

## 6 Conclusões e recomendações

No capítulo 5 os modelos desenvolvidos para cada uma das três geometrias 2D de fratura foram aplicados na interpretação dos registros de oito operações de *fracpack*. Os resultados alcançados foram comparados às respostas obtidas em dois tipos de simuladores comerciais, sendo um simulador pseudo 3D, o *software* Meyer, e um simulador 3D, o *software* Stimplan, considerando ainda duas condições de contorno em relação ao ponto de iniciação da fratura: no intervalo canhoneado e na menor tensão. Desta forma, o estudo permitiu, além da avaliação do modelo desenvolvido, uma comparação entre os resultados dos dois tipos de simuladores comerciais e entre as duas condições de contorno para a iniciação da fratura.

### 6.1. Cenário das operações

Valkó & Oligney [3] identificaram que durante o TSO em uma operação de *fracpack* as formações inconsolidadas de alta permeabilidade podem intercalar o período de aumento de pressão com períodos anômalos de redução de pressão, sendo este fato interpretado como momentos em que a formação sofre uma acomodação e a fratura volta a ganhar comprimento durante o alargamento e empacotamento de sua abertura. Desta forma, como a teoria tem por base formações inconsolidadas de alta permeabilidade, a aplicação do modelo desenvolvido requer um cenário com reservatórios de permeabilidades maiores que 50 md, considerando reservatórios de óleo [2].

As operações de *fracpack* escolhidas para o estudo foram realizadas em sua maioria na bacia de Campos. O mapa da figura 6.1 mostra a distribuição destas operações e sua localização geográfica. Dos oito *fracpacks* analisados, apenas um deles foi realizado no litoral de Sergipe, não sendo apresentado no mapa.

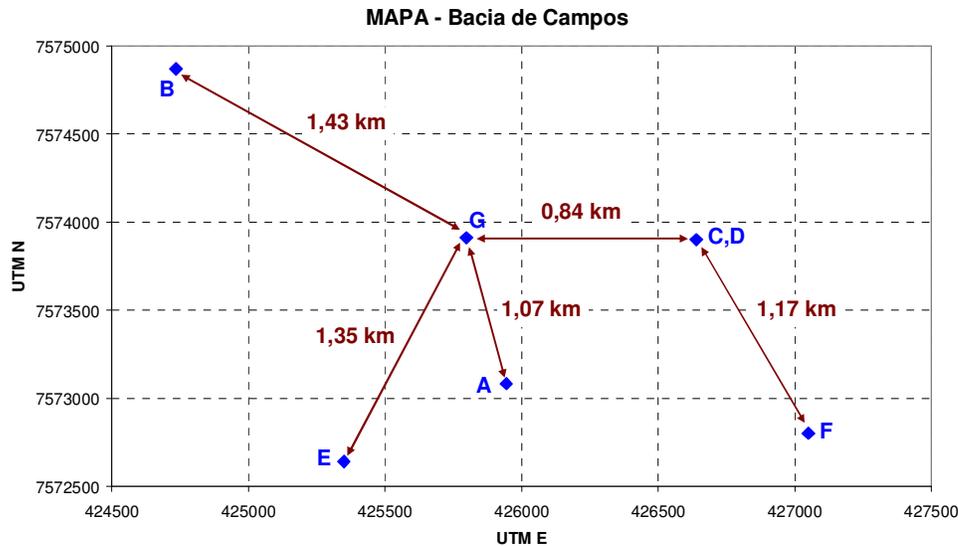


Figura 6.1 – Mapa com a distribuição e localização geográfica dos *fracpacks* analisados que foram realizados na bacia de Campos.

