o processo de abertura na parte superior do reservatório para o incremento de poropressão $\Delta p = 5200$ kPa (Figura 5.8). Portanto, os limites seguros de pressões por reativação e abertura de falha são 3400 kPa e 5200 kPa. Este intervalo é menor que o calculado por Rutqvist et al (2007) devido à consideração do critério de abertura de falha e a diferença na metodologia utilizada.

5.2. Análise de reativação e abertura de falha no campo Miranga (Brasil)

O campo Miranga está localizado no nordeste do Brasil e é composto por uma rede de falhas axiais compartimentando o campo em vários blocos estruturais, como ilustrado na Figura 5.9.

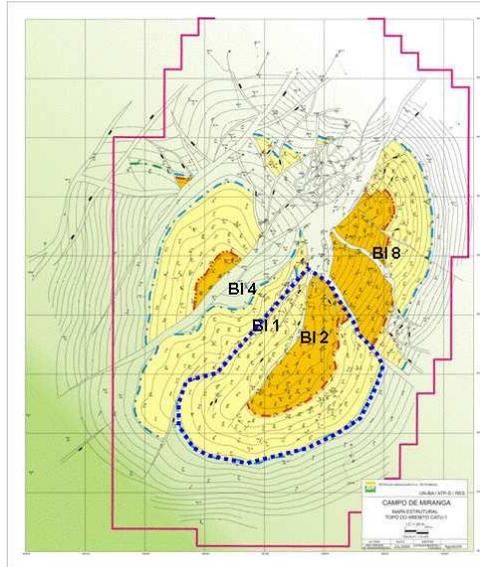


Figura 5.9 – Mapa estrutural do campo do Miranga (Fonte: Mendes et al., 2010)

Com o propósito de determinar a evolução do histórico das tensões durante a depleção e determinar a máxima pressão de injeção, realizou-se a análise geomecânica de uma seção geológica, traçada convenientemente de modo a conter as tensões horizontais mínimas na falha, seção 3 observada na Figura 5.10.

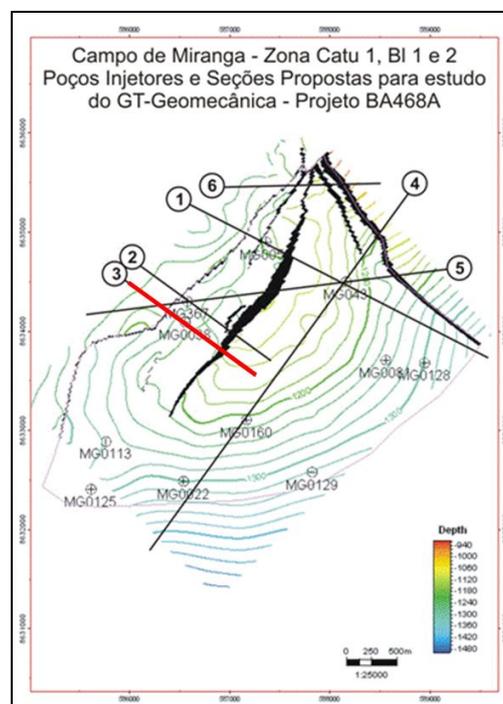


Figura 5.10 – Mapa com as principais falhas e poços injetores no bloco 1 e 2 do campo do Miranga. A seção 3 selecionada está mostrada em vermelho (Modificada de Mendes et al., 2010)

5.3. Propriedades mecânicas

As propriedades das rochas da formação de Miranga são apresentadas no Quadro 5.3, onde E_{din} é o módulo de elasticidade dinâmico, E_{est} é o módulo de elasticidade estático, ν é o coeficiente de Poisson, c é a coesão do material e ϕ é o ângulo de atrito interno.

Quadro 5.3 – Propriedades das rochas

Camada	E_{din} (GPa)	E_{est} (GPa)	ν	c (MPa)	ϕ (°)
Topo	15.60	5.20	0.34	7.81	31.00
Marco B	15.60	5.20	0.34	7.81	31.00
Santiago	15.60	5.20	0.34	7.81	31.00
Capeadora	17.15	5.72	0.35	7.46	33.00
Catu 1	15.60	5.20	0.31	15.50	38.70
Folhelho1	17.15	5.72	0.35	7.46	33.00
Catu 2	15.60	5.20	0.31	15.50	38.70
Folhelho2	17.15	5.72	0.35	7.46	33.00
Catu 3	15.60	5.20	0.31	15.50	38.70
Folhelho3	17.15	5.72	0.35	7.46	33.0
Catu 4	15.60	5.20	0.31	15.50	38.70
Folhelho4	17.15	5.72	0.35	7.46	33.00
Catu 5	15.60	5.20	0.31	15.50	38.70
Folhelho5	17.15	5.72	0.35	7.46	33.00
Catu 6	15.60	5.20	0.31	15.50	38.70
Base	15.60	5.20	0.34	15.50	38.70

As propriedades de deformação das falhas foram avaliadas com respeito às propriedades de deformação das rochas adjacentes e da espessura do núcleo da falha estimado entre 0.5 e 2.0 m. O coeficiente de Poisson e a rigidez tangencial e cisalhante K_n e K_t adotados para as falhas geológicas na seção 3 são apresentadas no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Propriedades das falhas

Camada	ν	$K_{n \text{ din}}$ (GPa/m)	$K_{t \text{ din}}$ (GPa/m)	$K_{n \text{ est}}$ (GPa/m)	$K_{t \text{ est}}$ (GPa/m)
Topo	0.34	31.20	11.64	10.40	3.88
Marco B	0.34	31.20	11.64	10.40	3.88
Santiago	0.34	31.20	11.64	10.40	3.88
Capeadora	0.35	34.30	12.70	11.43	4.23
Catu 1	0.31	31.20	11.91	10.40	3.97
Folhelho1	0.35	34.30	12.70	11.43	4.23
Catu 2	0.31	31.20	11.91	10.40	3.97
Folhelho2	0.35	34.30	12.70	11.43	4.23
Catu 3	0.31	31.20	11.91	10.40	3.97
Folhelho3	0.35	34.30	12.70	11.43	4.23
Catu 4	0.31	31.20	11.91	10.40	3.97
Folhelho4	0.35	34.30	12.70	11.43	4.23
Catu 5	0.31	31.20	11.91	10.40	3.97
Folhelho5	0.35	34.30	12.70	11.43	4.23
Catu 6	0.31	31.20	11.91	10.40	3.97
Base	0.34	31.20	11.64	10.40	3.88
SantiagoTF1_BF1	0.34	32.23	12.00	10.74	4.00
REJEITOS	0.33	33.27	12.44	11.09	4.15

A coesão e ângulo de atrito são adotados como constantes ao longo da falha, sendo $c = 750 \text{ kPa}$ e $\phi = 18.3^\circ$, respectivamente. O gradiente de tensão, λ , é de 12.06 kPa/m é adotado com o coeficiente de empuxo $K_0 = 0.58$. A litologia e a identificação das falhas podem ser observadas na Figura 5.11.

