

7. Resultados do modelo numérico

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com os modelos numéricos definidos no capítulo anterior. Os resultados são também confrontados com os dados existentes de produção de sólidos nos poços da área em estudo.

7.1. Resultados da modelagem numérica de problemas em 2D

Os resultados apresentados a seguir se referem basicamente à quantidade de sólidos prevista na análise. Para isto foram utilizados os parâmetros do modelo de erosão sugeridos pelo manual do programa Abaqus.

O valor do volume de areia, expressos em m^3 , assim como as deformações plásticas ao redor do furo são apresentadas nas figuras 54 e 55 respectivamente. Embora ocorram deformações plásticas ao redor do furo, a análise de erosão não consegue atingir valores comparáveis observados em campo. Nota-se que a produção de areia é praticamente instantânea (ocorre nos primeiros segundos da análise) alcançando um valor de $3,5E-5$ (m^3) por metro de profundidade e que permanece constante ao longo do tempo de simulação.

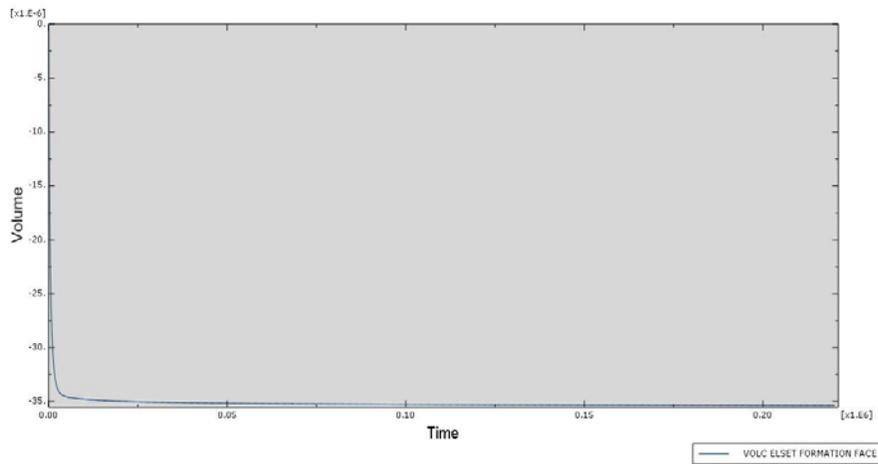


Figura 54.- Volume de areia produzido em m^3/m de profundidade

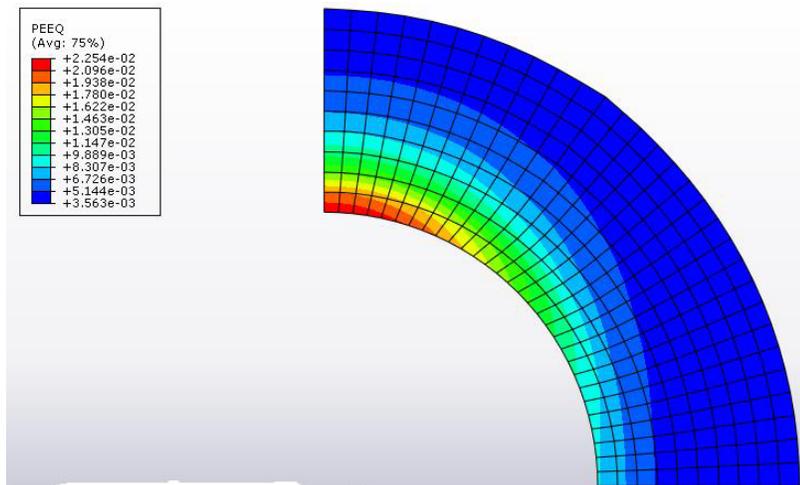


Figura 55.- Deformações plásticas equivalentes no poço

Um detalhe importante na figura 55 é o fato das deformações serem maiores na direção de influencia da tensão horizontal maior. Pergunta-se porque o modelo não estaria prevendo os valores obtidos no campo. Duas possibilidades poderiam ser consideradas para responder essa pergunta, uma que as constantes no modelo não representam o que acontece no campo e outra, que as hipóteses do modelo também não se ajustam a esta realidade.

