

## 8 Simulação e Análise dos Resultados

### 8.1. Simulação dos Sistemas de Produção em 850 m de Lâmina de Água

Neste cenário foram produzidas simulações objetivando a obtenção do maior nível de produção sem comprometer as condições de garantia de escoamento para um reservatório localizado a 3.000 metros de profundidade, tanto para o sistema de completação seca quanto para a completação molhada. Para isto, adotando o limite técnico de afastamento de 10.300 metros entre a unidade de produção e o objetivo (alvo) no reservatório, conforme abordado no capítulo 8, foram avaliados duas configurações de coluna de produção com completação seca. Para o mesmo valor de afastamento, simulou-se o escoamento com utilização de completação submarina, utilizando-se três configurações diferentes para os dutos (*flowlines* e *risers*).

#### 8.1.1. Sistema com Completação Seca

A primeira configuração avaliada, em conjunto com os dados que caracterizam o fluido (Tabela 6) e o reservatório (Tabela 7), empregou uma coluna de produção de 5 ½” de diâmetro externo (4,67” DI) para toda a extensão do poço, como dados de entrada no simulador MARLIM.

Como resultado da simulação, foram obtidos as seguintes condições de superfície:

Vazão na superfície.....: **2218 m<sup>3</sup>/d (13950 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **76,9 °C**

Objetivando aumentar a vazão, buscou-se a redução da perda de carga no sistema, modificando-se a configuração da coluna de produção e *riser*, com a adoção de um “liner” de 5 ½” no pé da coluna, enquanto o restante passou a

utilizar tubulação de 6 <sup>5</sup>/<sub>8</sub>” (diâmetro externo). Este “liner”, uma coluna curta de revestimento cujo topo fica ancorado um pouco acima da extremidade inferior do revestimento anterior, visa cobrir apenas a parte inferior do poço (parte aberta).

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest.				
1	Riser	200	5,921	8,681	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Riser	400	5,921	8,681	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Riser	250	5,921	8,681	90	5	4	Hagedorn & Brown
4	Poço c/ coluna	600	5,921	8,681	90	12	26,9	Hagedorn & Brown
5	Poço c/ coluna	80	5,921	8,681	90	1	29,9	Hagedorn & Brown
6	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	8,4	20	41,1	Beggs & Brill
7	Poço c/ coluna	500	5,921	8,681	8,4	5	43,9	Beggs & Brill
8	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	8,4	20	55	Beggs & Brill
9	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	8,4	20	66,2	Beggs & Brill
10	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	8,4	20	77,4	Beggs & Brill
11	Poço c/ coluna	1500	5,921	8,681	8,4	15	85,7	Beggs & Brill
12	Poço c/ coluna	70	4,67	8,681	8,4	15	86	Beggs & Brill
13	Poço c/ coluna	340	4,67	8,681	0	3	86	Beggs & Brill

Tabela 8 – Configuração do sistema de produção com completção seca - 850 m

Esta nova configuração, apresentada na Tabela 8, trouxe como benefício um aumento na produção do poço, da ordem de 65% com uma redução de temperatura de 1,08 °C, conforme abaixo:

Vazão na superfície.....: **3666 m<sup>3</sup>/d (23057 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **75,9 °C**

A fim de avaliar o comportamento do sistema ao final de sua vida produtiva, foi alterado o parâmetro referente ao nível de BSW. Com esta alteração, foram observados os seguintes resultados:

Vazão na superfície.....: **1379 m<sup>3</sup>/d (8673 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **80,7 °C**

A Figura 37 mostra a representação gráfica das condições de equilíbrio para fluxo, no início e fim da vida produtiva do reservatório.

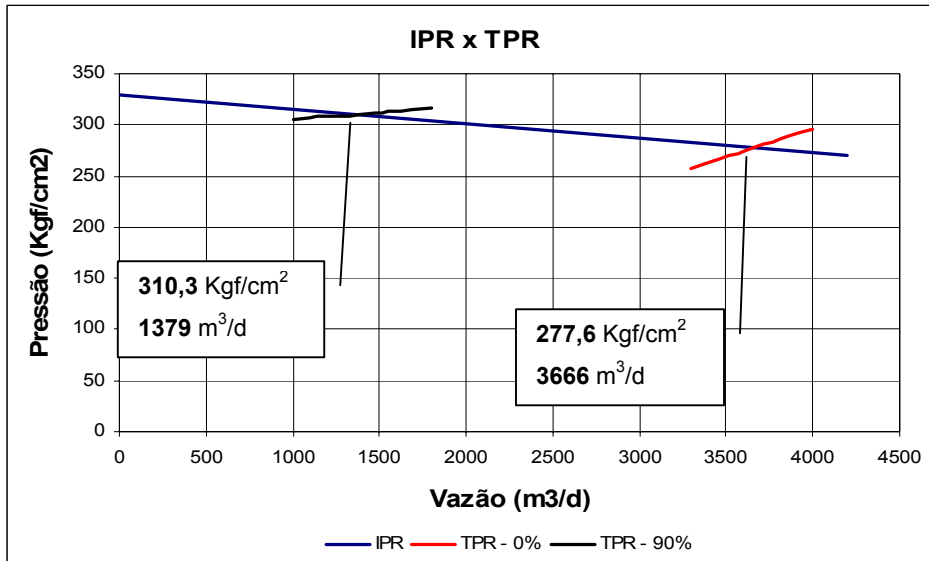


Figura 37- Condições de equilíbrio com completção seca – 850m

A Figura 38 mostra os perfis dos gradientes dinâmicos de pressão utilizando coluna de produção de 5 1/2” (DE) e coluna de 6 5/8” (DE).

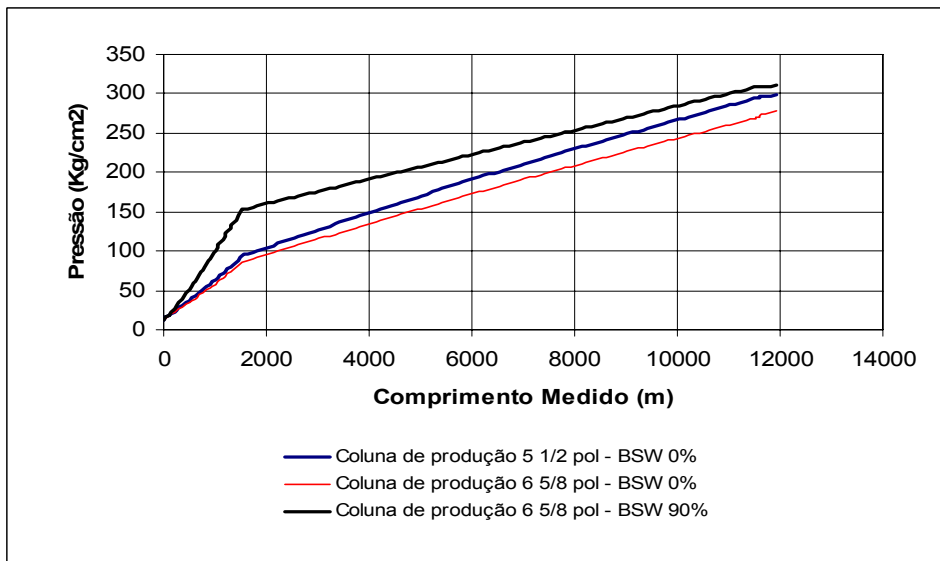


Figura 38- Curva de gradiente dinâmico de pressão na coluna de produção, com completção seca – 850m

Como era de se esperar, uma vez que ocorre a liberação progressiva de gás com a conseqüente redução da densidade do fluido na coluna, o gradiente dinâmico de pressão não é constante. Por esta razão, o gráfico da Figura 38 apresenta uma leve curvatura.

Afastamento – 10300 m							
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção	Riser	Total	
5 1/2” – BSW 0%	298,3	55,4	13,0	242,9	42,4	285,3	2218
6 5/8” – BSW 0%	277,6	51,0	13,0	226,6	38,0	264,6	3666
6 5/8” – BSW 90%	310,3	84,8	13,0	225,5	71,8	297,3	1379

Tabela 9- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completação seca – 850m

Como a pressão de fluxo de fundo do poço com coluna de 6 5/8” é menor que no caso onde se emprega coluna de produção de 5 1/2”, para a mesma pressão de reservatório, a configuração com coluna de 6 5/8” apresenta maior vazão, como esperado.

A Figura 39 mostra as curvas de gradientes de temperatura encontrados para as duas configurações avaliadas.

Pode-se observar que nas curvas representativas das condições de BSW 0%, os trechos equivalentes aos segmentos de tubulação com grande inclinação, ocorre um aumento da temperatura do fluido, ao contrário do que se esperava, intuitivamente. Tal fato decorre da alta vazão e conseqüente alta velocidade, resultando em alta fricção do fluido em fluxo e pequeno tempo de troca térmica com o ambiente externo, que apresenta alta temperatura.

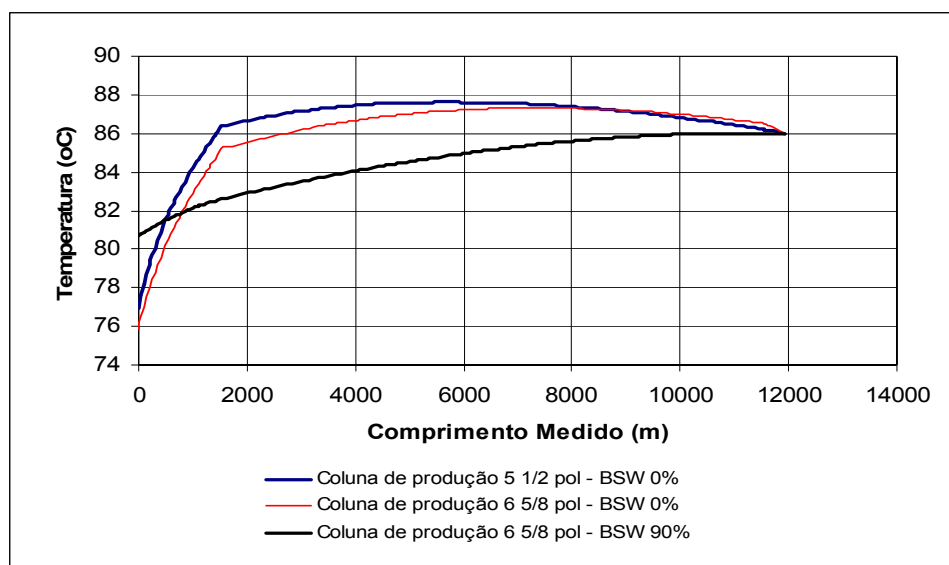


Figura 39- Curva de gradiente de temperatura na coluna de produção, com completação seca – 850m

A Tabela 10 mostra as variações de temperatura em dois segmentos específicos da trajetória do poço, ou seja, o segmento soterrado e o em contato com a água do mar. Pode-se observar que a principal parcela da variação de temperatura, nas condições de fluxo sem produção de água, ocorre no trecho *riser*, embora seja o menor. Tal fato deve-se, não somente à troca de calor com o meio ambiente, mas também à expansão do gás dissolvido no óleo produzido.