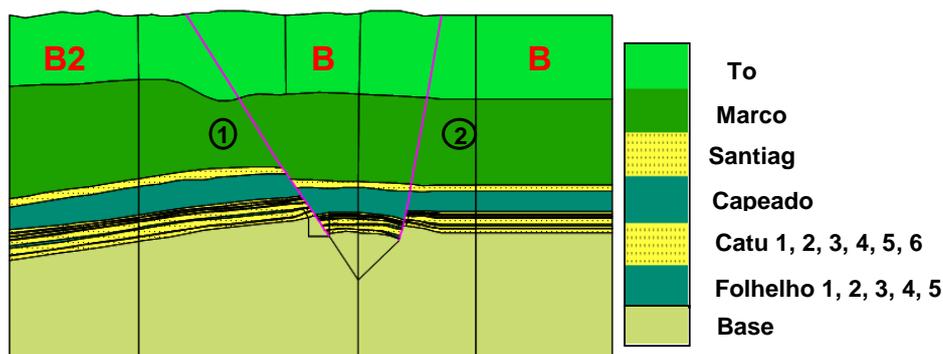


Figura 5.11 – Litologia da seção 3 (falhas em Magenta)

5.4. Análise por elementos finitos

A análise por elementos finitos foi feita através do simulador Abaqus em termos de tensões efetivas em condições drenadas. As rochas foram

discretizadas com elementos finitos isoparamétricos quadrilaterais de 8 nós, correspondendo ao elemento CPE8R do Abaqus. A zona de reservatório foi discretizada com elementos isoparamétricos quadrilaterais de poropressão de 8 nós, CPE8RP do Abaqus. A falha foi discretizada com elementos de interface de 6 nós desenvolvidos neste trabalho e incorporados ao Abaqus através da sub-rotina de usuário UEL.

As condições de contorno de deslocamentos homogêneas foram impostas na direção horizontal nos bordos laterais do modelo e nas duas direções na base do modelo. Na Figura 5.12 pode ser observado o modelo de elementos finitos da seção 3.

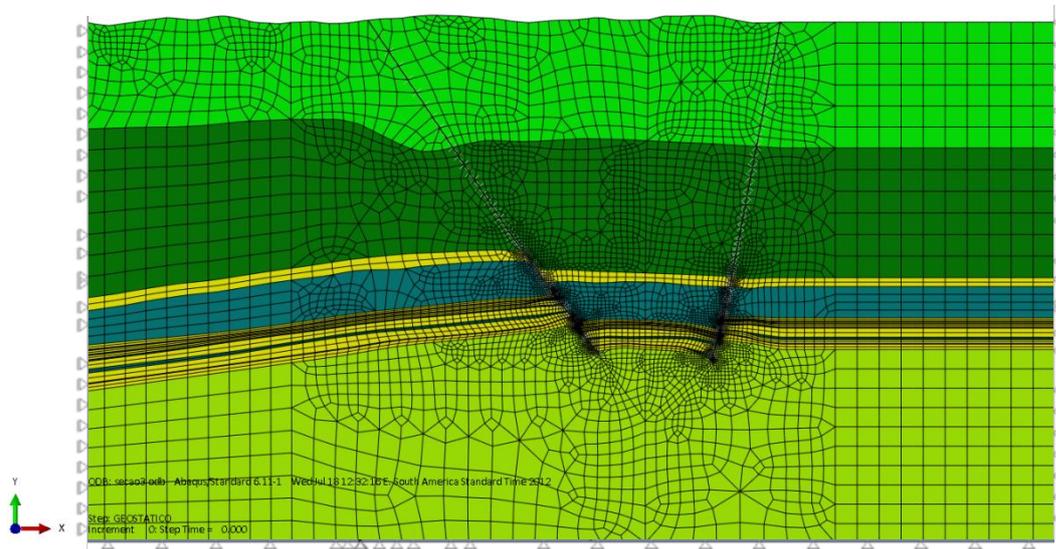


Figura 5.12 – Modelo de elementos finitos da seção 3, com 27246 nós e 9083 elementos

O estado inicial de tensões verticais e horizontais varia linearmente com a gradiente de tensão, a profundidade e o coeficiente de empuxo, estas são calculadas no passo geostático do Abaqus. As tensões iniciais calculadas estão apresentadas na Figura 5.13 e Figura 5.14.

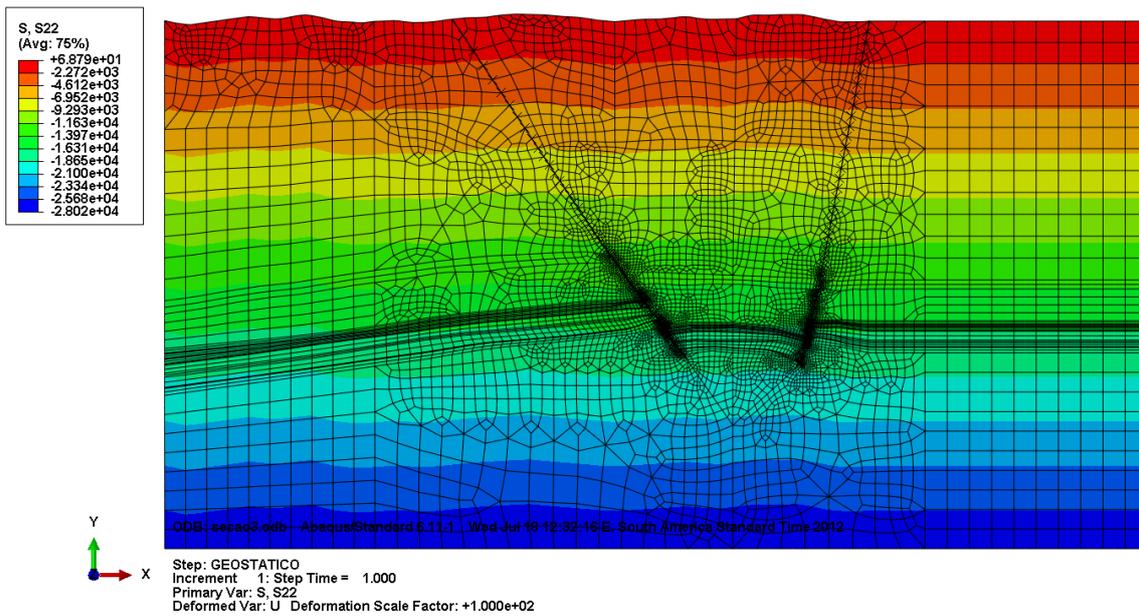


Figura 5.13 – Estado inicial de tensões verticais σ_v (kPa)