Devido ao fato de ter alguns parâmetros que influenciam diretamente a equação da taxa de geração de massa, como por exemplo, a concentração de transporte e os valores de λ_1 e λ_2 , forem feitas algumas simulações variando estes valores. A tabela 5 resume as variações feitas nos parâmetros C , λ_1 e λ_2

Tabela 5.- Parâmetros utilizados nas simulações

Simulação	C	λ_1	λ_2
1	0,001	5E4	75
2	10	5E4	75
3	10	4	0,001
4	1000	4	0,001

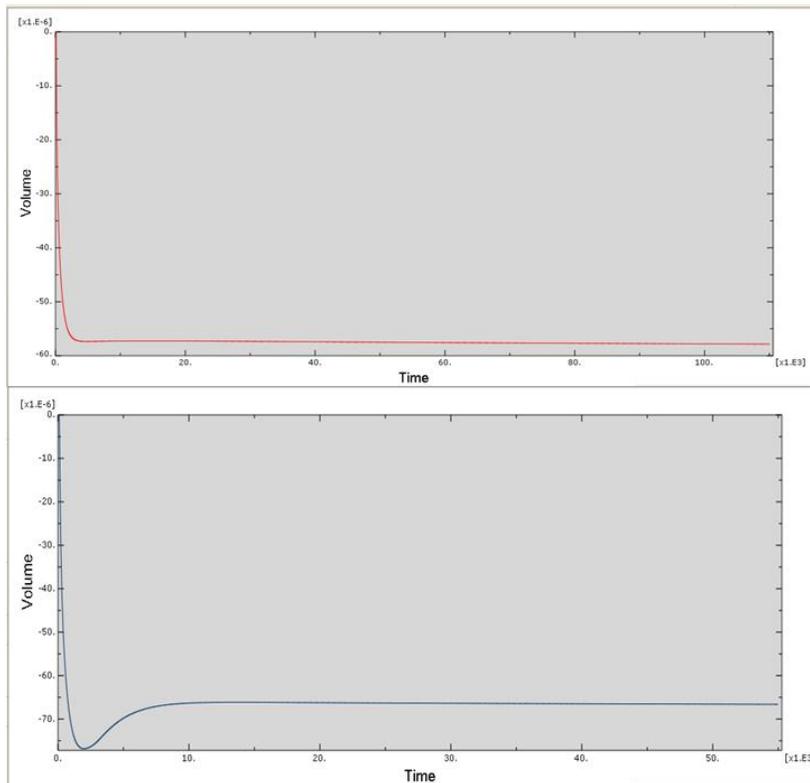


Figura 56.- Resultados das simulações 1 e 2 da tabela 5

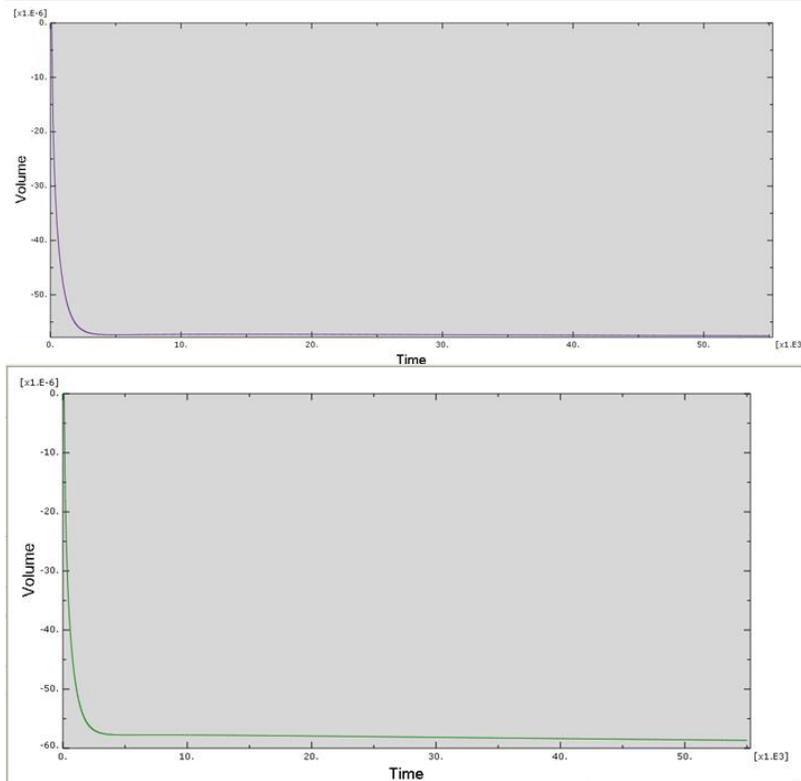


Figura 57 Resultado das simulações 3 e 4

As figuras 56 e 57 apresentam os resultados do volume de areia produzido nas diferentes simulações feitas. Não se observa maior variação do comportamento, quer dizer, a variação dos parâmetros não modificou os resultados obtidos previamente, ou seja, os volumes obtidos de sólidos continuavam muito baixos.

Para tentar reproduzir os valores de produção de sólidos de campo, foi introduzida na seqüência uma modificação na equação 6.16 que fornece os valores de λ a serem usados na análise. A segunda parte da equação 6.16 foi descartada para não limitar o coeficiente de produção de areia no valor λ_2 , eliminando-se a restrição superior de λ em λ_2 .