Afastamento – 10300 m						
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
	Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção (11090 m)	Riser (850 m)	Total
5 1/2" – BSW 0%	86	83,5	76,9	2,5	6,6	9,1
6 5/8" – BSW 0%	86	82,2	75,9	3,8	6,3	10,1
6 5/8" – BSW 90%	86	82,0	80,7	4,0	1,3	5,3

Tabela 10 – Variação da temperatura ao longo do sistema de produção – 850m

O gradiente de pressão dentro da coluna de produção, quando em fluxo, é o resultado da soma do gradiente devido à elevação, do gradiente devido à fricção e do gradiente devido à aceleração. Na prática, o gradiente devido à aceleração pode ser desprezado, sendo representativo somente em fluxos onde ocorre presença significativa de gás livre no interior da coluna de produção.

Para melhor entender o fenômeno relacionado à variação de temperatura nas duas curvas apresentadas anteriormente, foram realizadas simulações imprimindo duas alterações básicas no sistema: aplicação de níveis mínimos de atrito do fluido com a parede interna do tubo, através redução da rugosidade (tubo liso) e redução da condutividade térmica da tubulação, tornando o sistema adiabático.

Comparando os resultados da simulação do sistema com atrito mínimo, com os resultados iniciais, pudemos identificar a variação de temperatura que apresenta a fricção como principal fator.

Com a simulação do sistema com atrito mínimo e adiabático, isolou-se a parcela da variação de temperatura cuja principal causa é a expansão do gás dissolvido no fluido produzido.

Como consequência, a diferença entre os resultados obtidos com a primeira alteração imposta ao sistema (atrito mínimo) e a segunda (atrito mínimo e adiabático), fornece a parcela de calor que é trocada com o meio ambiente.

Os passos descritos acima foram repetidos com BSW de 90%. Os resultados são apresentados nas Tabelas 11 e 12. **Error! Reference source not found.** **Error! Reference source not found.** **Error! Reference source not found.**

Afastamento – 10300 m e Coluna de Produção – 6 <sup>5/8</sup> ”							
Momento da Vida do Reservatório	Premissas do Sistema	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
		Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção	Riser	Total
Início BSW 0%	Atrito Min.	86	79,5	72,5	6,5	7,00	13,5
	Atrito Min. Adiabático	86	82,9	76,7	3,1	6,2	9,3
Final BSW 90%	Atrito Min.	86	81,9	80,7	4,1	1,2	5,3
	Atrito Min. Adiabático	86	86,0	85,6	0,0	0,4	0,4

Tabela 11 – Variação da temperatura diante da alteração de características físicas do sistema de produção – 850m

Premissas do Sistema	Principal Causa da Variação de Temperatura	Queda de Temperatura (°C)		
		Coluna de Produção	Riser	Total
Início – BSW 0%	Efeito Joule-Thomson	3,1	6,2	9,3
	Troca com o Ambiente	3,4	0,8	4,2
	Ganho por Atrito	-2,7	-0,7	-3,4
	<b>Total</b>	<b>3,8</b>	<b>6,3</b>	<b>10,1</b>
Final – BSW 90%	Efeito Joule-Thomson	0,0	0,4	0,50
	Troca com o Ambiente	4,1	0,8	4,85
	Ganho por Atrito	-0,1	0,1	0,0
	<b>Total</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	<b>5,3</b>

Tabela 12 – Fatores causadores da variação da temperatura durante o fluxo em regime permanente – 850m

Diante dos resultados exibidos nas tabelas acima, pode-se constatar que no início da vida do reservatório, quando era grande a quantidade de gás em solução no fluido produzido, o efeito Joule-Thomson surgiu como a principal fonte de perda de temperatura, devido a expansão do gás originalmente dissolvido no óleo. Este efeito é maior no trecho onde ocorre maior redução da coluna hidrostática, ou seja, no trecho *riser*.

Já no final da vida do reservatório, com a reduzida quantidade de gás em solução no fluido produzido e expressiva produção de água, o aumento do peso da coluna de fluido influencia de forma relevante o diferencial de pressão na região produtora, que sofre uma redução com conseqüente queda na vazão. Com a

velocidade de escoamento do fluido sendo reduzida, aumenta o tempo de troca de calor entre fluido, tubulação e meio ambiente.

Da mesma forma que no caso anterior, a velocidade do fluido impacta de forma substancial na parcela de temperatura ganha devido ao atrito. Assim, no início da vida do reservatório, quando a vazão é maior, o efeito do atrito na variação de temperatura também é maior, com destaque para o trecho de maior extensão, ou seja, o trecho soterrado.

### 8.1.2. Sistema com Completação Molhada

Para promover a comparação com o sistema desenvolvido no item anterior, foi projetado um sistema com completção molhada, mantendo-se o mesmo afastamento de 10.300 m entre a plataforma e a zona produtora do poço. Da mesma forma que no item anterior, iniciou-se a análise com uma coluna de produção de 5 ½” e dutos de 6”. Os dados da configuração do sistema, em associação com as características do fluido (Tabela 6) e do reservatório (Tabela 7), serviram de dados de entrada no simulador MARLIM.

As seguintes condições de superfície foram obtidas:

Afastamento.....: **10.300 m**  
 Vazão na superfície.....: **2427 m<sup>3</sup>/d (15264 bbl/d)**  
 Temperatura do fluido na superfície.: **42,1 °C**

Num passo seguinte, como já utilizado anteriormente, a fim de reduzir-se a perda de carga no sistema, adotou-se uma coluna de produção no poço de 6 5/8” (diâmetro externo) com um “liner” de 5 ½” no pé da coluna. Mais uma vez, esta coluna curta de revestimento foi utilizada para cobrir apenas a parte inferior do poço (parte aberta).

A nova configuração, apresentada na Tabela 13, gerou um aumento na produção do poço, da ordem de 8% com uma redução na perda de temperatura de 1,74 °C, conforme abaixo:

Afastamento.....: **10.300 m**  
 Vazão na superfície.....: **2618 m<sup>3</sup>/d (16465 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **43,8 °C**

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest.				
1	Marítima	200	6,004	0	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Marítima	400	6,005	0	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Marítima	250	6,005	0	90	5	4	Hagedorn & Brown
4	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
5	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
6	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
7	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
8	Marítima	1162	6,006	0	0	12	4	Beggs & Brill
9	Poço c/ coluna	1000	5,921	8,681	90	20	42,1	Hagedorn & Brown
10	Poço c/ coluna	816	5,921	8,681	90	16	73,2	Hagedorn & Brown
11	Poço c/ coluna	473	5,921	8,681	45	10	86	Beggs & Brill
12	Poço c/ coluna	804	4,67	8,681	0	8	86	Beggs & Brill

Tabela 13 – Configuração do sistema de produção com completação molhada – 850m

Seguindo o mesmo procedimento adotado na análise do sistema com completação seca, foi alterado o parâmetro referente ao nível de BSW para avaliar o comportamento do sistema ao final de sua vida produtiva. Com esta alteração, foram observados os seguintes resultados:

Afastamento.....: **10.300 m**

Vazão na superfície.....: **1130 m<sup>3</sup>/d (7107 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **48,6 °C**

Afastamento – 10300 m									
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod.	Duto	Riser	Total	
5 1/2” – BSW 0%	295,3	114,1	50,3	13,0	181,2	63,8	37,3	282,3	<b>2427</b>
6 5/8” – BSW 0%	292,6	122,6	51,0	13,0	170,0	71,6	38,0	279,6	<b>2618</b>
6 5/8” – BSW 90%	313,9	94,2	80,3	13,0	219,7	13,9	67,3	300,9	<b>1130</b>

Tabela 14- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completação molhada – 850m

Como no sistema com completação seca, a pressão de fluxo no fundo do poço é menor com a utilização de coluna de 6 5/8” que com coluna de produção de 5 1/2”, para a mesma pressão de reservatório, resultando em maior vazão.



A seguir, buscou-se a configuração que proporcionava o máximo afastamento possível, mantendo a temperatura de chegada do fluido na plataforma, acima da temperatura de aparecimento de cristais.

A nova configuração, apresentada na Tabela 15, mostrou uma queda no nível de produção do poço, da ordem de 22%, conforme abaixo:

Afastamento.....: **18.189 m**

Vazão na superfície.....: **2056 m<sup>3</sup>/d (12931 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **20,1 °C**

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest.				
1	Marítima	200	6,004	0	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Marítima	400	6,005	0	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Marítima	250	6,005	0	90	5	4	Hagedorn & Brown
4	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
5	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
6	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
7	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
8	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
9	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
10	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
11	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
12	Marítima	1050	6,006	0	0	12	4	Beggs & Brill
13	Poço c/ coluna	1000	5,921	8,681	90	20	42,1	Hagedorn & Brown
14	Poço c/ coluna	816	5,921	8,681	90	16	73,2	Hagedorn & Brown
15	Poço c/ coluna	473	5,921	8,681	45	10	86	Beggs & Brill
16	Poço c/ coluna	804	4,67	8,681	0	8	86	Beggs & Brill

Tabela 15 – Configuração do sistema de produção com completação molhada e máximo afastamento – 850m

Seguindo a mesma seqüência de verificações utilizada na avaliação do sistema com completação seca, foram alterados os parâmetros referentes ao nível de BSW, para simular o comportamento do sistema ao final de sua vida produtiva. Esta configuração apresentou os seguintes resultados:

Afastamento.....: **18.189 m**

Vazão na superfície.....: **913 m<sup>3</sup>/d (5742 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **27,6 °C**

No intuito de verificar se haveria a possibilidade de aumentar a vazão, sem comprometer a temperatura, foram mantidos dutos com 6” no diâmetro interno do

trecho *riser* e 7” no diâmetro interno do trecho *flowline*. Esta configuração apresentou um ganho na vazão da ordem de 5%, devido à redução da perda de carga, porém com sensível aumento na queda da temperatura do fluido produzido, devido ao aumento da superfície de troca de calor no trecho *flowline*, fazendo com que o fluido atingisse temperatura bem abaixo temperatura de formação de parafina.