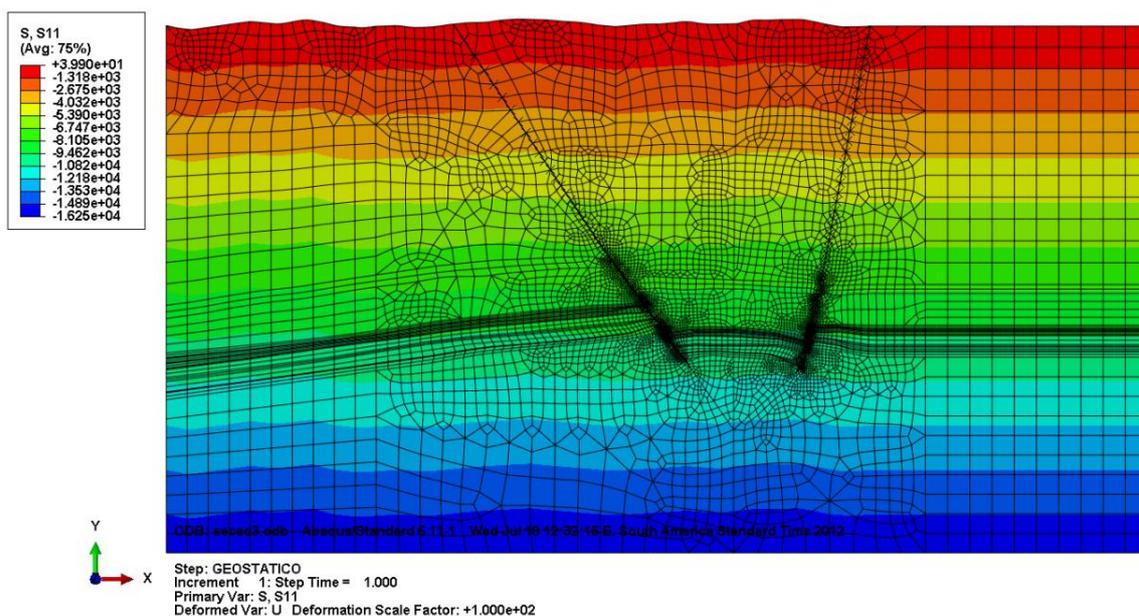


Figura 5.14 – Estado inicial de tensões horizontais mínimas σ_{hmin} (kPa)

Os resultados fornecidos pelas análises 2D da seção 3 empregando o simulador Abaqus são comparados com aqueles obtidos por Mendes et al. (2010) que utilizaram o programa AEEPCD® (Costa, 1984). Estes resultados permitem ressaltar o enorme potencial que tem a metodologia empregada aqui para estudos de reativação de falhas em campos reais. A seção 3 da Figura 5.10 foram analisados três cenários de carregamentos, descritos a seguir:

1. Depleção de todos os reservatórios: neste cenário foram usados os valores estáticos do módulo de elasticidade das rochas e correspondentes valores de rigidez da falha. Os incrementos de poropressão aplicados em cada reservatório do modelo de Miranga são apresentados na Figura 5.15.

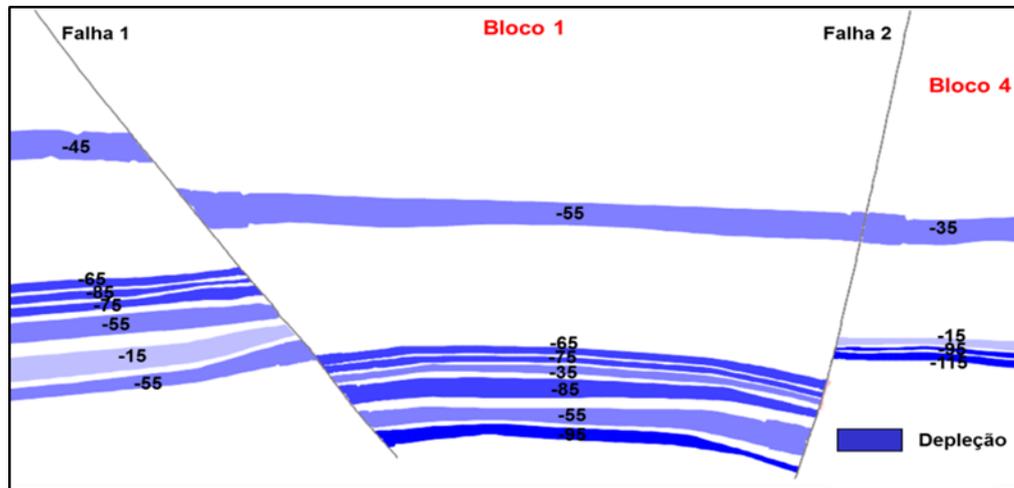


Figura 5.15 – Incrementos de poropressão de depleção Δp (kgf/cm²) na seção 3

A seguir se apresentam em detalhe os resultados para a falha 1 obtidos pelo simulador Abaqus. Estes resultados são comparados com os obtidos pelo programa AEEPECD® (Costa, 1984), como segue:

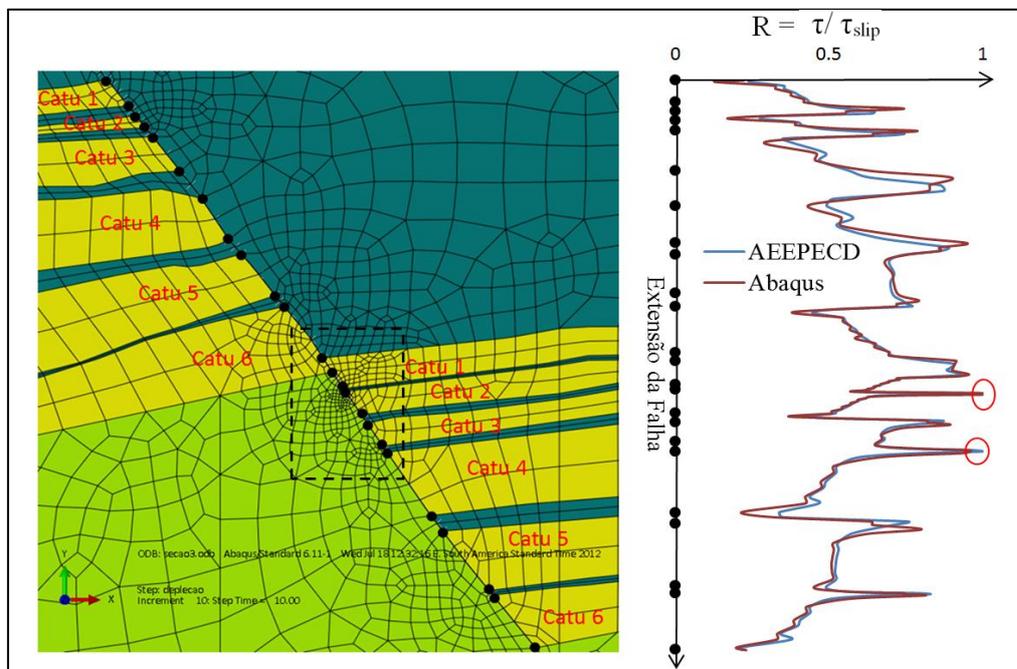


Figura 5.16 – Razão $R = \tau / \tau_{slip}$ da falha 1 seção 3 desde Catu 1 à esquerda até Catu 6 à direita da falha ao final do processo de depleção

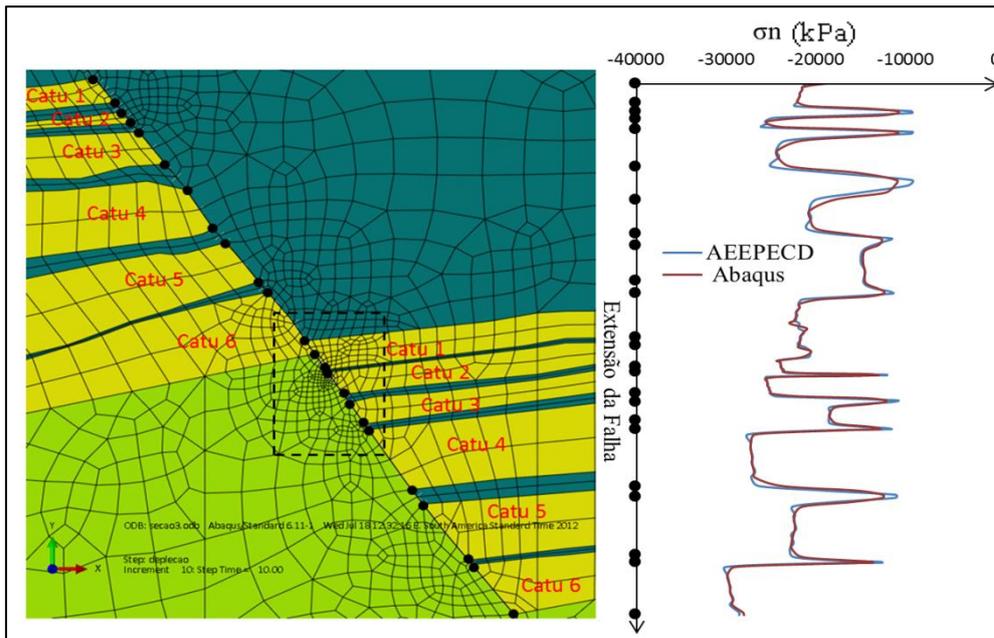


Figura 5.17 – Tensões normais ao longo da falha 1 seção 3 desde Catu 1 à esquerda até Catu 6 à direita da falha

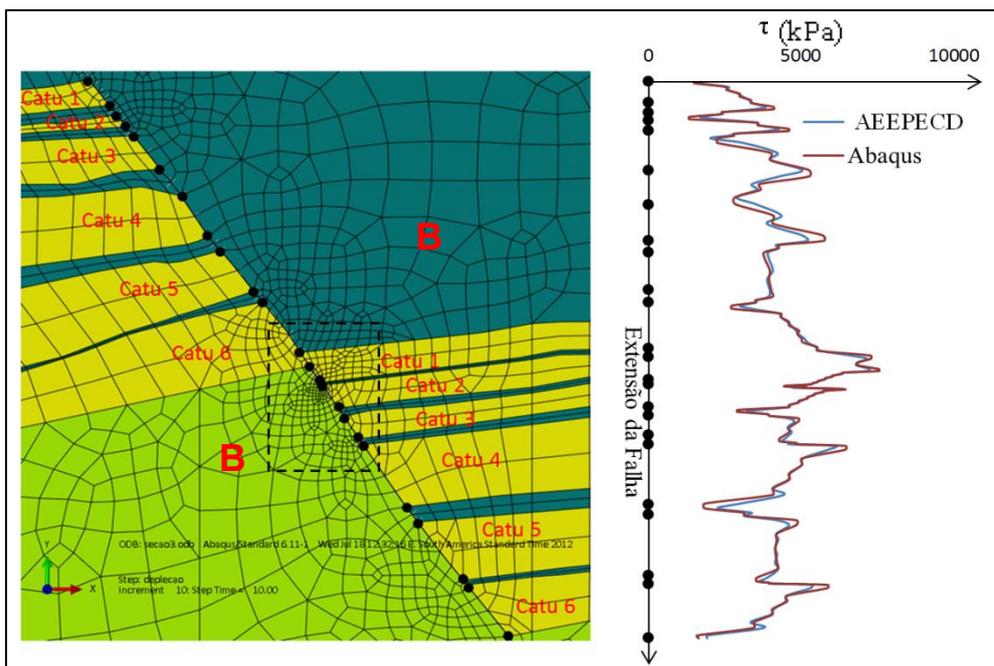


Figura 5.18 – Tensões cisalhantes ao longo da falha 1 seção 3 desde Catu 1 à esquerda até Catu 6 à direita da falha

Pode ser observado através da análise da Figura 5.16 que a falha reativa em alguns pontos dos folhelhos localizados entre os reservatórios. Observa-se também que a tendência dos resultados obtidos pelo simulador Abaqus ao longo da falha aproxima-se da calculada no trabalho de Mendes et al. (2010) usando o

programa AEEPECD. No entanto, em alguns pontos isolados ao longo da falha observam-se ligeiras diferenças. Essas diferenças nos resultados podem estar relacionadas diretamente com o método de integração utilizado nos elementos de interface, sendo 3 pontos de Newton Cotes para o Abaqus e 2 pontos de Gauss para o AEEPECD.