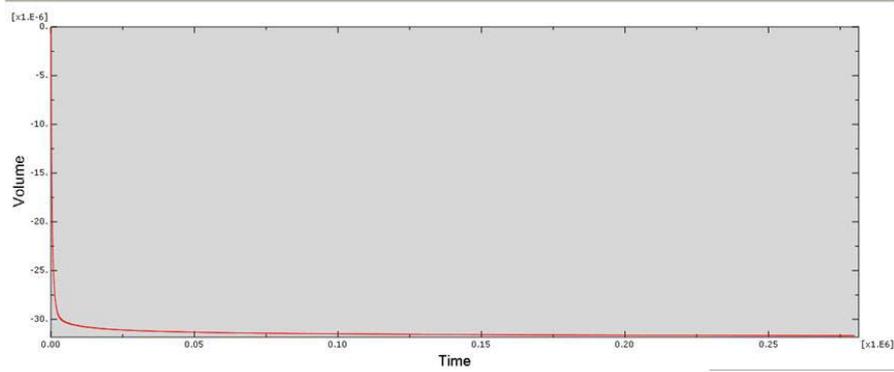


Figura 58.- Resultado da simulação modificando a função do coeficiente de produção de areia

Eliminar o limite máximo da função não alterou significativamente os resultados como mostrado na Figura 58. Em seguida tentou-se colocar ao mesmo tempo a variação dos parâmetros (como mostrado na tabela 6) e deixar ilimitado o valor de λ (equação 7.1). O resultado na figura 57

Tabela 6.- Parâmetros para a simulação

C	λ_1
1000	4

$$\lambda(g^p) = \begin{cases} \lambda_1 \times (g^p - g_{peak}^p) & \text{if } g^p > g_{peak}^p \end{cases} \quad (7.1)$$

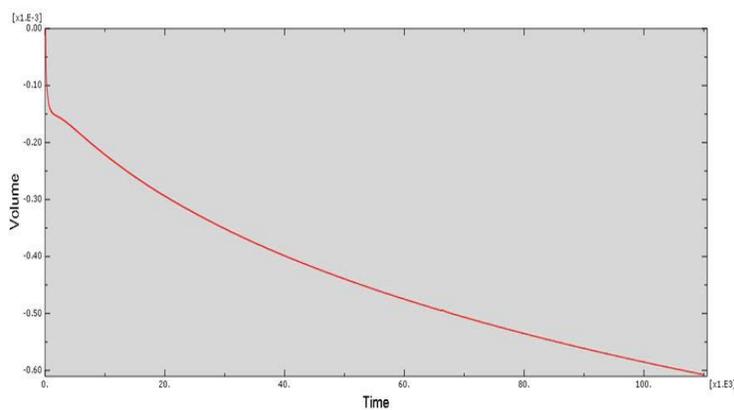


Figura 59.- Volume de areia produzido com as novas modificações (Tabela 6)

Na figura 59, pode se observar a variação no comportamento da curva (já não é mais uma produção instantânea) assim como do valor do volume de

produção de areia. Neste caso, para um tempo de simulação de 30,5 h o volume produzido atinge valores da ordem de $0,6E-3$ (m^3) / 36,61 (polegadas³) por cada metro de profundidade.