Afastamento – 18189 m									
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod.	Duto	Riser	Total	
6 5/8” – BSW 0%	300,6	133,6	56,3	13,0	167,0	77,3	43,3	287,6	<b>2056</b>
6 5/8” – BSW 90%	317,0	97,9	90,8	13,0	219,1	7,1	77,8	304,0	<b>913</b>

Tabela 16- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completção molhada e máximo afastamento – 850m

Na figura abaixo é apresentada a representação gráfica das condições de equilíbrio para fluxo, nas configurações avaliadas, com parâmetros representativos das condições iniciais e finais da vida do reservatório.

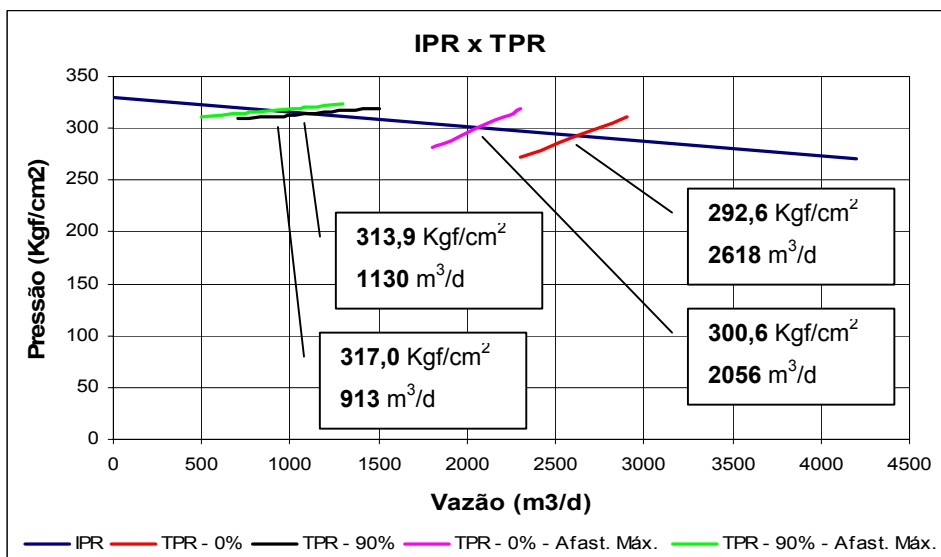


Figura 40- Condições de equilíbrio com completção molhada – 850m

Pode-se observar na Figura 41, onde são reunidas as curvas de gradiente dinâmico de pressão, nas condições descritas anteriormente, face ao relativamente curto trecho de coluna de 6 5/8" (DE), a redução da perda de carga, embora existente, não é muito expressiva.

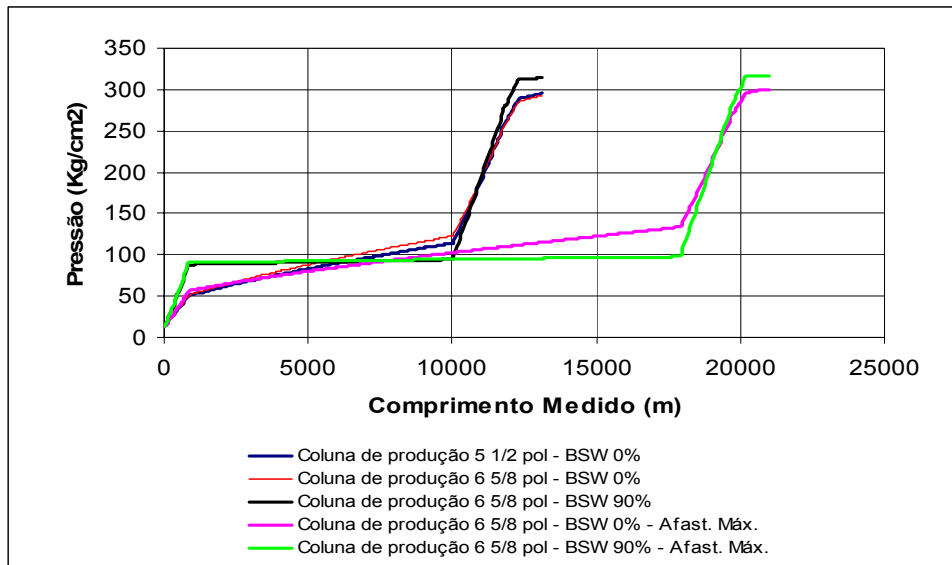


Figura 41- Curva de gradiente dinâmico de pressão na coluna de produção, com completação molhada – 850m

Um ponto que merece atenção é a diferença entre o perfil da pressão no final da vida produtiva do reservatório e os demais. Observa-se que o gradiente de queda de pressão no trecho horizontal, com 90% de BSW, é reduzido devido à baixa velocidade do fluido, decorrente da grande perda de carga ocorrida no trecho vertical correspondente à coluna de produção, associada a menor viscosidade do fluido, com pouca presença de gás e sensível influência no regime de escoamento.

A Figura 42 mostra as curvas de gradientes temperatura encontrados para as configurações com completação molhada avaliadas.

Observa-se que na curva representativa do final da vida do reservatório (BSW 90% - Afastamento Máximo), a queda de temperatura no trecho *riser* é menos acentuada que nas demais configurações. Tal fato é fruto da baixa quantidade de gás em solução no fluido produzido, devido à grande quantidade de água produzida, resultando em inexpressiva influência do efeito Joule-Thomson.

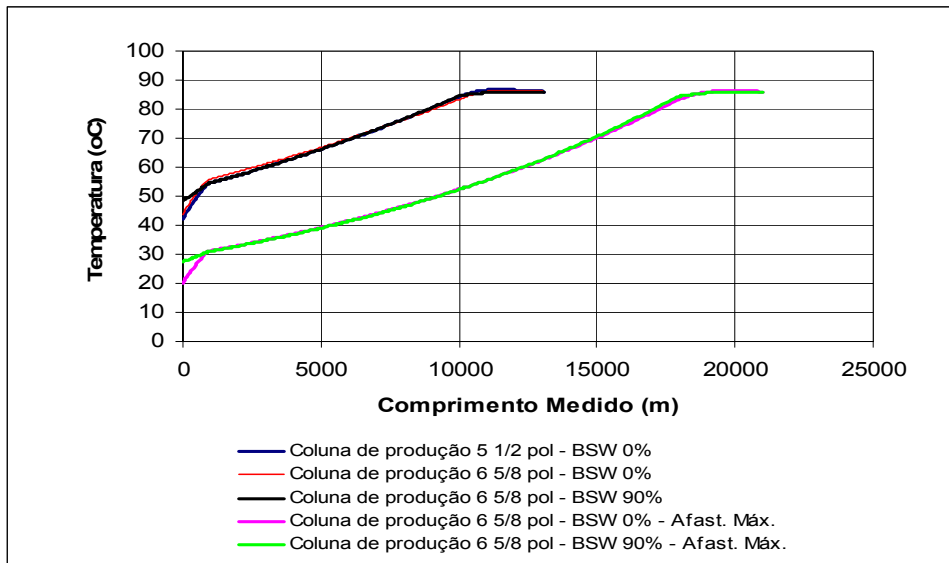


Figura 42- Curva de gradiente de temperatura na coluna de produção, com completção molhada – 850m

A Tabela 17 resume os dados de temperatura ao longo das trajetórias avaliadas.

Afastamento e BSW com Coluna de 6 5/8"	Temperatura (°C)				Queda de Temperatura (°C)			
	Resev.	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod. (3093m)	Duto	Riser (850m)	Total
<b>10300 m BSW 0%</b>	86	83,4	55,5	43,8	2,6	27,9	11,7	42,21
<b>10300 m BSW 90%</b>	86	84,6	54,1	48,6	1,4	30,5	5,5	37,4
<b>18189 m BSW 0%</b>	86	83,1	30,8	20,0	2,9	52,3	10,8	66,00
<b>18189 m BSW 90%</b>	86	84,3	30,7	27,6	1,7	53,6	3,1	58,38

Tabela 17 – Variação da temperatura ao longo do sistema de produção – 850m

Observa-se que a principal parcela da variação de temperatura deve-se a troca de calor com o meio ambiente. Assim, o trecho *flowline* é o principal responsável pela queda de temperatura do fluido, devido a sua maior exposição às baixas temperaturas do fundo do mar.

As Tabelas 18 e 19 resumem os dados de temperatura e produção obtidos nas diversas configurações simuladas, permitindo a comparação dos resultados e algumas conclusões preliminares.

Afastamento – 10300 m e Coluna de Produção – 6 5/8”							
BSW	Tipo de completação	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
		Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção e “flowlines”	Riser (850 m)	Total
Início - 0%	Seca	86	82,2	75,9	3,8	6,3	10,1
	Molhada	86	55,5	43,8	30,5	11,7	42,2
Fim - 90%	Seca	86	82,0	80,7	4,0	1,3	5,3
	Molhada	86	54,1	48,6	31,9	5,5	37,4

Tabela 18 – Comparação da variação da temperatura ao longo do sistema - 850m

Momento da Vida do Reservatório	Tipo de completação	Afastamento (m)	Temperatura na Plataforma (°C)	Produção (m3/dia)
Início - 0%	Seca	10.300	75,9	3666
	Molhada	10.300	43,8	2618
	Molhada	18189	20,0	2056
Fim - 90%	Seca	10.300	80,7	1379
	Molhada	10.300	48,6	1130
	Molhada	18189	27,6	913

Tabela 19 – Comparação das temperaturas e volumes de produção na plataforma – 850m

Diante dos resultados mostrados na Tabelas 19, pode-se constatar que a 850 m de lâmina de água, a completação seca promove vantagens em termos de isolamento térmico e perda de carga, resultando em volumes maiores de produção. Entretanto, a completação molhada possibilita a produção de regiões do reservatório que estariam fora dos limites de alcance da perfuração de grande afastamento, considerando-se os parâmetros geológicos normalmente encontrados no litoral Brasileiro.

