



Reinjeção de Água Produzida

Ricardo Ruy Neto, UN-BC/ATP-NE/RES

Roberta Alves Mendes, E&P-ENGP/RR/ER

Colaboração: Maylton Freitas da Silva, UN-BC/ATP-N/RES

Marcia Ida de O. Silva, UN-BC/ATP-AB/RES

Helder Luciano Pereira, UN-BC/ATP-NE/OP-PG

Vera Cristina F. Amorim, UN-BC/ATP-MRL/RES

Ana Paula Diniz Botelho, UN-BC/ATP-S/RES



ROTEIRO

Diferenças entre os Campos de Petróleo

Por que injetar água?

Necessidade da injeção de água

Disponibilidade de água

Mistura de águas

Injetividade

Qualidade da água injetada

Tratamento da água de injeção

Perda de injetividade

Injeção abaixo da Pressão de fratura

Injeção de Acima da Pressão de Fratura

Situação atual da Reinjeção de Água Produzida

Projetos

Conclusões



Diferenças entre Campos de Petróleo

- **Arenitos**

Glacial, eólico, aluviões, lacustre, fluvial, estuários, maré, margem continental, submarinos (turbiditos), etc

- **Carbonatos** de alta e baixa energia

- **Diagênese** (cobertura sedimentar, percolação e escape de fluidos, deformações físicas, etc) modificando propriedades primárias.

- **Plataformas** de todos os tipos

- **Óleos** diferentes (leves e pesados)

- **Cada CAMPO é um CAMPO**



OBJETIVOS DA INJEÇÃO

Objetivos Primários da Injeção de Água:

- Repressurizar o reservatório
- Aumentar a recuperação de óleo com deslocamento da água(água empurra o petróleo)

Outro Objetivo:

- Descarte



PETROBRAS

GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

Necessidade da Injeção

Dependem da atuação dos aquíferos e P_{sat} :

- **Aquíferos atuantes – inj. não necessária e difícil**
(Ex: Campos de Vermelho e Garoupinha)
- **Aquíferos medianamente atuantes – inj. pode esperar.**
- **Aquíferos não atuantes – injeção deve ser imediata.**

Imaginar bola de futebol cheia e outra vazia.

Qual é mais fácil de encher?



Capacidade do reservatório de receber injeção:

- Depende da espessura do reservatório
- Da qualidade da rocha
- Das pressões das bombas de injeção

Queda de injetividade:

- Qualidade do reservatório (Campo a Campo)
- Qualidade da água injetada



Qualidade da Água

Água do Mar:

- Baixíssimos teores de sólidos (1 a 3 mg/l)
- Pequeno tamanho de partículas (2 a 5 micras)
- TOG ausente

Água Produzida:

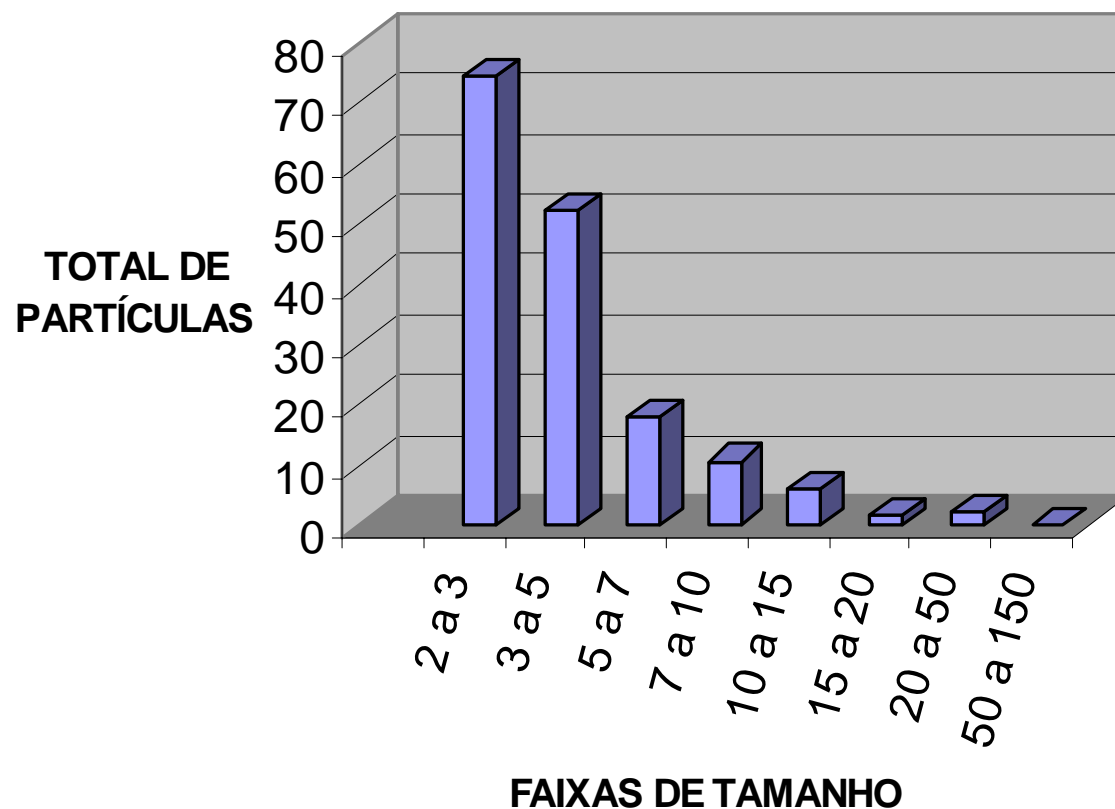
- Altos teores de sólidos (20 a 80 mg/l)
- Partículas maiores, 30 micras.
- TOG em altas concentrações

*Compatibilidade química melhor com água produzida, desde que do mesmo reservatório.