O tempo de simulação foi aumentado de 30,5 horas para 60 e assim se avaliar a influência do tempo nesta análise.

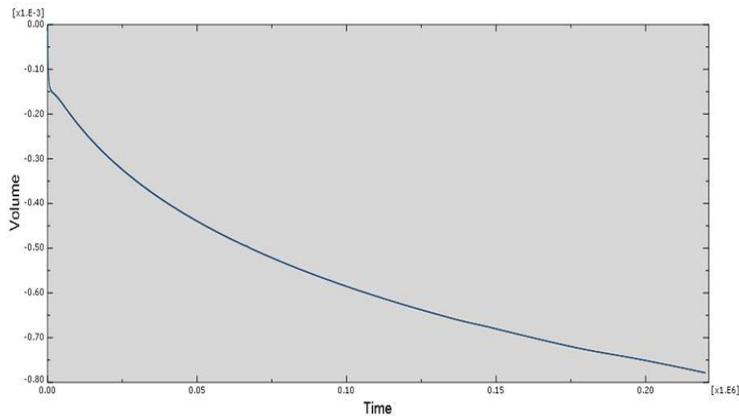


Figura 60.- Volume de areia para o tempo de 60 horas

Nota-se, como mostrado na Figura 60 a tendência da produção de aumentar com o tempo. Para o caso das 60 horas de simulação, a produção alcança valores de $0,8E-3$ m^3 (48,81 polegadas³).

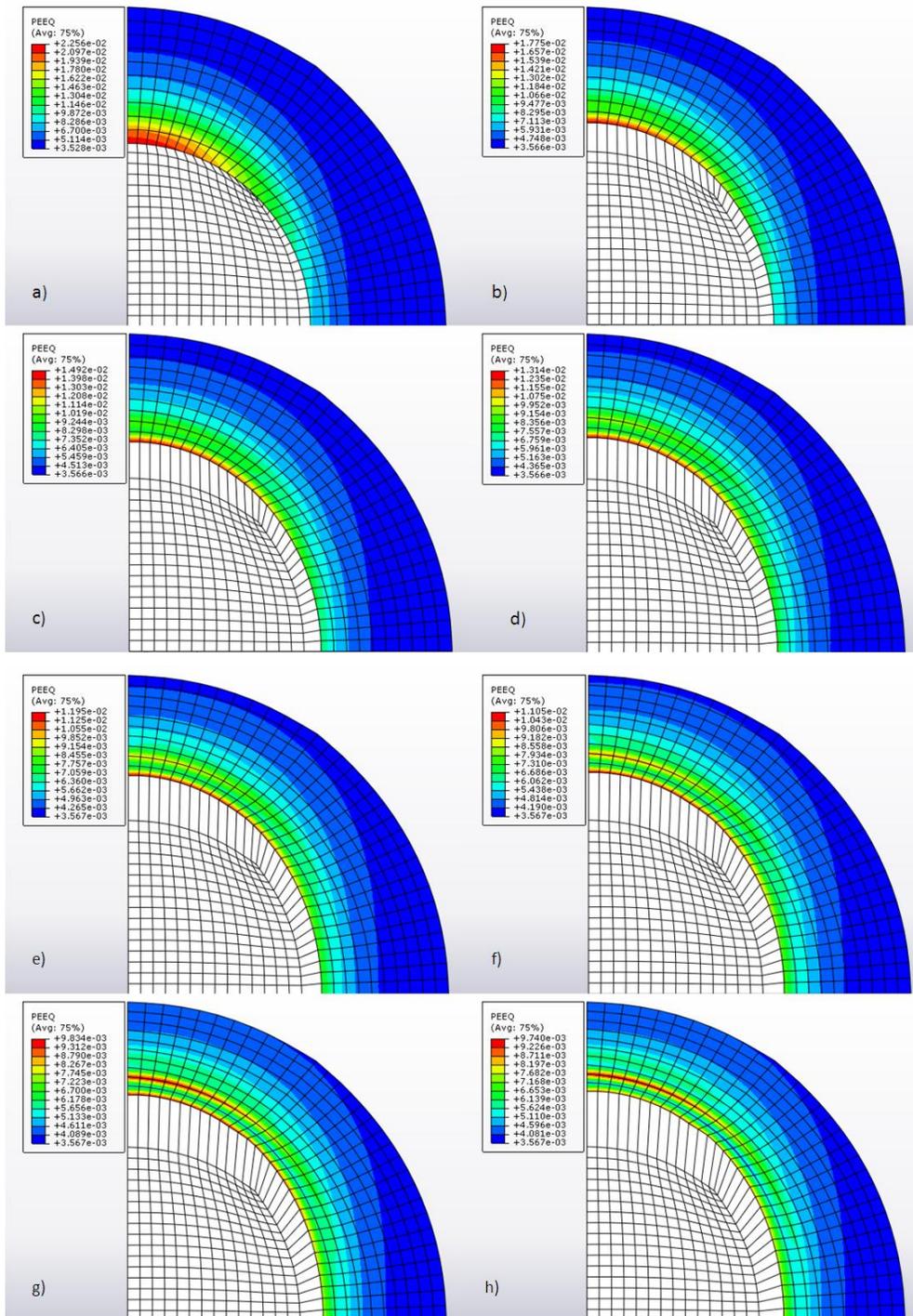
Foi feito um análise de sensibilidade da taxa de transporte dos sólidos fluidizados. Os resultados resumem-se na seguinte tabela.