Os cenários de lâmina d'água, topo e espessura do reservatório, intervalo canhoneado, permeabilidade e módulo de elasticidade onde os oito *fracpacks* foram realizados estão apresentados na tabela 6.1. Nota-se que a lâmina d'água e a profundidade do reservatório são bem semelhantes, exceto para o *fracpack H*, realizado no litoral de Sergipe, que apresenta lâmina d'água um pouco inferior à média. A espessura do reservatório apresenta valores variados, como o caso do *fracpack C*, cuja espessura do reservatório era de 65 m, e o *fracpack F*, realizado num reservatório de 13 m de espessura. Com relação ao intervalo canhoneado, na maioria das operações ele cobriu quase toda a espessura do reservatório, assim, para os cálculos nos modelos desenvolvidos com as geometrias PKN e KGD, a altura da fratura foi considerada igual a espessura do reservatório. A única exceção foi o *fracpack C* que, com um intervalo canhoneado de 25 m, apresentou uma diferença de 40 m em relação a espessura do reservatório e, desta forma, a altura da fratura foi considerada igual ao intervalo canhoneado. De acordo com a tabela 6.1, pode-se afirmar que todos os *fracpacks* ocorreram em reservatórios de alta permeabilidade [2], no entanto, por serem em sua maioria arenitos distintos, nota-se valores bem diferentes como o caso do *fracpack C*, que foi realizado em um reservatório de 2300 md, e o *fracpack A*, cuja permeabilidade do reservatório foi estimada em 250 md, implicando assim diferentes coeficientes de filtração, como será apresentado na tabela 6.2.

Cenário dos oito fracpacks					
Fracpack	LDA (m)	Topo (m)	Espessura (m)	Canhoneado (m)	Permeab. (md)
A	1853	3367	58	45	250
B	1794	3444	29	24	550
C	1852	3464	65	25	2300
D	1852	3423	38	28	1500
E	1843	3303	38	29	920
F	1871	3415	13	11	800
G	1834	3347	34	32	580
H	1340	3201	17	12	750
<b>Médio</b>	1780	3370	37	26	956
<b>Mínimo</b>	1340 H	3201 H	13 F	11 F	250 A
<b>Máximo</b>	1871 F	3464 C	65 C	45 A	2300 C

Tabela 6.1 – Cenário das oito operações de *fracpacks* utilizadas para a aplicação dos modelos desenvolvidos.

O tempo de fechamento e a eficiência da fratura interpretados a partir do declínio de pressão do minifrac e a estimativa do coeficiente de filtração, apresentados na tabela 6.2, também são um indicativo da permeabilidade do reservatório. Mesmo sabendo-se que a eficiência não é função apenas do coeficiente de filtração, sendo também dependente do tempo de bombeio, ou seja, da vazão, a qual variou nos tratamentos, foi possível notar que, dos minifracs e tratamentos analisados, a maior eficiência e também o menor coeficiente de filtração foram estimados a partir do *fracpack A*, que apresentou o menor valor de permeabilidade entre os casos estudados. Já a menor eficiência e o maior coeficiente de filtração foram estimados no *fracpack C*, o qual foi realizado no reservatório de maior permeabilidade.

Resultados do minifrac e do ajuste de pressão					
Fracpack	Delta tc (min)	Eficiência (%)	Coef. filtra. - Canh. (ft/min <sup>1/2</sup> )	Coef. filtra. - Sh (ft/min <sup>1/2</sup> )	Canh./Sh (adm)
A	10.2	46%	0.0058	0.0048	1.2
B	5.1	30%	0.0077	0.0077	1.0
C	1.1	5%	0.0260	0.0190	1.4
D	2.0	8%	0.0250	0.0147	1.7
E	4.7	25%	0.0180	0.0130	1.4
F	4.5	27%	0.0190	0.0080	2.4
G	3.3	28%	0.0088	0.0064	1.4
H	2.6	20%	0.0200	0.0180	1.1
<b>Médio</b>	4.2	24%	0.0163	0.0114	1.4
<b>Mínimo</b>	1.1 C	5% C	0.0058 A	0.0048 A	1.0 B
<b>Máximo</b>	10.2 A	46% A	0.0260 C	0.0190 C	2.4 F

Tabela 6.2 – Resultados do declínio de pressão dos minifracs e dos ajustes de pressão.