2. Injeção do reservatório Catu 1: a partir do estado inicial de tensões: neste cenário são utilizados os valores dinâmicos do módulo de elasticidade das rochas e correspondentes valores das rigidezes das falhas adotando a metodologia apresentada por Mendes et al. (2010). As poropressões calculadas em simuladores de fluxo são aplicadas ao reservatório Catu 1, como ilustrado na Figura 5.19.

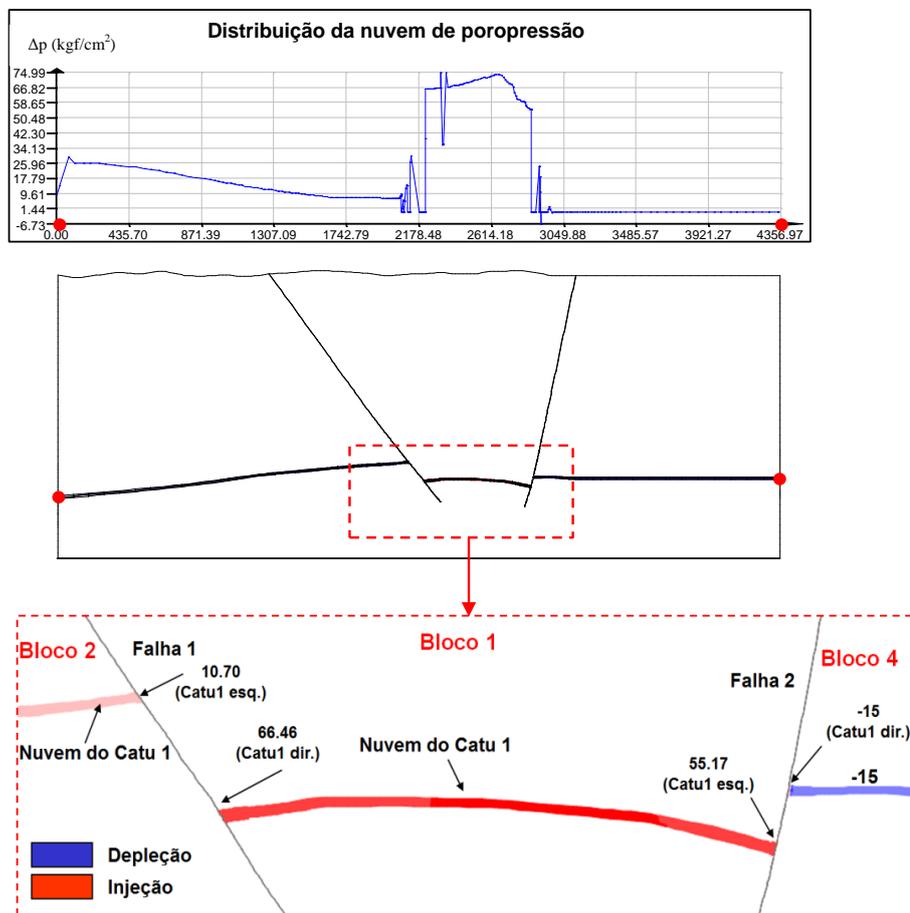


Figura 5.19 – Esquema de carregamento de Δp (kgf/cm²)

As falhas adjacentes ao reservatório Catu 1 e os trechos de falhas reativados na análise anterior foram carregadas desde o início da análise. O estado inicial de tensões foi considerado o mesmo que o calculado no cenário 1,

como já apresentado na Figura 5.13 e Figura 5.14. As figuras a seguir ilustram sequencialmente a evolução do processo de injeção no Catu 1 do bloco 1.