Tabela 7.- Análise de sensibilidade da taxa de transporte

Taxa de transporte, C	Volume produzido (m^3/m de profundidade)
1	0,35E-05
10	0,50E-05
100	0,20E-03
1000	0,85E-03

Observa-se como este parâmetro tem um efeito marcante no volume de areia produzido. Para continuar com o estudo, foram utilizados os parâmetros da tabela 7.

A figura 61 ilustra a seqüência do processo de erosão produto das modificações efetuadas pelo programa Abaqus na malha.



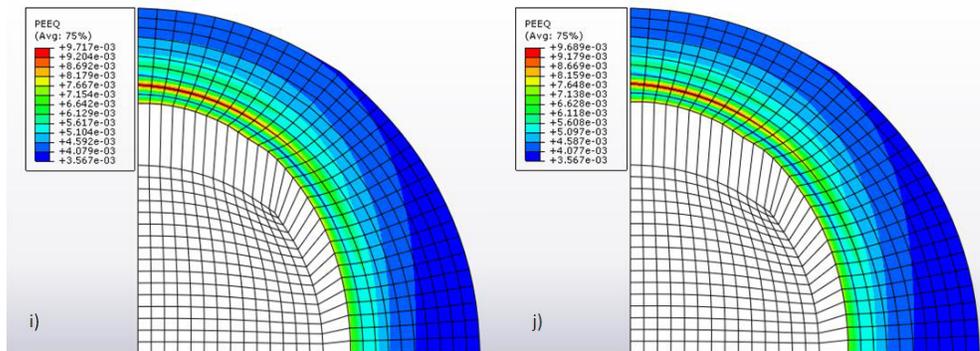


Figura 61.- Seqüência do processo de erosão expressado em deformações plásticas equivalentes (PEEQ)

As seqüências da figura 59 mostram como os nós da malha vão se desativando e tomando novas posições, que é basicamente o que ocorre com o processo de malhas adaptativas, explicado no capítulo anterior. Se considerarmos 3 (m) / 10 (ft) de espessura da camada, o resultado do volume produzido de areia para o intervalo está representado na figura 62. Adicionalmente, devido à tendência da curva e poupar tempo de simulação foi feito um ajuste de curva de potência onde foi extrapolado o comportamento para um tempo de 200 horas.