Um ponto interessante apresentado na tabela 6.2 é a diferença no coeficiente de filtração de acordo com a condição de contorno para iniciação da fratura, ressaltando-se que o ajuste de pressão no simulador foi realizado utilizando uma geometria 3D de fratura para todos os casos. Na situação de iniciação da fratura na menor tensão foram estimados valores menores de coeficiente de filtração do que os obtidos no ajuste de pressão na condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado. Conforme mostrado na tabela, na condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado foram obtidos, na média, coeficientes de filtração 40% maiores do que os estimados na condição de iniciação da fratura na menor tensão. Destaca-se o *fracpack B*, cujo coeficiente de filtração se manteve o mesmo nas duas condições de iniciação da fratura e o *fracpack F*, que apresentou a maior alteração, sendo o coeficiente de filtração na condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado 2,4 vezes maior que o coeficiente de filtração considerando a iniciação da fratura na menor tensão.

## 6.2. Modelo desenvolvido e geometria da fratura

Cada modelo desenvolvido tem por base um tipo de geometria 2D de fratura. Tanto o modelo PKN quanto o KGD são aplicados a fraturas confinadas, mas, no entanto, diferem na forma em que convertem o problema tridimensional da criação de uma fratura em um problema bidimensional. No modelo KGD, o estado plano de deformação foi assumido na direção horizontal, ou seja, todas as seções horizontais atuam de forma independente, sendo seções iguais, o que

é equivalente a assumir que a mudança na abertura da fratura é muito mais suave na vertical, isto é, ao longo da altura da fratura, do que na horizontal, ou seja, ao longo do comprimento da fratura. Na prática esta hipótese torna-se verdadeira se a altura da fratura for muito maior que seu comprimento ou se um completo deslizamento ocorrer no topo e na base do reservatório. O modelo PKN, por outro lado, assume que cada seção vertical atua independentemente, o que é equivalente a dizer que a pressão em cada seção é dominada muito mais pela altura da seção do que pelo comprimento da fratura e esta hipótese será verdadeira se o comprimento da fratura for muito maior que sua altura. Com hipóteses diferentes em relação ao estado plano de deformação, os modelos chegaram a duas formas distintas de resolução do mesmo problema, permitindo inclusive a previsão de geometrias de fratura diferentes. No caso do modelo PKN, a resolução do problema não considerou a mecânica da fratura e o efeito de extremidade da fratura, se concentrando no fluxo de fluidos e em seu correspondente gradiente de pressão. Já no modelo KGD, a extremidade da fratura teve grande importância na resolução do problema e o gradiente de pressão do fluido pôde ser aproximado.

Com base nestas duas geometrias de fratura e considerando ainda a geometria radial, que assume um crescimento não confinado da fratura, foi estabelecido um gráfico que compara as previsões de uma modelagem 3D com as previsões de uma modelagem 2D, indicando, de acordo com a característica da fratura, qual modelagem 2D deve ser utilizada para que sejam obtidos resultados mais próximos dos previstos por uma modelagem 3D [26].

O gráfico tem por base a relação entre o comprimento da fratura de ponta a ponta e sua altura. Para uma fratura de geometria radial, que cresce sem encontrar barreiras, espera-se que o comprimento das duas asas de uma fratura seja o mais próximo possível do comprimento de sua altura. No caso da geometria PKN, conforme já mencionado, os erros resultantes da hipótese do estado plano de deformação no plano vertical serão sempre menores para comprimentos de fratura muito maiores que sua altura. Já para a geometria KGD, o oposto é estabelecido, onde os erros resultantes da hipótese do estado plano de deformação no plano horizontal serão menores para uma fratura em que a altura é muito maior que seu comprimento. Obedecendo estas condições, as respostas das modelagens 2D se aproximam dos resultados obtidos nas modelagens 3D, de acordo com o gráfico da figura 6.2.