## 8.2.

### Simulação dos Sistemas de Produção em 1550 m de Lâmina de Água

Neste cenário foram produzidas simulações visando a produção de um reservatório localizado a 3.000 metros de profundidade, com um sistema de completação seca e um sistema de completação molhada. Foi adotado o limite

técnico de afastamento de 7.300 metros entre a unidade de produção e o objetivo (alvo) no reservatório, conforme abordado no capítulo 7.

Com base na experiência adquirida nas simulações do item 8.1, foi adotada uma única configuração de coluna de produção com completação seca. Para o mesmo valor de afastamento entre a plataforma e a zona produtora do poço, simulou-se o fluxo com utilização de completação submarina com dutos de produção de 6” (diâmetro interno) para os *flowlines* e *risers*.

### 8.2.1. Sistema com Completação Seca

A Tabela 20 apresenta os dados que associados com as características do fluido (Tabela 6) e do reservatório (Tabela 7), foram utilizados como dados de entrada no simulador MARLIM.

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest				
1	Riser	200	5,921	8,681	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Riser	400	5,921	8,681	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Riser	950	5,921	8,681	90	19	4	Hagedorn & Brown
4	Poço c/ coluna	700	5,921	8,681	90	14	37,77	Hagedorn & Brown
5	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	6,2	20	48,19	Beggs & Brill
6	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	6,2	20	58,61	Beggs & Brill
7	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	6,2	20	69,03	Beggs & Brill
8	Poço c/ coluna	900	5,921	8,681	6,2	9	73,72	Beggs & Brill
9	Poço c/ coluna	53	5,921	8,681	6,2	1	74	Beggs & Brill
10	Poço c/ coluna	88	4,67	8,681	0	1	74	Beggs & Brill
11	Poço c/ coluna	300	4,67	8,681	0	3	74	Beggs & Brill

Tabela 20 – Configuração do sistema de produção com completação seca – 1500m

A simulação empregou uma coluna de produção de 6 <sup>5</sup>/<sub>8</sub>” de diâmetro externo (5,921” DI), que resultou nas seguintes condições de superfície:

Vazão na superfície.....: **4231 m<sup>3</sup>/d (26610 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **64,6 °C**

Para avaliar o comportamento do sistema ao final de sua vida produtiva, foi alterado o parâmetro referente ao nível de BSW para 90%. Com esta alteração, foram observados os seguintes resultados:

Vazão na superfície.....: **1332 m<sup>3</sup>/d (8377 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **70,2 °C**

A Figura 43 mostra a representação gráfica das condições de equilíbrio para fluxo, no início e fim da vida do reservatório.

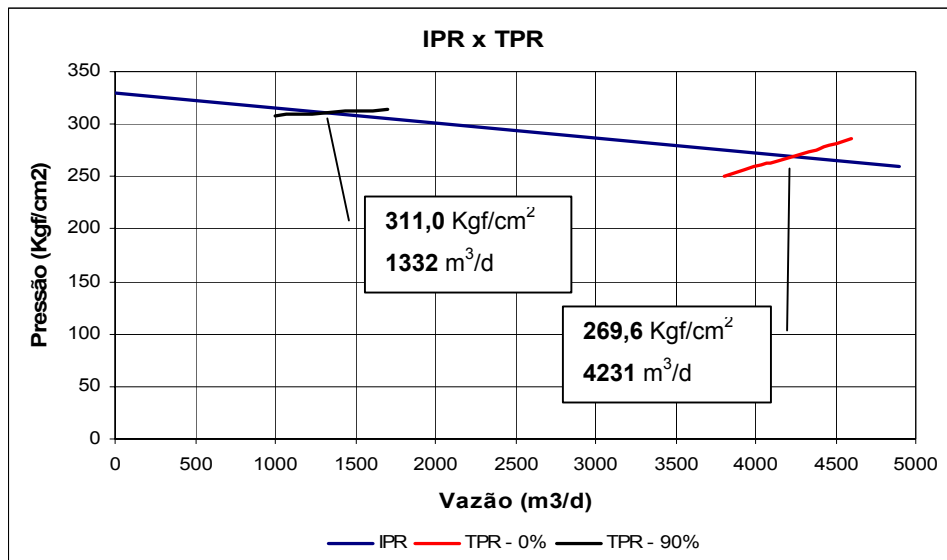


Figura 43- Condições de equilíbrio com completação seca – 1550m

A Figura 44 mostra as curvas de gradientes dinâmicos de pressão utilizando coluna de produção de 6 5/8” (DE).

Como ocorrido na configuração com completação seca a 850 m de lâmina de água, a liberação progressiva de gás com a conseqüente redução da densidade do fluido na coluna, faz com que o gradiente dinâmico de pressão não seja constante. Por este motivo, o gráfico da Figura 44 apresenta uma leve curvatura.

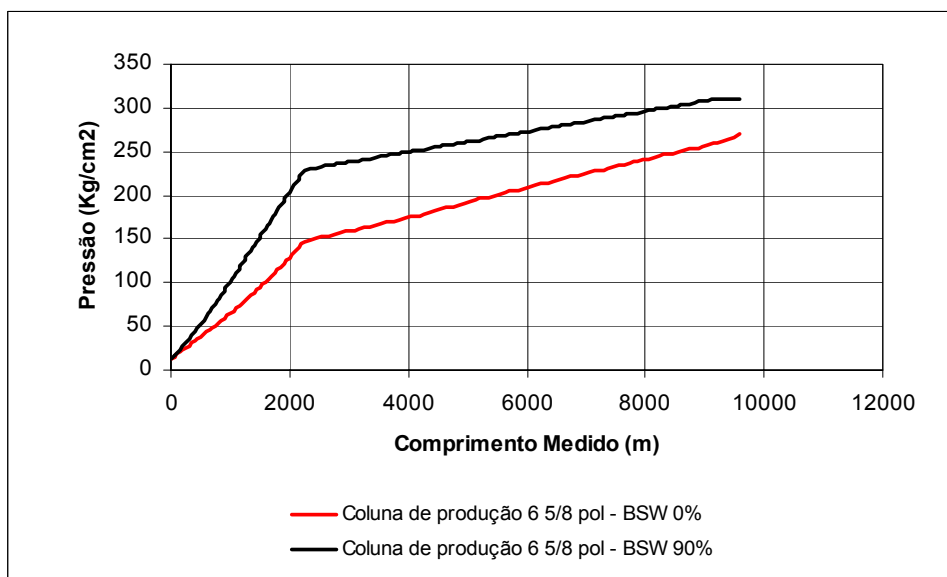


Figura 44- Curva de gradiente dinâmico de pressão na coluna de produção, com completação seca – 1550m

Afastamento – 7300 m							
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção	Riser	Total	
6 5/8" – BSW 0%	269,6	97,7	13,0	171,9	84,7	256,6	4231
6 5/8" – BSW 90%	311,0	156,9	13,0	154,1	143,9	298,0	1332

Tabela 21- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completção seca – 1550m

A Figura 45 mostra as curvas de gradientes temperatura encontrados para a configuração avaliada.

Pode ser observado que na curva referente ao BSW 0%, o trecho correspondente a tubulação com grande inclinação, ocorre um aumento da temperatura do fluido, decorrente da alta vazão e conseqüente alta velocidade, resultando em alta fricção do fluido em fluxo e pequeno tempo de troca térmica com o ambiente externo.

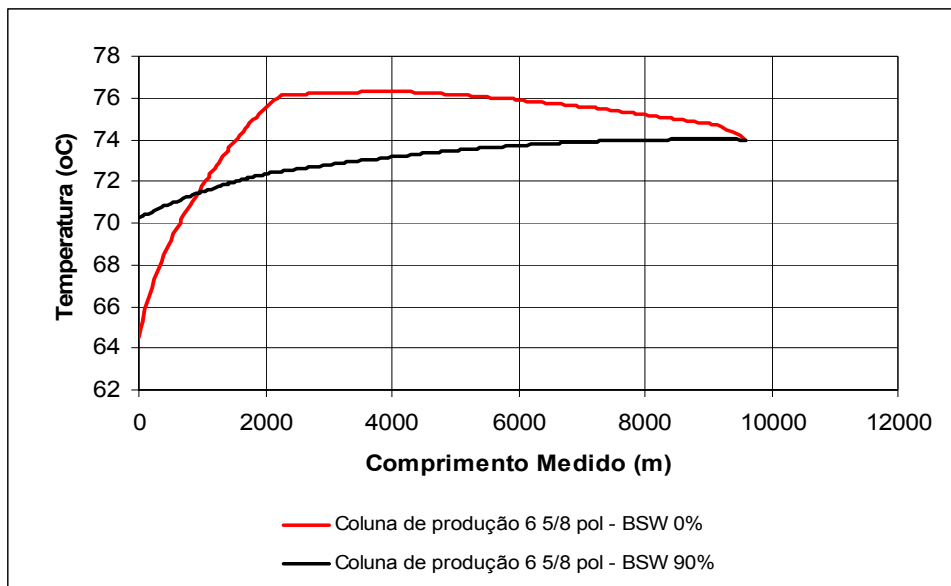


Figura 45- Curva de gradiente de temperatura na coluna de produção, com completção seca – 1550m

A Tabela 22 mostra as variações de temperatura em dois segmentos específicos da trajetória do poço (segmento soterrado e segmento em contato com a água do mar). Observa-se que a principal parcela da variação de temperatura,



nas condições de fluxo sem produção de água, como no cenário de 850 m de profundidade, ocorre no trecho *riser*.

Afastamento – 7300 m						
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
	Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção (8041 m)	Riser (1550 m)	Total
6 5/8" – BSW 0%	74	74,1	64,6	-0,1	9,5	9,4
6 5/8" – BSW 90%	74	72,0	70,2	2,0	1,8	3,8

Tabela 22 – Variação da temperatura ao longo do sistema de produção – 1550m

O perfil de variação de temperatura apresentado na Tabela 22, como no cenário com profundidade de água de 850 m, é refletido o fato que no início da vida do reservatório, com somente óleo sendo produzido, o efeito Joule-Thomson é o principal fator responsável pela fonte de perda de temperatura, com a expansão do gás originalmente dissolvido no óleo. Este fenômeno pode ser bem percebido no trecho *riser*, onde ocorre maior redução da coluna hidrostática.