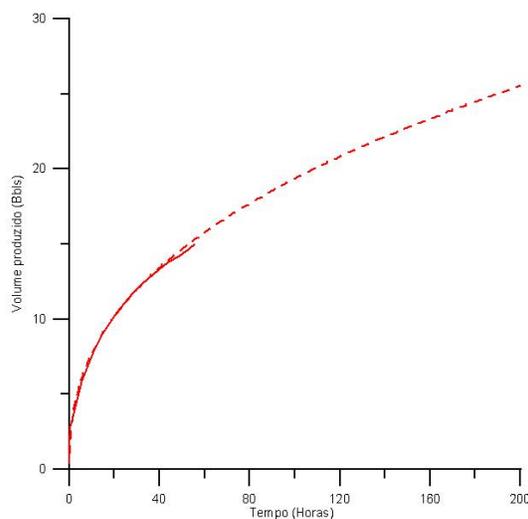


Figura 62.- Volume produzido para um tempo de 200 horas

Supondo que a extrapolação na curva seja correta, tem-se para um tempo de simulação de oito (8) dias um volume de areia produzido de aproximadamente 25 (bbl) / 3,97 (m³).

Até agora foram ajustado parâmetros que são intrínsecos da formação, os quais são normalmente obtidos através de ensaios de laboratório. Na equação da taxa de erosão, o único parâmetro que pode ser manipulado é a velocidade do fluido, que é função direta do gradiente de pressão imposto. Nas simulações feitas, foi escolhido um poço com características críticas em termos de *drawdown*, 46,44 (Mpa) / 6873 (psi), para analisar o efeito deste parâmetro, foi variada a pressão imposta no interior do poço, diminuendo o valor de *drawdown* até 14 (Mpa) / 2072 (psi) os resultados obtidos são apresentados na figura 63

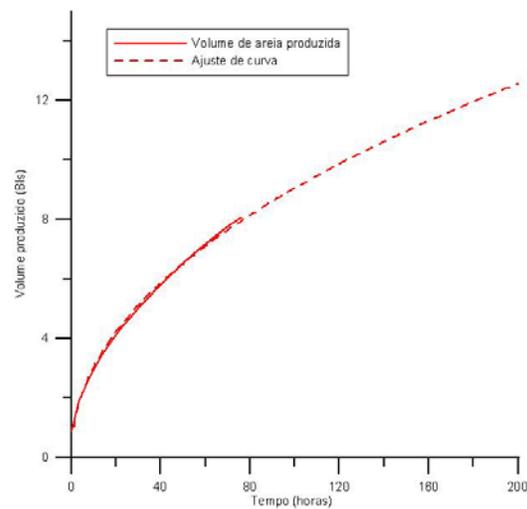


Figura 63.- Volume produzido em poço com drawdown de 14 (Mpa)

Até um tempo de simulação de 80 horas o volume de areia produzido alcança valores de oito (8) barris aproximadamente (figura 63). Se compararmos com a simulação anterior, pode-se observar uma notável influencia da velocidade do fluido ou *drawdown* aplicado no analise. As comparações das duas simulações se apresentam a seguir.

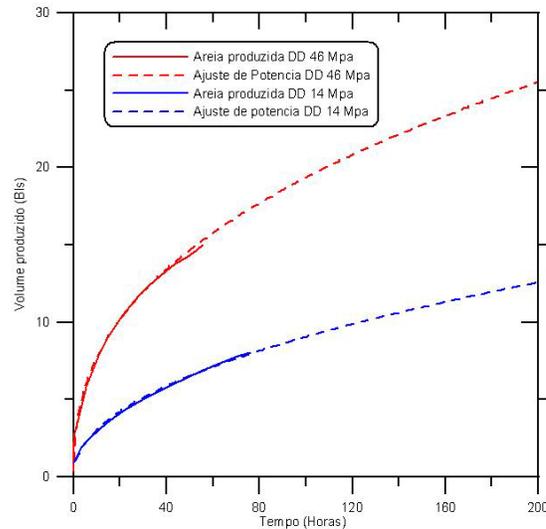


Figura 64.- Comparação do volume produzido em função do drawdown

Os resultados obtidos nesta simulação foram comparados com os valores de produção de areia do campo. Para isto, foi necessário calcular a taxa de produção média diária da simulação. Utilizando o teorema do valor médio (também conhecido como teorema de Lagrange) e a figura 62, temos

Tabela 7.- Valor médio da produção de areia na simulação

Dias	Valor médio (bbl)	Taxa (lb/bbl)
1	2,20	0,18
2	3,60	0,29
3	4,44	0,36
4	5,08	0,41
5	5,61	0,46
6	6,09	0,50
7	6,51	0,53
8	6,88	0,56

No Campo estudado, a produção de areia tem um valor médio de 25 lb por cada mil barris de petróleo produzido, ou seja, entre 5-10 por cento aproximadamente da areia produzida na simulação. O resultado é bem representativo, se é considerada as condições dos poços que foram comparados. Por um lado, a simulação representa um poço aberto com maior área efetiva de produção, sem os efeitos do cimento-formação, diâmetro do furo

de 0,31 (m) / 12,25 (polegada). No campo tem-se poços do campo, completados com revestimento e túneis canhoneados de diâmetros de 2 polegadas, condições geométricas, de tensão, notavelmente distintas.