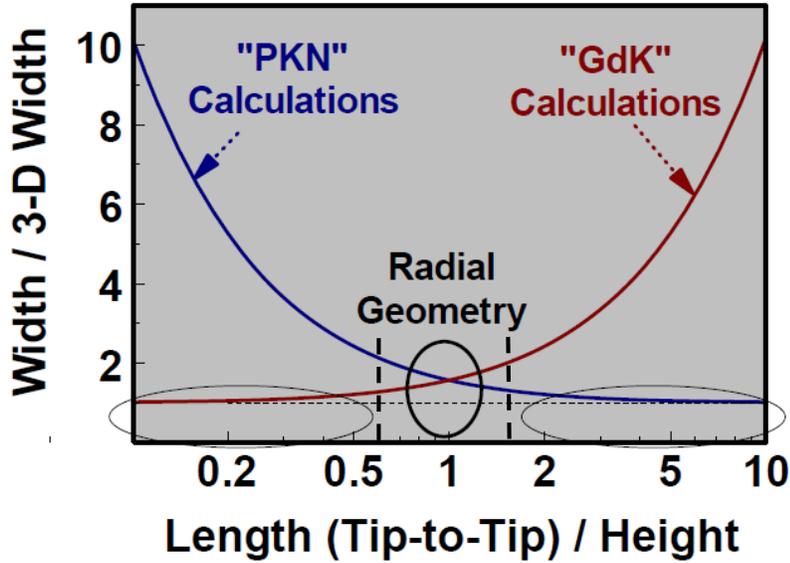


Figura 6.2 – Utilizando a geometria de fratura obtida a partir de uma modelagem 3D, o gráfico estabelece qual modelagem 2D apresentaria resultados mais próximos dos estimados pelo modelo 3D [26].

Utilizando o gráfico da figura 6.2 as geometrias estimadas com as modelagens pseudo 3D, por meio do simulador Meyer, e 3D, a partir do simulador Stimplan, foram avaliadas, indicando quais as modelagens 2D que apresentariam os resultados mais próximos dos previstos pela modelagem 3D. Para esta análise foi estabelecido o seguinte critério, eq. (6.1):

$$\frac{2x_f}{h_f} < 0,6 \Rightarrow KGD$$

$$0,6 < \frac{2x_f}{h_f} < 1,6 \Rightarrow RADIAL \tag{6.1}$$

$$\frac{2x_f}{h_f} > 1,6 \Rightarrow PKN$$

Os resultados desta avaliação foram comparados aos modelos desenvolvidos responsáveis pelas melhores previsões das respostas dos simuladores pseudo 3D e 3D segundo os índices estabelecidos, sendo avaliada se a modelagem 2D indicada pelo gráfico foi a responsável pelo desenvolvimento do melhor modelo. As tabelas, 6.3 e 6.4, apresentam os resultados da análise das geometrias das fraturas estimadas pelos simuladores comerciais.

Simulador Meyer								
Fracpack	Condição de iniciação da fratura:							
	Intervalo canhoneado				Tensão mínima			
	hf (m)	xf (m)	2xf/hf	Modelagem 2D	hf (m)	xf (m)	2xf/hf	Modelagem 2D
A	54,7	21,3	0,78	RADIAL	43,6	33,0	1,51	RADIAL
B	34,1	34,8	2,04	PKN	30,5	37,0	2,43	PKN
C	37,7	16,8	0,89	RADIAL	38,5	22,4	1,16	RADIAL
D	37,0	13,8	0,75	RADIAL	21,0	44,8	4,27	PKN
E	37,0	16,3	0,88	RADIAL	21,8	36,4	3,34	PKN
F	13,0	15,7	2,42	PKN	8,5	46,5	10,94	PKN
G	45,0	19,6	0,87	RADIAL	36,5	29,5	1,62	PKN
H	24,0	22,5	1,88	PKN	23,3	25,5	2,19	PKN

Tabela 6.3 – Avaliação da geometria da fratura estimada pelo simulador Meyer, indicando qual modelagem 2D que poderia apresentar resultados mais próximos dos obtidos na modelagem pseudo 3D, neste caso.