Ao final da vida produtiva do reservatório, o aumento da produção de água e conseqüente elevação do peso da coluna de fluido exercem grande efeito sobre o diferencial de pressão na região produtora, fazendo com que esta sofra redução, resultando em queda de vazão. A velocidade de escoamento do fluido, sendo reduzida, aumenta o tempo de troca térmica entre fluido, tubulação e meio ambiente.

Outro aspecto relevante é o ganho de temperatura devido ao atrito. No início da vida do reservatório, quando a vazão é maior, o efeito do atrito na variação de temperatura também é maior, principalmente no trecho soterrado, onde é menor a troca de calor com o meio ambiente, que apresenta temperaturas mais elevadas.

### 8.2.2. Sistema com Completação Molhada

Para promover a comparação com o sistema desenvolvido no item anterior, foi projetado um sistema com completção molhada, mantendo-se o mesmo afastamento de 7.300 m entre a plataforma e a zona produtora do poço. A Tabela 24 apresenta os dados referentes ao sistema em questão, que associados com as

características do fluido (Tabela 6) e do reservatório (Tabela 7), serviram de dados de entrada no simulador MARLIM.

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest				
1	Marítima	200	6,004	0	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Marítima	400	6,005	0	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Marítima	950	6,005	0	90	19	4	Hagedorn & Brown
4	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
5	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
6	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
7	Marítima	162	6,006	0	0	1	4	Beggs & Brill
8	Poço c/ coluna	1000	5,921	8,681	90	20	52,26	Hagedorn & Brown
9	Poço c/ coluna	116	5,921	8,681	90	2	57,86	Hagedorn & Brown
10	Poço c/ coluna	473	5,921	8,681	45	10	74	Beggs & Brill
11	Poço c/ coluna	804	4,67	8,681	0	8	74	Beggs & Brill

Tabela 23 – Configuração do sistema de produção com completação molhada – 1550m

Nesta nova configuração, empregou-se uma coluna de produção no poço de 6 <sup>5</sup>/<sub>8</sub>” (diâmetro externo), “liner” de 5 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>” no pé da coluna e dutos de produção de 6”, resultando nas seguintes condições de superfície:

Afastamento.....: **7.300 m**

Vazão na superfície.....: **3287 m<sup>3</sup>/d (20673 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **42,7 °C**

Alterando o parâmetro referente ao nível de BSW para 90%, para avaliar o comportamento do sistema ao final de sua vida produtiva, foram observados os seguintes resultados:

Afastamento.....: **7.300 m**

Vazão na superfície.....: **1081 m<sup>3</sup>/d (6799 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **43,5 °C**

A fim de verificar se haveria a possibilidade de aumentar a vazão sem comprometer a temperatura, o diâmetro interno do trecho *riser* foi alterado para 8”, enquanto o diâmetro interno do trecho *flowline* era mantido com 6”. Esta configuração apresentou um ganho na vazão da ordem de 8%, devido à redução da perda de carga, porém foi constatada um aumento na queda da temperatura do fluido produzido, na ordem de 4%, resultando nas seguintes condições de superfície:

Afastamento.....: **7.300 m**  
 Vazão na superfície.....: **3547 m<sup>3</sup>/d (22308 bbl/d)**  
 Temperatura do fluido na superfície.: **41,0 °C**

Com a alteração do nível de BSW para 90%, foi observada uma queda na vazão da ordem de 15%, quando comparada à mesma condição com uso de riser de 6", enquanto a temperatura sofreu uma redução de cerca de 18%, conforme abaixo:

Afastamento.....: **7.300 m**  
 Vazão na superfície.....: **924 m<sup>3</sup>/d (5811 bbl/d)**  
 Temperatura do fluido na superfície.: **35,5 °C**

Esta configuração mereceria um estudo mais detalhado, para avaliar o impacto na economicidade do projeto, gerado pelo aumento da produção no início da vida do campo, contra a queda mais acentuada ao final da vida produtiva do mesmo.

A tabela seguinte, apresenta os principais valores de pressão e temperatura obtidos na configuração com *riser* e *flowline* de 6".

Afastamento – 7300 m									
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod.	Duto	Riser	Total	
6 5/8" – BSW 0%	283,0	154,1	96,9	13,0	128,9	57,2	83,9	270,0	<b>3287</b>
6 5/8" – BSW 90%	314,6	164,2	161,1	13,0	150,4	3,1	148,1	301,6	<b>1081</b>

Tabela 24- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completação molhada – 1550m

Como no cenário mais raso, deslocou-se a cabeça de poço até que fosse atingido o limite máximo de afastamento, com a temperatura de chegada do fluido na plataforma, em condições que não permitissem a formação de parafina.

A nova configuração, apresentada na Tabela 25, mostrou uma queda na vazão do poço, da ordem de 23%, conforme segue:

Afastamento.....: **16.189 m**  
 Vazão na superfície.....: **2537 m<sup>3</sup>/d (15956 bbl/d)**  
 Temperatura do fluido na superfície.: **20,1 °C**

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest.				
1	Marítima	200	6,004	0	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Marítima	400	6,005	0	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Marítima	950	6,005	0	90	19	4	Hagedorn & Brown
4	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
5	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
6	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
7	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
8	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
9	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
10	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
11	Marítima	1050	6,006	0	0	10	4	Beggs & Brill
12	Poço c/ coluna	1000	5,921	8,681	90	20	52,26	Hagedorn & Brown
13	Poço c/ coluna	116	5,921	8,681	90	2	57,86	Hagedorn & Brown
14	Poço c/ coluna	473	5,921	8,681	45	10	74	Beggs & Brill
15	Poço c/ coluna	804	4,67	8,681	0	8	74	Beggs & Brill

Tabela 25 – Configuração do sistema de produção com completação molhada e máximo afastamento – 1550m

Em seguida, alterando o parâmetro referente ao nível de BSW, para 90%, realizou-se uma verificação das condições de fluxo.

Afastamento.....: **16189 m**  
 Vazão na superfície.....: **794 m<sup>3</sup>/d (4994 bbl/d)**  
 Temperatura do fluido na superfície.: **21,3 °C**

Afastamento – 16189 m									
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod.	Duto	Riser	Total	
6 5/8” – BSW 0%	293,8	170,7	104,3	13,0	123,1	66,4	91,3	280,8	<b>2538</b>
6 5/8” – BSW 90%	318,7	169,1	164,9	13,0	149,6	4,2	151,9	305,7	<b>794</b>

Tabela 26- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completação molhada e máximo afastamento – 1550m

Na Figura 46 é apresentada a representação gráfica das condições de equilíbrio para fluxo, nas configurações avaliadas, com parâmetros representativos das condições iniciais e finais da vida do reservatório.

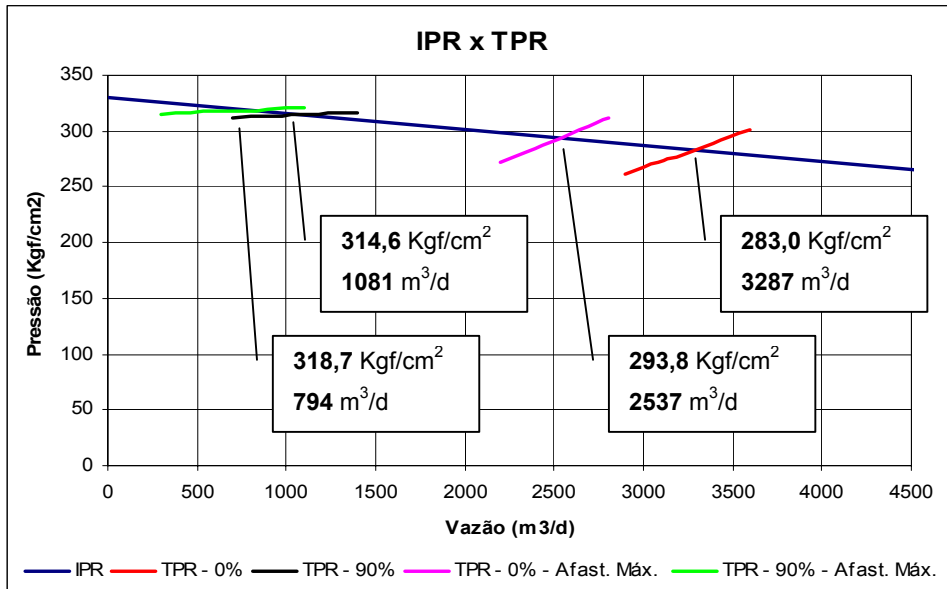


Figura 46- Condições de equilíbrio com completção molhada – 1550m

A Figura 47 mostra as curvas de gradientes dinâmicos de pressão, nas condições descritas anteriormente.

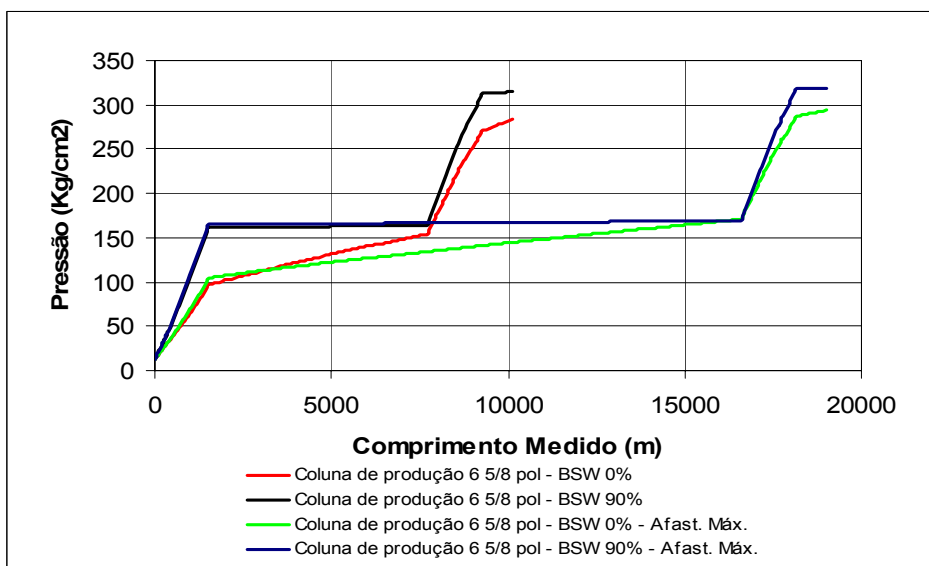


Figura 47- Curva de gradiente dinâmico de pressão na coluna de produção, com completção molhada – 1550m

O gradiente de queda de pressão no trecho horizontal, com 90% de BSW, é reduzido devido à baixa velocidade do fluido e pouca presença de gás.