7.2.

Modelo 3D

Logo após ter conseguido resultados satisfatórios no modelo de duas dimensões, o próximo passo foi gerar resultados no modelo de três dimensões. Infelizmente, não foi possível atingir a convergência do modelo na etapa de erosão, porém, os resultados encontrados se mostram em termos de deformação plástica equivalente ao longo do túnel canhoneado.

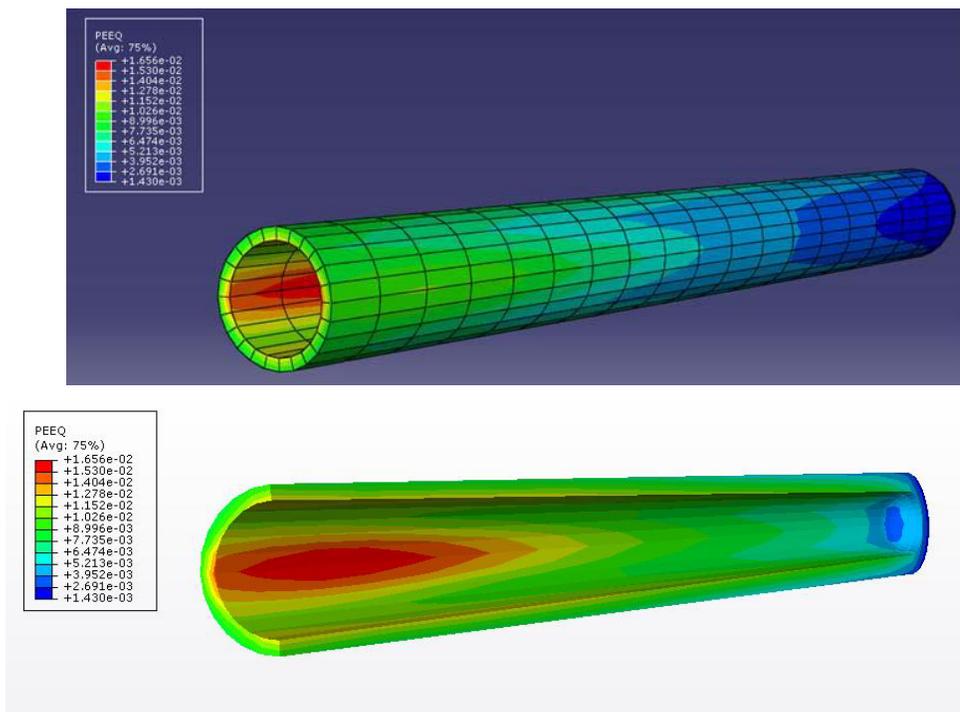


Figura 65.- Comportamento da deformação plástica equivalente no túnel canhoneado

Como se observa, as deformações são suficientemente grandes (região vermelha) se comparada com a deformação de pico ou máxima (determinada dos ensaios), para iniciar o processo de erosão. Infelizmente, em um problema tão complexo, altamente não linear, não foi possível estabelecer os motivos de não se conseguir a convergência nos modelos analisados.

Os métodos numéricos por definição devem ser capazes de manejar uma variedade de condições de contorno complexas, comportamento do material, características geométricas e parâmetros que dependem do tempo. A principal razão pela qual os métodos numéricos, em algumas ocasiões, não têm sido bem sucedidos é devido à complexidade que requerem a montagem e o tempo das simulações. Seria desejável ter um modelo que seja simples de usar (que use dados de fácil disponibilidade) e possível de gerar resultados que possam complementar os modelos analíticos ou melhorar seus resultados em termos de confiança e consistência.