Simulador Stimplan								
Fracpack	Condição de iniciação da fratura:							
	Intervalo canhoneado				Tensão mínima			
	hf (m)	xf (m)	2xf/hf	Modelagem 2D	hf (m)	xf (m)	2xf/hf	Modelagem 2D
A	59,0	28,1	0,95	RADIAL	59,0	32,2	1,09	RADIAL
B	31,0	39,2	2,53	PKN	32,0	39,2	2,45	PKN
C	42,0	24,2	1,15	RADIAL	45,0	20,5	0,91	RADIAL
D	38,0	17,3	0,91	RADIAL	38,0	25,9	1,36	RADIAL
E	38,0	19,8	1,04	RADIAL	39,0	25,9	1,33	RADIAL
F	15,0	35,0	4,67	PKN	Não	Não	Não	Não
G	49,0	28,2	1,15	RADIAL	49,2	36,0	1,46	RADIAL
H	91,0	28,0	0,62	RADIAL	86,0	28,0	0,65	RADIAL

Tabela 6.4 – Avaliação da geometria da fratura estimada pelo simulador Stimplan, indicando qual modelagem 2D que poderia apresentar resultados mais próximos dos obtidos na modelagem 3D.

Antes da comparação com os modelos desenvolvidos, alguns pontos devem ser comentados em relação à avaliação apresentada nas tabelas 6.3 e 6.4:

- **Tanto o simulador pseudo 3D quanto o simulador 3D não indicaram modelagens 2D com a geometria KGD.** Desta forma, pode-se dizer que a espessura dos reservatórios ou a altura das fraturas estimadas não foram muito grandes em relação aos comprimentos de fratura alcançados. Vale ressaltar que os resultados do *fracpack H* estimados pelo Stimplan, apesar de indicarem a geometria radial de fratura, ficaram bem próximos do

limite estabelecido para a geometria KGD de acordo com o critério da eq. (6.1). Isto era esperado já que os resultados apresentados por este simulador mostraram um grande crescimento em altura da fratura, rompendo as barreiras da formação nas duas condições de iniciação de fratura.

- **Considerando a condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado, os simuladores pseudo 3D e 3D indicaram a mesma modelagem 2D em todos os casos**, exceto para o *fracpack H*, em que a resposta do simulador 3D indicou um grande crescimento da fratura em altura.
- **Observando todos os resultados, exceto as previsões do simulador Meyer na condição de iniciação da fratura na menor tensão, nota-se que a maioria das geometrias indicou o modelo radial**. Nestes reservatórios de alta permeabilidade, já era esperada uma geometria de fratura que tendesse à radial em função da alta taxa de filtração da formação, considerando os casos de grandes espessuras de reservatório se comparadas aos comprimentos de fratura. Nos casos de reservatórios de pequena espessura, por ser tratar de um arenito inconsolidado, esperava-se que os folhelhos também fossem formações mais fracas, não atuando como barreira e permitindo também um crescimento de fratura com geometria radial.
- **Analisando os resultados do simulador Meyer na condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado, nota-se que os resultados que indicaram a geometria PKN foram obtidos nas três menores espessuras de reservatório**. O mesmo pode ser observado para o simulador Stimplan, exceto para o *fracpack H*, no qual o simulador previu um grande crescimento em altura da fratura nas duas condições de iniciação de fratura e para o *fracpack F*, na condição de iniciação da fratura na menor tensão, já que a pressão simulada pelo *software* neste caso não apresentou um bom ajuste com o registro de campo.
- **Comparando as duas condições de iniciação da fratura no simulador pseudo 3D, nota-se uma grande mudança nos resultados, concluindo-se que o tipo de iniciação da fratura teve interferência nestas simulações**. Enquanto a condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado indicou na maioria dos

casos modelagens com a geometria radial, a condição de iniciação da fratura na menor tensão confinou mais a fratura, indicando mais vezes a geometria PKN. Este resultado foi contrário a idéia original, que considerou a iniciação da fratura na menor tensão acreditando que a fratura levaria mais tempo para enxergar as barreiras e que desta forma seriam obtidas fraturas com geometria radial.