A Figura 48 mostra as curvas de gradientes temperatura encontrados para as configurações com completação molhada avaliadas.

Como no cenário de 850 m, observa-se que no segmento do gráfico (BSW de 90%) correspondente ao trecho das linhas de fluxo no leito marinho, ocorre uma queda da temperatura do fluido, mais acentuada que nas demais configurações, devido à baixa vazão decorrente da elevada perda de carga, com aumento do tempo de troca de calor do fluido com o meio ambiente.

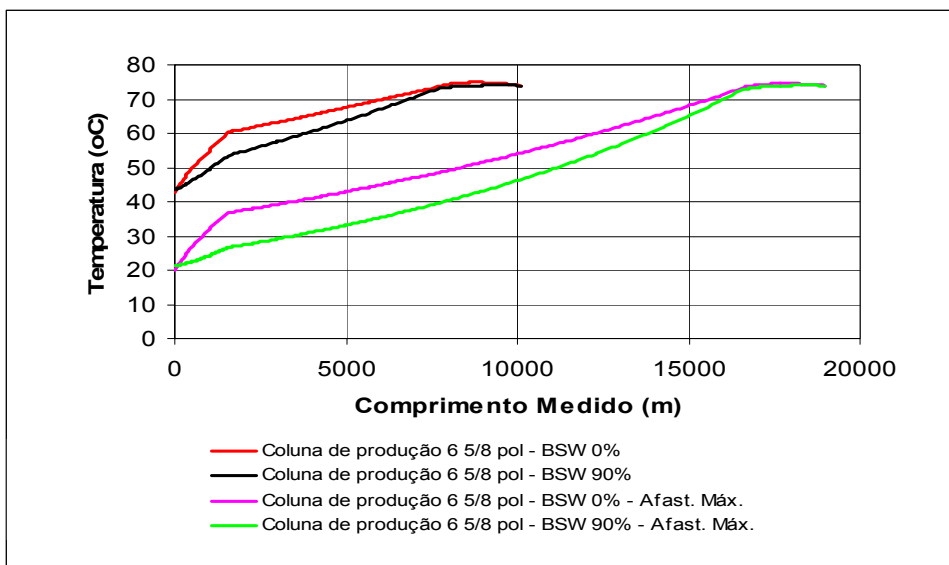


Figura 48- Curva de gradiente de temperatura na coluna de produção, com completação molhada – 1550m

A Tabela 27 resume os dados de temperatura ao longo das trajetórias avaliadas.

Afastamento e BSW com Coluna de 6 5/8"	Temperatura (°C)				Queda de Temperatura (°C)			
	Resev.	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod. (2393m)	Duto	Riser (850m)	Total
<b>7300 m BSW 0%</b>	74	73,7	60,3	42,7	0,3	13,4	17,6	31,3
<b>7300 m BSW 90%</b>	74	73,2	53,5	43,5	0,8	19,7	10,0	30,5
<b>16189 m BSW 0%</b>	74	73,4	36,8	20,0	0,6	36,6	16,8	54,0
<b>16189 m BSW 90%</b>	74	72,9	26,6	21,3	1,1	46,3	5,3	52,7

Tabela 27 – Variação da temperatura ao longo do sistema de produção – 1550m

As Tabelas 28 e 29 resumem os dados de temperatura e produção obtidos nas diversas configurações simuladas, permitindo a comparação dos resultados e algumas conclusões.

Afastamento – 7300 m e Coluna de Produção – 6 5/8”							
BSW	Tipo de completação	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
		Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção e “flowlines”	Riser (1550 m)	Total
Início - 0%	Seca	74	74,1	64,6	-0,1	9,5	9,4
	Molhada	74	60,3	42,7	13,7	17,6	31,3
Fim - 90%	Seca	74	72,0	70,2	2,0	1,8	3,8
	Molhada	74	53,5	43,5	20,5	10,0	30,5

Tabela 28 – Comparação da variação da temperatura ao longo do sistema - 1550m

Momento da Vida do Reservatório	Tipo de completação	Afastamento (m)	Temperatura na Plataforma (°C)	Produção (m3/dia)
Início – 0%	Seca	7.300	64,6	4231
	Molhada	7.300	42,7	3287
	Molhada	16189	20,0	2537
Fim – 90%	Seca	7.300	70,2	1332
	Molhada	7.300	43,5	1081
	Molhada	16189	21,3	794

Tabela 29 – Comparação das temperaturas e volumes de produção na plataforma – 1550m

Os resultados mostrados na Tabela 29 ratificam a conclusão que, para 1.550 m de lâmina de água, a completção seca promove vantagens, tanto no que se refere ao isolamento térmico, quanto à perda de carga.

Na configuração com completção molhada, para o mesmo afastamento limite da completção seca, a temperatura do fluido ao nível da plataforma, apresentou uma redução de 33,9%, com a vazão caindo 22,3%. Porém, a completção molhada permite a drenagem de áreas mais distantes do reservatório.

### 8.3.

#### Simulação dos Sistemas de Produção em 2300 m de Lâmina de Água

Neste cenário foram realizadas simulações utilizando um poço com sistema de completação seca e um sistema de completação molhada, produzindo um reservatório localizado a 3.200 metros de profundidade. Foi adotado o limite técnico de afastamento de 5.300 metros entre a unidade de produção e o objetivo (alvo) no reservatório, conforme abordado no capítulo 8. Como no item anterior, foi adotada uma única configuração de coluna de produção de 6 5/8” (diâmetro externo) e “liner” de 5 1/2” no pé da mesma, para a completação seca. Para configurar o sistema com completação submarina foi utilizado mesmo valor de afastamento, entre a unidade de produção e a zona produtora do poço, usando linhas de fluxo de 6” (diâmetro interno) para os *flowlines* e *risers*.

#### 8.3.1.

##### Sistema com Completção Seca

A Tabela 30 apresenta os dados que, mais uma vez, combinados com as características do fluido (Tabela 6) e do reservatório (Tabela 7), foram utilizados como dados de entrada no simulador MARLIM.

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest				
1	Riser	200	5,921	8,681	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Riser	400	5,921	8,681	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Riser	1000	5,921	8,681	90	20	4	Hagedorn & Brown
4	Riser	700	5,921	8,681	90	14	4	Hagedorn & Brown
5	Poço c/ coluna	590	5,921	8,681	90	12	43,95	Hagedorn & Brown
6	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	3,6	20	52,46	Beggs & Brill
7	Poço c/ coluna	2000	5,921	8,681	3,6	20	60,96	Beggs & Brill
8	Poço c/ coluna	950	5,921	8,681	3,6	10	65	Beggs & Brill
9	Poço c/ coluna	60	4,67	8,681	0	1	65	Beggs & Brill
10	Poço c/ coluna	300	4,67	8,681	0	3	65	Beggs & Brill

Tabela 30 – Configuração do sistema de produção com completação seca – 2300m

Esta configuração adotando coluna de produção de 6 5/8” de diâmetro externo (5,921” DI) e liner de 5 1/2” (diâmetro externo), resultou nas seguintes condições de superfície:



Afastamento.....: **5.300 m**  
 Vazão na superfície.....: **4142 m<sup>3</sup>/d (26050 bbl/d)**  
 Temperatura do fluido na superfície.: **54,4 °C**

Para a mesma arquitetura do sistema, foram verificadas as condições de temperatura e vazão utilizando BSW de 90%, correspondentes ao final da vida do reservatório. Nestas condições, a simulação não apresentou fluxo no nível da plataforma de produção, devido à elevada perda de carga, decorrente do peso da água.

A Figura 49 mostra a representação gráfica das condições de equilíbrio para fluxo, no início do reservatório e a curva TPR do sistema com BSW de 90%. Observa-se que esta última curva não intercepta a IPR, resultando em ausência de fluxo, sem que seja empregado algum método de elevação artificial.

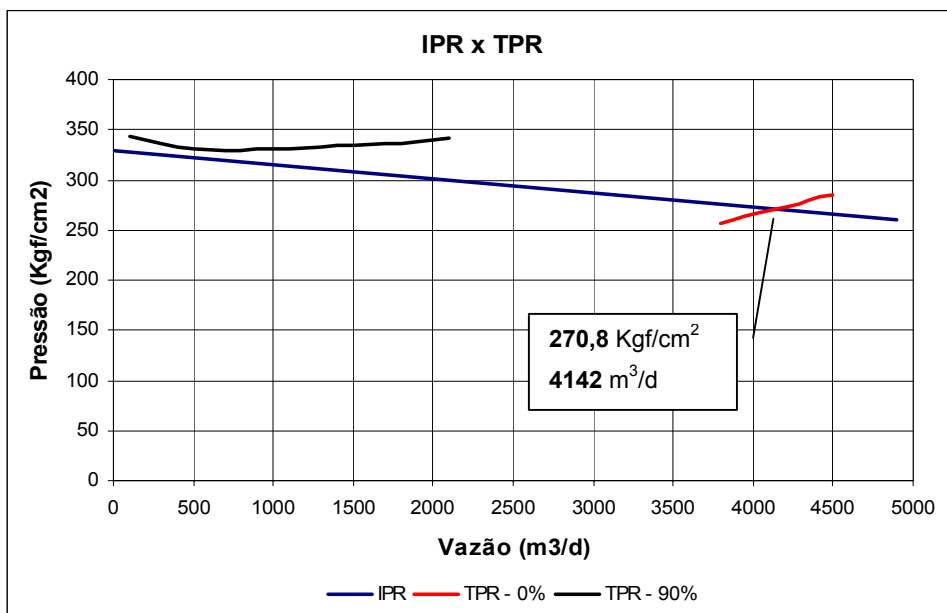


Figura 49- Condições de equilíbrio com completação seca – 2300m

A Figura 50 mostra a curva de gradiente dinâmico de pressão utilizando coluna de produção de 6 5/8” (DE) em condições iniciais de produção do campo.