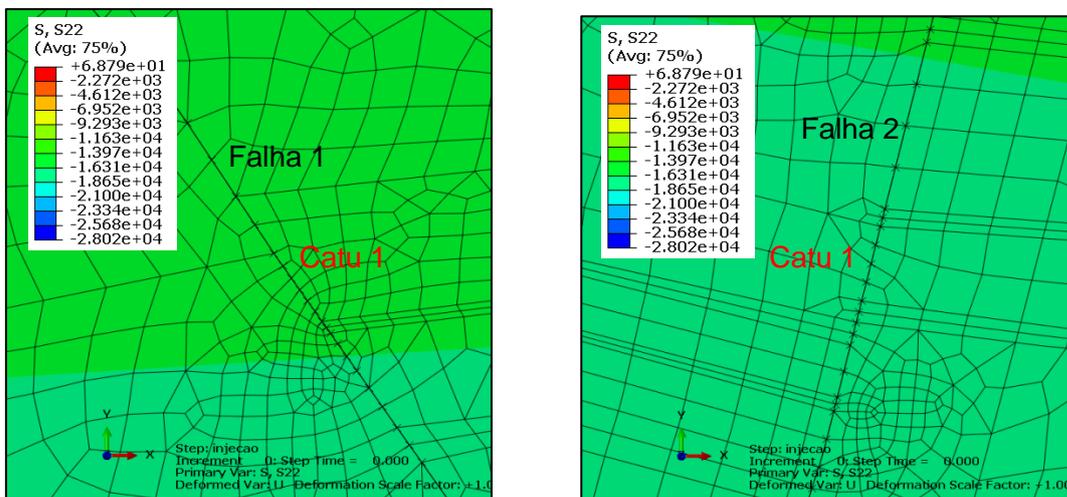


Figura 5.20 – Tensões verticais σ_v (kPa) para $\Delta p = 0.0$ kPa

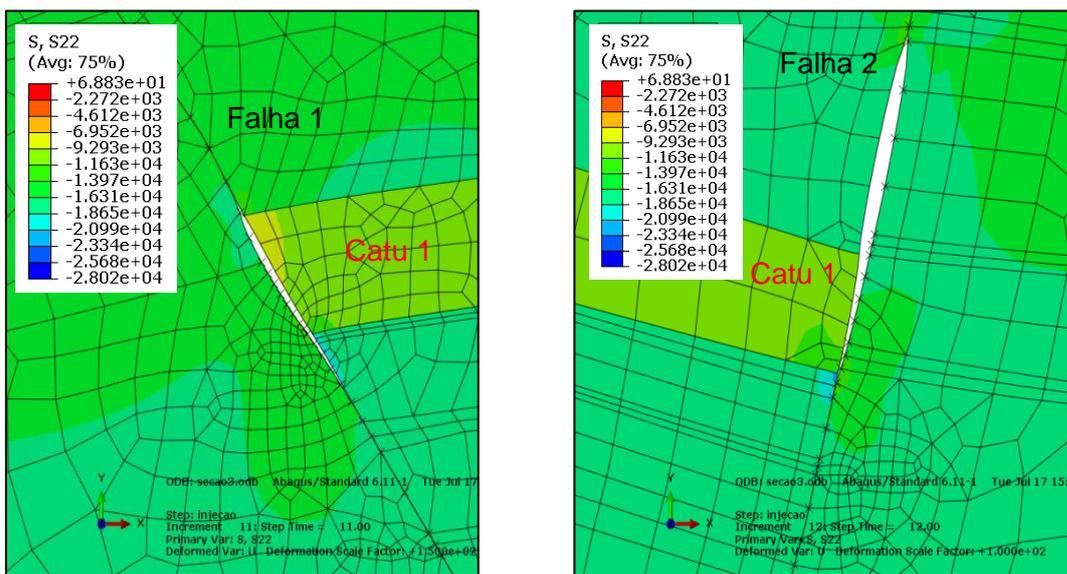


Figura 5.21 – Tensões verticais σ_v (kPa) para $\Delta p = 6906.06$ kPa na falha 1 $\Delta p = 5895$ kPa na falha 2

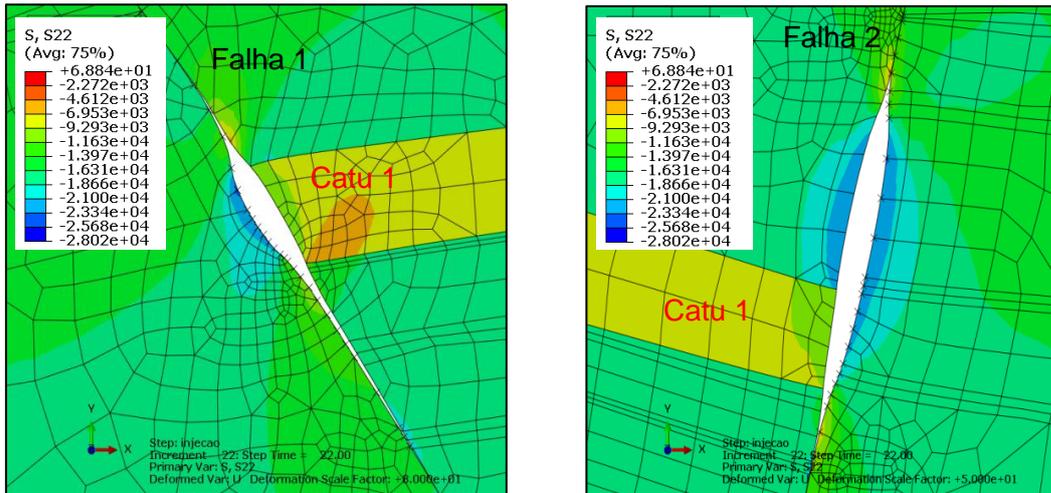


Figura 5.22 – Tensões principais σ_v (kPa) para $\Delta p = 10097.92$ kPa na falha 1 $\Delta p = 8375$ kPa na falha 2

Pode ser observado através da análise da Figura 5.21 que a falha 1 abre em todo o trecho do reservatório Catu 1 para um incremento de poropressão de 6906.06 kPa (70.47 kgf/cm²) e para a falha 2 o incremento de poropressão necessário para abrir a falha é de 5895.7 kPa (60.16 kgf/cm²). Conforme a Figura 5.22, no incremento de poropressão de 10097.92 kn (103.04 kgf/cm²) na falha 1 e no incremento de poropressão de 8375 kPa (85.46 kgf/cm²) na falha 2 as tensões normais do trecho da falha fora do reservatório se anulam propagando a abertura na falha. No Quadro 5.5 apresenta-se uma comparação entre o AEEPECD e Abaqus dos valores do incremento de poro Δp em que a falha reativa e abre para os trechos da falha 1 e falha 2 no Catu 1 do bloco 1.

Quadro 5.5 – Resultados de carregamento no cenário 2

Reservatório	Falha	Abaqus		AEEPECD	
		Δp (kPa)		Δp (kPa)	
		Reativação	Abertura	Reativação	Abertura
Catu1 BL 1	1	1953.14	6906.06	1954.12	6812.96
	2	3239.88	5895.68	3243.80	5904.5

Os resultados obtidos no simulador Abaqus são próximos dos obtidos no trabalho de Mendes et al. (2010). No entanto, este cenário não se ajusta de forma adequada ao processo de injeção real uma vez que não leva em consideração o estado de tensões depois da depleção.

3. Injeção do reservatório Catu 1 depois da depleção: Neste cenário é calculado um estado de tensões equivalente do Catu 1 depois da depleção adotando-se um peso específico médio submerso ($\gamma_{\text{sub}} = \sigma_v / H$) de 15.56 KN/m^3 e o coeficiente de empuxo ($K_0 = \sigma_h / \sigma_v$) de 0.56. Mendes et al. (2010) calculam esses valores através da média das tensões principais nos reservatórios do Catu 1 dos blocos 1,2 e 4, conforme o Quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Cálculo do K_0 e peso específico médio (γ)

Trecho	σ_h med kN/m ²	σ_v med kN/m ²	H med. m	γ_{sub} kN/m ³	K_0
B2	-11986.60	-21591.50	1314.01	16.43	0.56
B1	-12379.30	-22530.30	1325.97	16.99	0.55
B4	-9738.30	-17312.70	1309.03	13.23	0.56
Média	-11368.00	-20478.20	1316.34	15.56	0.56

Com o propósito de determinar os valores dos incrementos de poropressão que induzem a reativação da falha, compilaram-se os resultados razão R entre a tensão equivalente τ_s e a tensão cisalhante crítica τ_{slip} ao longo da falha 1, como ilustrados na Figura 5.23.