- **Já no caso do simulador 3D, nota-se que independente da condição de iniciação de fratura, as simulações indicaram os mesmos resultados**, ou seja, a condição de iniciação da fratura não teve influência nos resultados obtidos no simulador 3D.
- **De acordo com os tópicos mencionados anteriormente, pode-se dizer que os resultados do simulador pseudo 3D na condição de iniciação da fratura no intervalo canhoneado se aproximaram mais das respostas do simulador 3D do que considerando a condição de iniciação da fratura na menor tensão.** Pode-se dizer ainda que, com o maior número de geometrias PKN, a condição de iniciação da fratura na menor tensão evidencia a teoria do modelo pseudo 3D na qual, após as barreiras serem encontradas, a fratura começa a se propagar lateralmente, sendo os parâmetros da fratura calculados ao longo de seu comprimento, com base no modelo PKN [26].

### **6.2.1. Modelo 3D versus modelagem 2D**

As tabelas 6.5 e 6.6 mostram o melhor modelo desenvolvido indicado pelos índices para a previsão dos resultados dos simuladores comerciais, fazendo uma comparação com as modelagens 2D indicadas pelos simuladores comerciais a partir do gráfico da figura 6.2. Para os resultados em que o melhor modelo desenvolvido indicado pelos índices coincidiu com a modelagem 2D indicada pelo gráfico, tanto a geometria quando os índices utilizados foram marcados de verde.

Simulador pseudo 3D - Meyer						
Fracpack	Melhor modelo desenvolvido	Índices			Modelagem 2D indicada	
		Rp ou xfp máximo	Conc. no poço	Geom.	Intervalo canhoneado	Menor tensão
A	KGD	X			RADIAL	RADIAL
B	PKN	X		X	PKN	PKN
C	Radial-Canh	X	X	X	RADIAL	RADIAL
D	Radial-Canh	X	X	X	RADIAL	PKN
E	Radial-Canh	X		X	RADIAL	PKN
F	Radial-Canh		X	X	PKN	PKN
G	Radial-Canh	X			RADIAL	PKN
H	PKN	X		X	PKN	PKN

Tabela 6.5 – Comparação entre o melhor modelo desenvolvido indicado pelos índices para previsão dos resultados do simulador Meyer e a modelagem 2D indicada a partir da geometria da fratura prevista pelo modelo pseudo 3D utilizando o gráfico da figura 6.2.

Simulador 3D - Stimplan						
Fracpack	Melhor modelo desenvolvido	Índices			Modelagem 2D indicada	
		Rp ou xfp máximo	Conc. no poço	Geom.	Intervalo canhoneado	Menor tensão
A	Radial-Canh	X	X	X	RADIAL	RADIAL
B	PKN	X		X	PKN	PKN
C	Radial-Sh	X	X	X	RADIAL	RADIAL
D	Radial-Canh	X	X		RADIAL	RADIAL
E	Radial-Canh	X		X	RADIAL	RADIAL
F	PKN	X		X	PKN	-
G	Radial-Canh	X			RADIAL	RADIAL
H	PKN	X		X	RADIAL	RADIAL

Tabela 6.6 – Comparação entre o melhor modelo desenvolvido indicado pelos índices para previsão dos resultados do simulador Stimplan e a modelagem 2D indicada a partir da geometria da fratura prevista pelo modelo 3D utilizando o gráfico da figura 6.2.

A tabela 6.5 apresenta os melhores modelos desenvolvidos indicados pelos índices para a previsão dos resultados do simulador Meyer e a tabela 6.6 apresenta os melhores modelos desenvolvidos indicados pelos índices para a previsão dos resultados do simulador Stimplan. É possível observar que nos modelos desenvolvidos foi selecionado um maior número de geometrias radiais, assim como foi indicado pelos simuladores comerciais a partir do gráfico da figura 6.2 e, conforme já mencionado, esta era a geometria de fratura mais

esperada em função da alta taxa de filtração nos arenitos de alta permeabilidade e devido a possibilidade de existência de barreiras mais fracas em função do cenário de reservatórios inconsolidados. Comparando a geometria do modelo desenvolvido com a modelagem 2D indicada pelo Meyer, nota-se que apenas nos *fracpacks A* e *F* foram obtidas geometrias diferentes. Fazendo essa mesma comparação com os resultados do simulador Stimplan, apenas a geometria do *fracpack H* foi diferente. Esses resultados mostraram que a utilização dos índices escolhidos, principalmente o índice do raio ou comprimento da fratura e o índice geométrico, pelo fato de estarem vinculados à geometria da fratura, funcionaram como bons selecionadores do melhor modelo desenvolvido já que indicaram as mesmas geometrias recomendadas pelos simuladores comerciais com o uso do gráfico da figura 6.2.