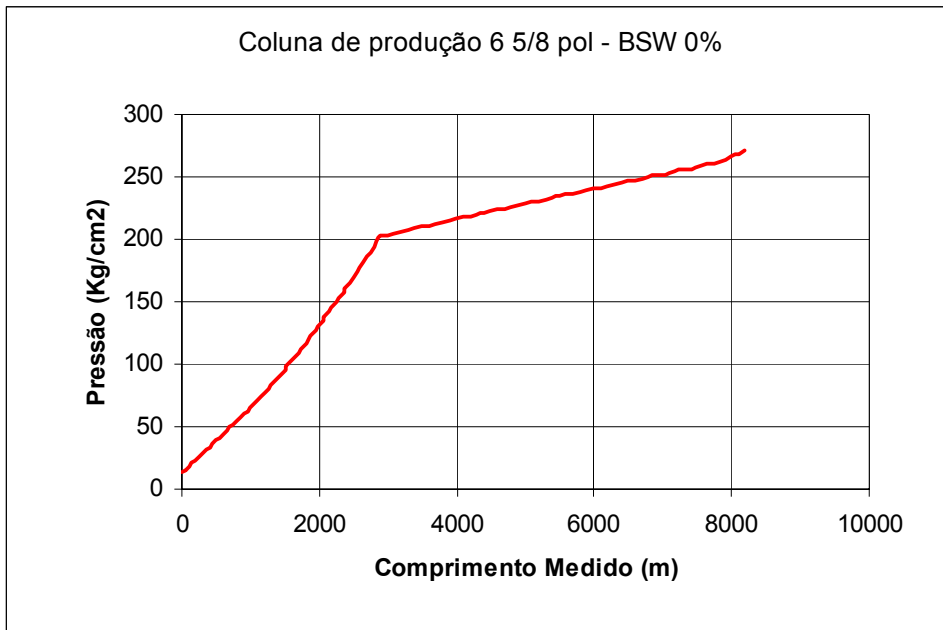


Figura 50- Curva de gradiente dinâmico de pressão na coluna de produção, com completção seca – 2300m

A tabela abaixo apresenta os valores de pressão e as variações nos principais pontos do sistema.

Afastamento – 5300 m							
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção	Riser	Total	
6 5/8" – BSW 0%	270,8	154,2	13,0	116,6	141,2	257,8	4142
6 5/8" – BSW 90%	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 31- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completção seca – 2300m

A Figura 51 mostra a curva de gradiente temperatura encontrada para a as condições iniciais do reservatório. Como nos demais cenários empregando completção seca, a curva representativa da condição de BSW 0% apresenta um aumento da temperatura do fluido, na região correspondente ao trecho de grande inclinação, da trajetória do poço. Mais uma vez, o fenômeno é decorrente da fricção do fluido em fluxo, devido à alta vazão e pequeno tempo de troca térmica com o ambiente externo, que apresenta alta temperatura.

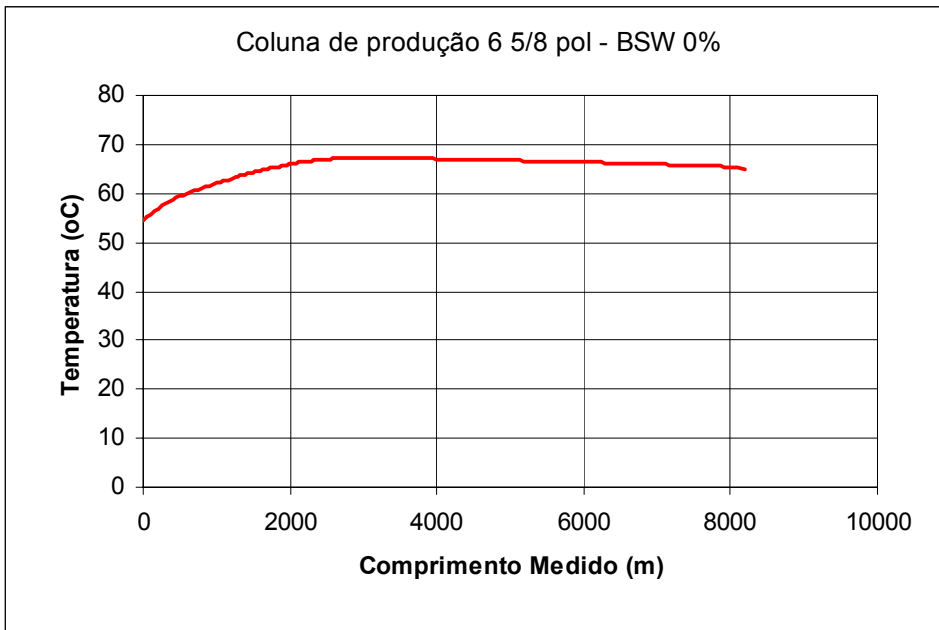


Figura 51- Curva de gradiente de temperatura na coluna de produção, com completção seca – 2300m

A tabela abaixo apresenta as variações de temperatura nos principais pontos do sistema. Observa-se que o trecho *riser* é o principal responsável pela queda de temperatura do fluido.

Afastamento – 5300 m						
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
	Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção (5900 m)	Riser (2300 m)	Total
6 5/8" – BSW 0%	65	66,6	54,4	-1,6	12,2	10,6
6 5/8" – BSW 90%	-	-	-	-	-	-

Tabela 32 – Variação da temperatura ao longo do sistema de produção – 2300m

Os resultados apresentados na Tabelas 32 podem ser justificados pelo fato que no início da vida do reservatório, quando o fluido produzido não continha água, o efeito Joule-Thomson era a principal fonte de perda de temperatura, com a expansão do gás originalmente dissolvido no óleo. Este efeito é maior no trecho *riser*, onde ocorre maior redução da coluna hidrostática.

Já no trecho quase horizontal, onde a temperatura da formação sofre relativamente pouca redução, com conseqüente baixa troca de calor para o meio, o atrito exerce grande efeito na temperatura do fluido, provocando sua elevação.

No final da vida do reservatório, com o aumento da produção de água e conseqüente elevação do peso da coluna de fluido, deixa de existir um diferencial de pressão na região produtora, que permita fluxo do reservatório para o poço. Assim, a produção só poderia ser mantida caso fosse adotado um sistema de elevação artificial.

### 8.3.2. Sistema com Completação Molhada

Como nos cenários anteriores, foi projetado um sistema com completação molhada, mantendo-se o mesmo afastamento entre a plataforma e a zona produtora do poço, que na lâmina de água de 2.300m foi definido como sendo 5.300 m. A Tabela 33 apresenta os dados referentes ao sistema em questão, que combinado com as características do fluido (Tabela 6) e do reservatório (Tabela 7), serviram de dados de entrada no simulador MARLIM.

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest				
1	Marítima	200	6,004	0	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Marítima	400	6,005	0	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Marítima	700	6,005	0	90	14	4	Hagedorn & Brown
4	Marítima	1000	6,005	0	90	20	4	Hagedorn & Brown
5	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
6	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
7	Marítima	161	6,006	0	0	4	4	Beggs & Brill
8	Poço c/ coluna	565	5,921	8,681	90	12	42,26	Hagedorn & Brown
9	Poço c/ coluna	475	5,921	8,681	45	10	65	Beggs & Brill
10	Poço c/ coluna	804	4,67	8,681	0	5	65	Beggs & Brill

Tabela 33 – Configuração do sistema de produção com completação molhada – 2300m

Mais uma vez foi utilizada uma coluna de produção de 6 <sup>5</sup>/<sub>8</sub>” (diâmetro externo), “liner” de 5 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>” no pé da coluna e linhas de fluxo de 6”, resultando nas seguintes condições de superfície:

Afastamento.....: **5.300 m**

Vazão na superfície.....: **3431 m<sup>3</sup>/d (21579 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **35,3 °C**

Aplicando-se o nível de BSW correspondente ao final da vida produtiva do reservatório, foram verificadas as condições de produção do sistema. Como

ocorrido com o sistema de completação seca, não ocorreu fluxo na plataforma, devido à elevada perda de carga, gerada pelo peso da coluna de água produzida.

Afastamento – 5300 m									
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod.	Duto	Riser	Total	
6 5/8” – BSW 0%	281,0	192,4	159,8	13,0	88,6	32,6	151,0	146,8	<b>3431</b>
6 5/8” - BSW 90%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 34- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completação molhada – 2300m

Como nos cenários mais rasos, para BSW igual a 0%, deslocou-se a cabeça de poço até que fosse atingido o limite máximo de afastamento, sem que temperatura do fluido ao longo do sistema ficasse abaixo da temperatura de formação de parafina.

Esta configuração apresentou uma redução na produção de 21% com relação a configuração anterior, conforme dados abaixo:

Afastamento.....: **11710 m**

Vazão na superfície.....: **2725 m<sup>3</sup>/d (17138 bbl/d)**

Temperatura do fluido na superfície.: **20,0 °C**

A arquitetura deste último sistema avaliado foi resumida na Tabela 35.

UN	Natureza	Compr. Medido [m]	Diâmetro[pol]		Ângulo c/ Horiz [grau]	Nº de Tramos	T.Mon Amb [°C]	Correlação
			Tubo	Revest.				
1	Marítima	200	6,004	0	90	4	15	Hagedorn & Brown
2	Marítima	400	6,005	0	90	8	7	Hagedorn & Brown
3	Marítima	700	6,005	0	90	14	4	Hagedorn & Brown
4	Marítima	1000	6,005	0	90	20	4	Hagedorn & Brown
5	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
6	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
7	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
8	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
9	Marítima	2000	6,006	0	0	20	4	Beggs & Brill
10	Marítima	570	6,006	0	0	4	4	Beggs & Brill
11	Poço c/ coluna	565	5,921	8,681	90	12	42,26	Hagedorn & Brown
12	Poço c/ coluna	475	5,921	8,681	45	10	65	Beggs & Brill
13	Poço c/ coluna	804	4,67	8,681	0	5	65	Beggs & Brill

Tabela 35 – Configuração do sistema de produção com completação molhada e máximo afastamento – 2300m

Como no caso anterior, foram verificadas as condições de temperatura e vazão, utilizando BSW igual a 90%.