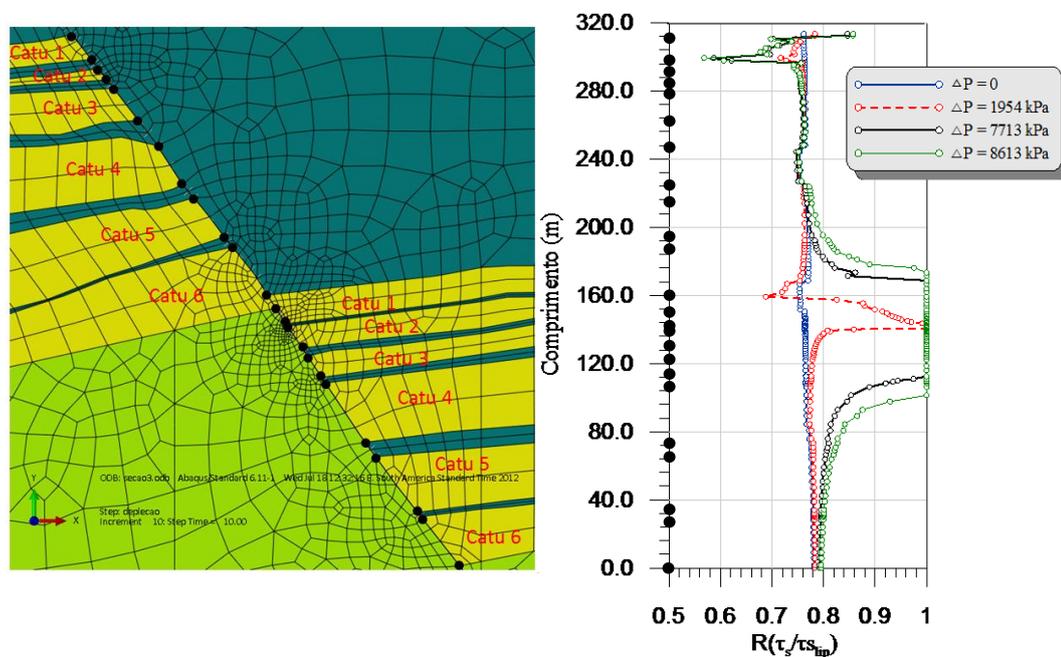


Figura 5.23 - Razão $R = \tau_s / \tau_{\text{slip}}$ ao longo da falha 1 para $\Delta p = 0, 1954 \text{ kPa}, 7713 \text{ kPa}, 8613 \text{ kPa}$

Observa-se na Figura 5.23 que a falha reativa para o incremento de poropressão $\Delta p = 1954$ kPa, coincidindo com o calculado por Mendes et al. (2010). Também foi compilado as tensões normais ao longo da falha 1 com o propósito de verificar se há abertura (ver Figura 5.24).

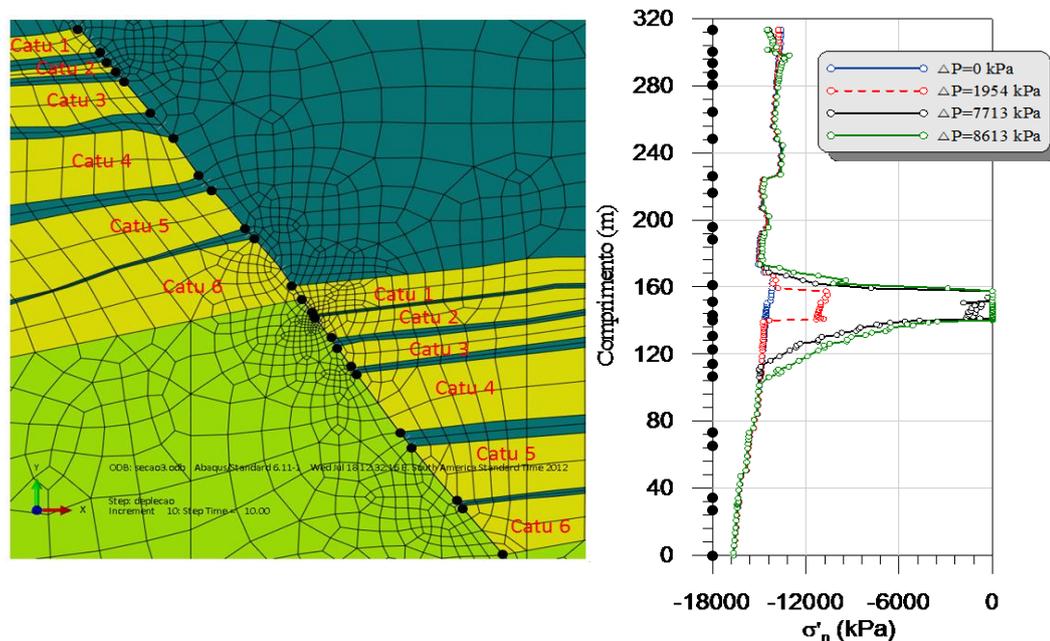


Figura 5.24 – Tensão normal efetiva ao longo da falha para os incrementos de poropressão $\Delta p = 0, 1954$ kPa, 7713 kPa, 8613 kPa

Observa-se na Figura 5.24 que a falha 1 inicia o processo de abertura para o incremento de poropressão $\Delta p = 7713$ kPa. Observa-se também que para o incremento de poropressão $\Delta p = 8613$ kPa a falha abre em todo o reservatório. No Quadro 5.7 apresenta-se uma comparação entre o AEEPECD e Abaqus dos valores do incremento de poro Δp em que a falha reativa e abre para os trechos da falha 1 e falha 2 no reservatório Catu 1 do bloco 1.

Quadro 5.7 - Resultados de carregamento no cenário 3

Falha	Reservatório	Ativação da falha		Abertura da falha no reservatório			
				1º Ponto		Inteiro	
		AEEPECD	Abaqus	AEEPECD	Abaqus	AEEPECD	Abaqus
		Passo	Δp (kPa)	Passo	Δp (kPa)	Passo	Δp (kPa)
1	Catu1 Dir.	1954	1954	7713	7713	8613	8913
2	Catu1 Esq.	3244	3244	6652	6652	7399	7648

Também foi representada a falha como um contínuo equivalente para conhecer em qual incremento de poropressão se apresenta a plastificação da zona de falha. A coesão equivalente adotada na falha 1 é $c_e = 750.67$ kPa e 1196 kPa para a falha 2, o ângulo de atrito equivalente da falha 1 é $\phi_e = 18.31^\circ$ e 78° para a falha 2. A seguir se apresenta a evolução da plastificação para a falha 1 e falha 2 do bloco 1.