### **6.3. Considerações finais**

O presente trabalho realizou alguns ajustes no modelo original de Valkó & Oligney, sendo eles: a estimativa do expoente  $\alpha$  com dados do tratamento, utilizando os parâmetros do fluido não Newtoniano e considerando os registros do declínio de pressão do minifrac; e a utilização do método de Tartaglia para a resolução da equação do terceiro grau. Conforme apresentado nos tópicos de “Evolução do modelo de Valkó & Oligney”, estes ajustes trouxeram bons resultados, aproximando a curva de concentração ao longo do raio da fratura das respostas obtidas nos simuladores comerciais e obtendo valores mais próximos da realidade para os parâmetros de abertura e eficiência calculados pelo modelo.

Após os ajustes realizados, o presente trabalho desenvolveu um novo modelo, combinando o modelo de Valkó & Oligney, responsável pela definição dos raios de empacotamento, com o modelo de Carter, introduzido para o cálculo da propagação da fratura. A utilização do modelo de Carter permitiu a substituição do modelo de potência proposto por Nolte, que era utilizado apenas no período anterior ao início do TSO, e das interpolações usadas nos intervalos de decréscimo de pressão, que nem sempre indicavam uma propagação da fratura, conforme era esperado. Desta forma foi obtido um modelo único e mais robusto para a estimativa do raio hidráulico da fratura, que se tornou independente do raio de empacotamento calculado por Valkó & Oligney, funcionando ainda como um limite superior para este raio.

Os estudos de caso mostraram que o modelo desenvolvido, o qual considera o modelo de Carter para estimativa de propagação da fratura, e o modelo de Valkó & Oligney, após os ajustes realizados por este trabalho, apresentaram resultados bem próximos, como pôde ser observado nos tópicos de “Evolução do modelo de Valkó & Oligney”. Como os dois modelos estimam o raio de empacotamento com o equacionamento proposto por Valkó & Oligney, a grande diferença entre eles está no fato de considerar ou não um modelo de propagação da fratura. Nos estudos de caso apresentados é possível observar que, após os ajustes realizados, o modelo de Valkó & Oligney passou a estimar um raio hidráulico bem próximo do previsto pelo modelo desenvolvido, mesmo sem considerar o modelo de propagação. Este resultado pode ser atribuído ao domínio do processo de filtração no equacionamento do raio de empacotamento, já que este também se baseia no modelo de Carter. Desta forma é possível dizer que, após os ajustes realizados, o modelo de Valkó & Oligney se tornou mais robusto, na medida em que apresenta resultados semelhantes ao modelo desenvolvido, mesmo sem incorporar o modelo de propagação de fratura.

O presente trabalho também expandiu o modelo desenvolvido para as geometrias KGD e PKN de fratura. A aplicação do modelo desenvolvido para cada uma das geometrias e sua comparação com os resultados dos simuladores comerciais, permitiu confirmar a tendência esperada que, durante uma operação de *fracpack*, a geometria da fratura se aproxima da radial. Permitiu ainda a conclusão de que, em reservatórios de pequena espessura, é possível que a geometria da fratura se aproxime da PKN mesmo se tratando de uma operação em uma formação inconsolidada.