Esta configuração não permitiu a produção sem o emprego de um sistema de elevação artificial, nas condições finais da vida do reservatório, quando ocorre aumento do peso da coluna hidrostática.

Afastamento – 11710 m									
Diâmetro Externo da Coluna de Produção	Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Queda de Pressão (Kgf/cm <sup>2</sup> )				Vazão (m <sup>3</sup> /d)
	P <sub>wf</sub>	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod.	Duto	Riser	Total	
6 5/8" – BSW 0%	291,1	208,7	164,0	13,0	82,4	44,7	151,0	278,1	<b>2725</b>
6 5/8" – BSW 90%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 36- Perfil de pressão em condições de fluxo, com completação molhada e máximo afastamento – 2300m

A Figura 52 mostra a representação gráfica das condições de equilíbrio para fluxo, no início do reservatório. Mais uma vez, as curvas requeridas do sistema, para condições de BSW igual a 90%, não apresentam um par de valores de pressão e vazão em comum com a IPR, indicando a impossibilidade de haver fluxo, sem a adoção de um método de elevação artificial.

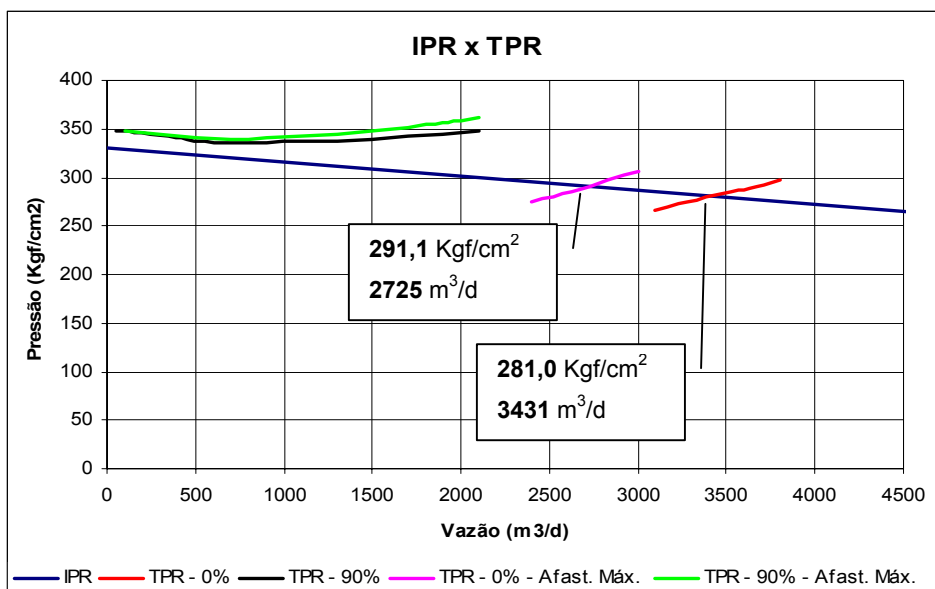


Figura 52- Condições de equilíbrio com completação molhada – 2300m

A Figura 53 mostra as curvas de gradientes dinâmicos de pressão, nas condições descritas anteriormente.

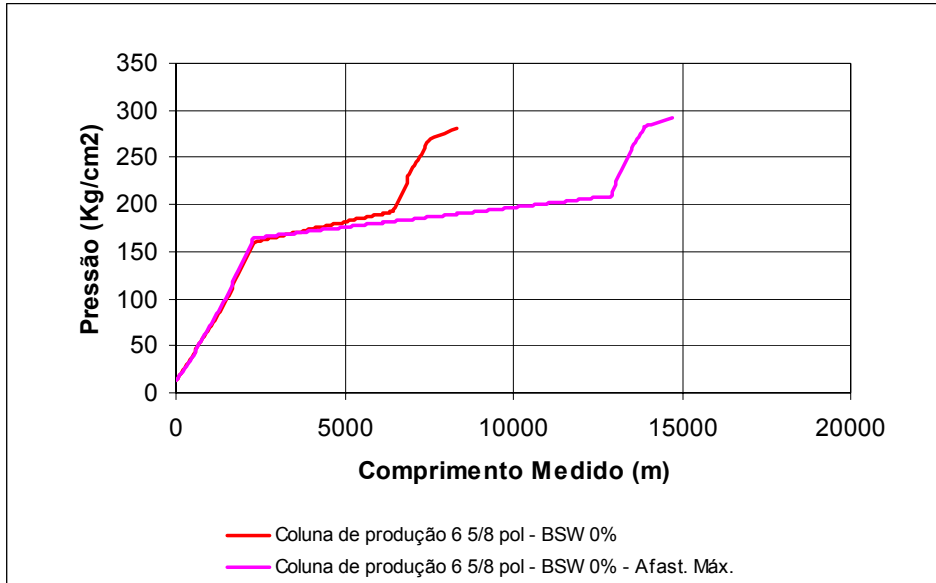


Figura 53- Curva de gradiente dinâmico de pressão na coluna de produção, com completção molhada – 2300m

Pode-se observar no gráfico acima, que o gradiente de queda de pressão no trecho vertical é mais acentuado devido à redução do peso da coluna de fluido e expansão do gás dissolvido.

A Figura 54 apresenta as curvas de gradientes temperatura encontrados para as configurações com completção molhada avaliadas para a lâmina de água de 2.300 m.

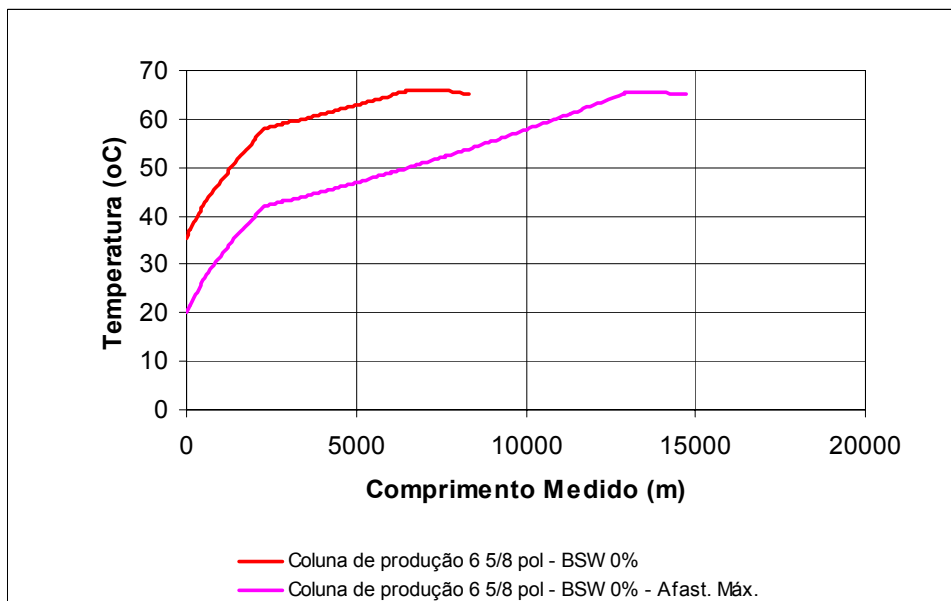


Figura 54- Curva de gradiente de temperatura na coluna de produção, com completção molhada – 2300m

Como nos demais cenários, a pode ser visto na tabela abaixo, que a principal parcela da variação de temperatura ocorre face à troca de calor com o meio ambiente. Dessa forma, os trechos de linhas de fluxo são os principais responsáveis pela queda de temperatura do fluido, devido à exposição às baixas temperaturas do fundo do mar.

Afastamento e BSW com Coluna de 6 5/8"	Temperatura (°C)				Queda de Temperatura (°C)			
	Resev.	ANM	Pé do Riser	Plat.	Col. de Prod. (1844m)	Duto	Riser (2300m)	Total
<b>5300 m BSW 0%</b>	65	65,7	58,0	35,3	-0,7	7,7	22,7	29,7
<b>5300 m BSW 90%</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>11710 m BSW 0%</b>	65	65,3	42,0	20,0	-0,3	23,3	22,0	45,0
<b>11710 m BSW 90%</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 37 – Variação da temperatura ao longo do sistema de produção – 2300m

As Tabelas 38 e 38 resumem os dados de temperatura e produção obtidos nas diversas configurações simuladas, permitindo a comparação dos resultados e algumas conclusões.

Afastamento – 5300 m e Coluna de Produção – 6 5/8"							
BSW	Tipo de completação	Temperatura (°C)			Queda de Temperatura (°C)		
		Reserv.	Pé do Riser	Plataforma	Coluna de Produção e "flowlines"	Riser (2300 m)	Total
Início - 0%	Seca	65	66,6	54,4	-1,6	12,2	10,6
	Molhada	65	58,0	35,3	7,0	22,7	29,7
Fim - 90%	Seca	-	-	-	-	-	-
	Molhada	-	-	-	-	-	-

Tabela 38 – Comparação da variação da temperatura ao longo do sistema - 2300m



Momento da Vida do Reservatório	Tipo de completação	Afastamento (m)	Temperatura na Plataforma (°C)	Produção (m <sup>3</sup> /dia)
Início - 0%	Seca	5.300	54,4	4142
	Molhada	5.300	35,3	3431
	Molhada	11710	20,0	2725
Fim - 90%	Seca	5.300	-	-
	Molhada	5.300	-	-
	Molhada	11710	-	-

Tabela 39 – Comparação das temperaturas e volumes de produção na plataforma – 2300m

Os resultados mostrados na Tabelas 39 levam a concluir que a 2.300 m de lâmina de água, como nos demais cenários analisados, a completação seca promove vantagens em termos de isolamento térmico e perda de carga. Porém a completação molhada permite que se atinja objetivos mais distantes da unidade de produção.

Contudo, no final da vida produtiva do reservatório, quando a produção de água é acentuada (BSW de 90%), nenhuma das configurações permite a continuidade da produção sem que um método de elevação artificial seja incorporado, tanto com completação seca quanto com completação molhada.