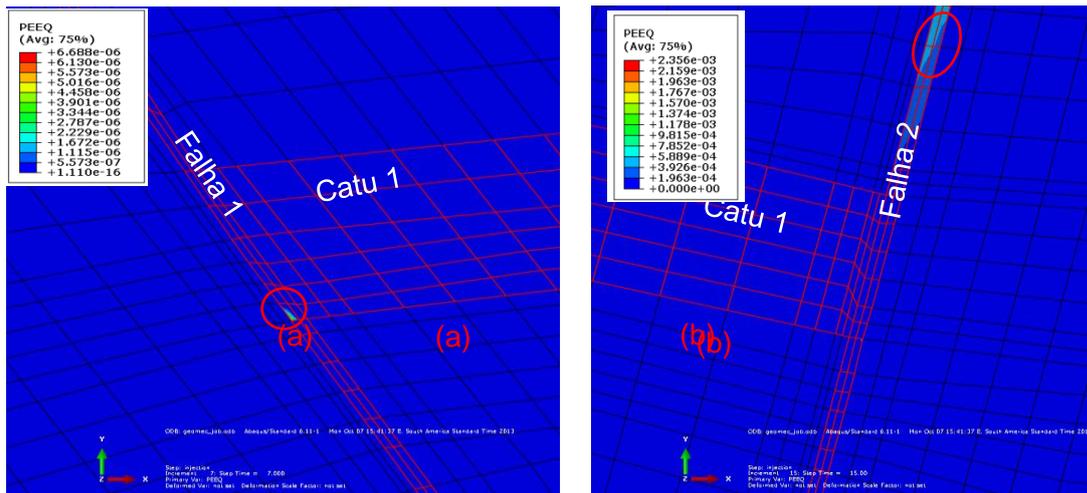


Figura 5.25 – (a) Plastificação ao longo da falha 1 com $\Delta p = 3256$ kPa; (b) Plastificação ao longo da falha 2 com $\Delta p = 3706$ kPa

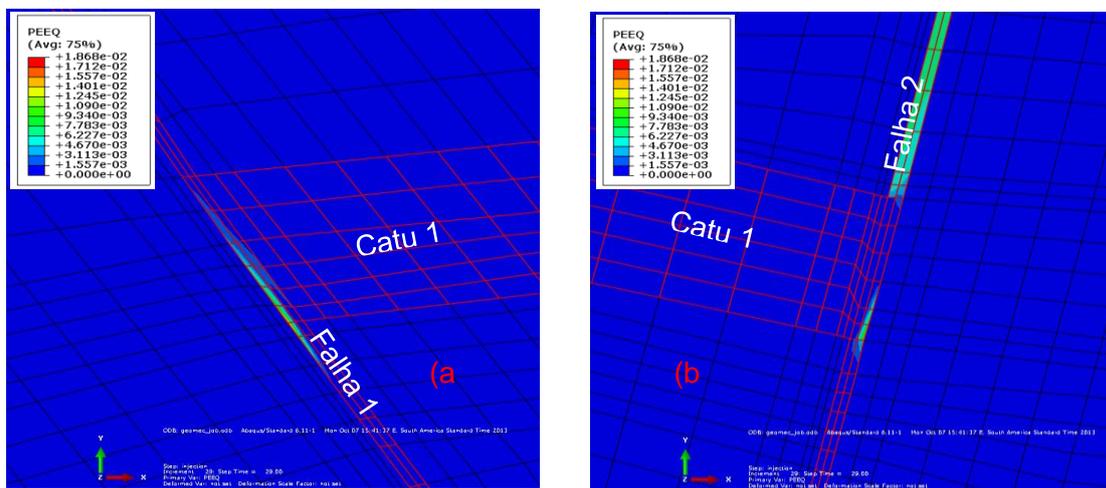


Figura 5.26 – (a) Plastificação ao longo da falha 1 com $\Delta p = 6513.00$ kPa; (b) plastificação ao longo da falha 2 com $\Delta p = 5406.66$ kPa

Como pode ser observado na

Figura 5.25a, a plastificação na falha 1 começa para o incremento de poropressão $\Delta p = 3256$ kPa. Pode ser observado também na

Figura 5.25b que a plastificação na falha 2 inicia fora do reservatório Catu 1 do bloco 1 para um incremento de poropressão de $\Delta p = 3706$ kPa. Na Figura 5.26b, observa-se que ao final da análise, a falha 2 adjacente ao reservatório plastifica, principalmente nos bordos externos e no trecho de falha2 fora do reservatório Catu 1. Também foi compilada a razão $R = \tau_s / \tau_{slip}$ ao longo das falhas, os incrementos de poropressão em que $R = 1$ são:

Quadro 5.8 – Incrementos de poropressão em que $R = 1$

Falha	Reservatório	Δp (kPa)
1	Catu1 Dir.	3635
2	Catu1 Esq.	4287

Os resultados obtidos com contínuo equivalente são maiores aos obtido com uma representação discreta com elementos de interface. Isto se deve a que o método de contínuo equivalente não leva em conta os deslocamentos relativos da falha.

De maneira global, se o objetivo é desenvolver uma metodologia confiável para determinar os limites seguros de pressões durante os processos de depleção-injeção de reservatórios visando aumentar a produção do campo de petróleo, reduzindo os riscos por reativação e abertura de falha, pode-se afirmar que os resultados obtidos neste trabalho são satisfatórios e confiáveis para futuras análises. Nos casos estudados resultou que a pressão de injeção nos reservatórios induz inicialmente a reativação na falha e posteriormente a abertura da falha. Nas análises apresentadas, os incrementos de poropressão que induzem a reativação de falha resultaram mais críticos, com a representação discreta usando elementos de interface que a representação distribuída usando elementos sólidos como um contínuo equivalente.

Destaca-se que a correta avaliação das tensões induzidas no reservatório e rochas adjacentes pelos processos de produção de petróleo requer o registro do histórico de tensões induzidas pelo histórico de pressões. Essa possibilidade foi explorada nesse trabalho. Na determinação da pressão limite para garantir a estanqueidade do reservatório deve ainda ser verificada a possibilidade de ruptura da rocha capeadora.