Com relação ao equacionamento de Valkó & Oligney, utilizado no modelo desenvolvido, um ponto que chamou a atenção foi a área da fratura responsável pelo processo de filtração durante o TSO. A aplicação do modelo desenvolvido mostrou que para que fossem atingidos valores mais próximos da realidade, principalmente com relação a abertura e a eficiência da fratura, o processo de filtração durante o TSO deveria ocorrer através da área empacotada da fratura e não através da área hidráulica, como era esperado inicialmente. Desta forma, os estudos de caso mostraram que o fato da fratura estar mecanicamente travada durante o TSO também indica que a filtração estará ocorrendo principalmente na área empacotada neste instante.

Outro ponto da solução de Valkó & Oligney a ser mencionado, também utilizado no modelo desenvolvido, é a forma de definição da curva de concentração do agente de sustentação ao longo do raio ou do comprimento da

fratura. A hipótese do modelo se baseia na distribuição uniforme do agente de sustentação na área formada por cada raio ou comprimento de empacotamento da fratura em cada instante de tempo. Ao final do bombeio, a curva final de concentração será formada pelo somatório das distribuições realizadas, obtendo, conseqüentemente, o valor máximo de concentração próximo ao poço. Com esta hipótese, a teoria sugere que, com a fratura bloqueada, o agente de sustentação invade seu interior empurrando os agentes já presentes contra a face da fratura, permitindo assim uma distribuição uniforme e acarretando no aumento e empacotamento da abertura. Na simulação com o *software* Meyer, muitos resultados mostraram um pico de concentração no meio da curva, distante do poço e, analisando estes resultados, uma possível interpretação seria que, como numa operação de *gravel pack*, o simulador utiliza a hipótese de ocorrência de ondas alfa e beta durante o bombeio do agente de sustentação para dentro da fratura, e os picos de concentração estimados pelo simulador são resultado do fechamento da fratura ainda durante a onda beta, antes de esta atingir o poço.

Com relação aos resultados obtidos nos simuladores comerciais, vale ressaltar que o *software* Stimplan apresentou na maioria dos casos valores de concentração, abertura e eficiência inferiores aos estimados pelo simulador Meyer, enquanto que os comprimentos de fratura previstos pelo simulador 3D foram em sua maioria maiores que os estimados pelo Meyer.

Vale ressaltar ainda que, apesar do estudo ter sido realizado em operações de *fracpack*, já que este foi o tipo de tratamento considerado por Valkó & Oligney, sua aplicação pode ser estendida para qualquer fraturamento com TSO.

#### **6.4. Recomendações**

O trabalho apresentado fornece uma ferramenta simples para a análise do comportamento da curva de pressão de fundo de uma operação de *fracpack* permitindo a compreensão da evolução dos parâmetros de comprimento, abertura e eficiência da fratura ao longo do tempo e obtendo uma boa estimativa inicial da curva de concentração ao longo do comprimento da fratura. O sucesso do modelo depende da validade das hipóteses assumidas, como o fato de que as inclinações positivas observadas devem ser resultado do bloqueio da propagação da fratura. Se os intervalos de tempo não satisfizerem este critério

ou se outros fenômenos mascararem este efeito, podem ser calculados valores errados de raios de empacotamento. De qualquer forma, o modelo apresentado pode ser considerado o primeiro passo na análise dos dados de pressão de uma operação de *fracpack*.

Dentre os dados de entrada necessários para o sucesso do modelo, está o conhecimento do coeficiente de filtração da formação, que no trabalho apresentado foi estimado por meio do ajuste de pressão no simulador Meyer. Desta forma, recomenda-se o estudo de outra forma de estimativa do coeficiente de filtração, diferente do ajuste de pressão, o que traria maior independência do modelo em relação aos simuladores comerciais. Uma sugestão seria o estudo de uma possível relação entre as inclinações positivas registradas na curva de pressão de fundo com o coeficiente de filtração.

Considerando que neste trabalho o modelo de Valkó & Oligney, desenvolvido para a geometria radial, foi expandido para as outras duas geometrias 2D de fratura, recomenda-se a expansão deste modelo para uma geometria 3D de fratura, sendo realizada sua aplicação na interpretação da curva de pressão de fundo de operações de *fracpack* e seus resultados comparados aos obtidos nos modelos desenvolvidos com as geometrias 2D e nos simuladores comerciais.