Amostra Real

DISTRIBUIÇÃO TÍPICA Água do Mar (Acid.)





Água do Mar:

- Filtragem simples

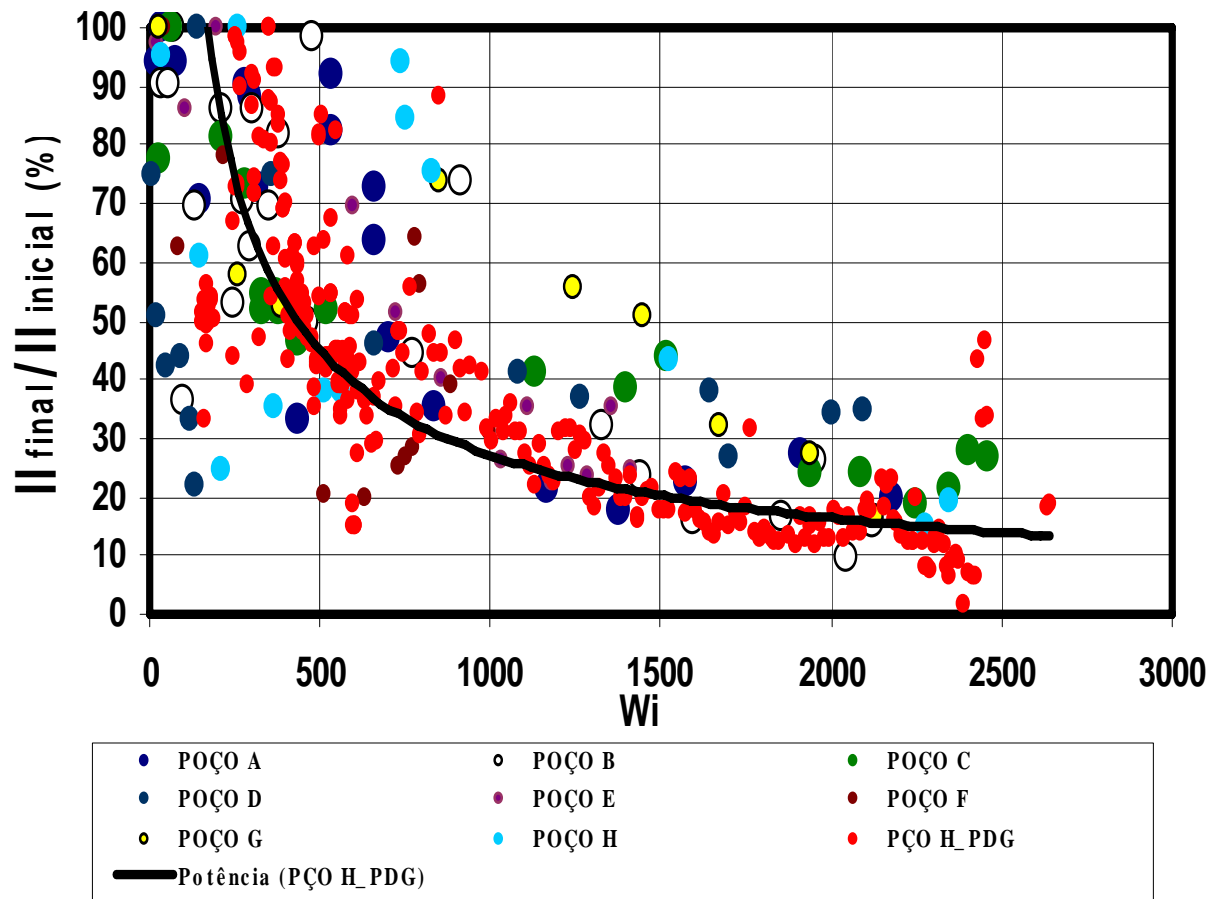
Água Produzida:

- Filtragem complexa para sólidos e graxas com necessidade de retrolavagem dos filtros (água suja volta para o sistema)



Perda de Injetividade (PRAVAP-16)

INJETIVIDADE x VOLUME INJETADO



Água do Mar

Água Produzida??

Queda de Injetividade

↓
IAPF?



PETROBRAS

GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

Perda de Injetividade

- Assumindo que fosse água produzida com água especificada para o reservatório, porém desenhada para descarte, com TOG de 50 mg/l
- Ex: 80% de perda de injetividade
- 3000m³/dia → 600m³/dia
- Diferença de 2400m³/dia
- **O que fazer com essa água??**



GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

PETROBRAS

Planta de Reinjeção (Carmópolis)



Capacidade de Filtração : 3 x 7500
m³/d (22500 m³/d Total)

Peso vazio/operação cada filtro :
16,6 / 54,4 Ton

Dimensões de cada Filtro :
Diâmetro=3,66 m

Altura Total=7,6 m (*)

Área destinada aos 03 filtros : 9,0
m x 20 m

Especificação

TOG : Entrada = 60 mg/l ,
Saída = 7/15 mg/l

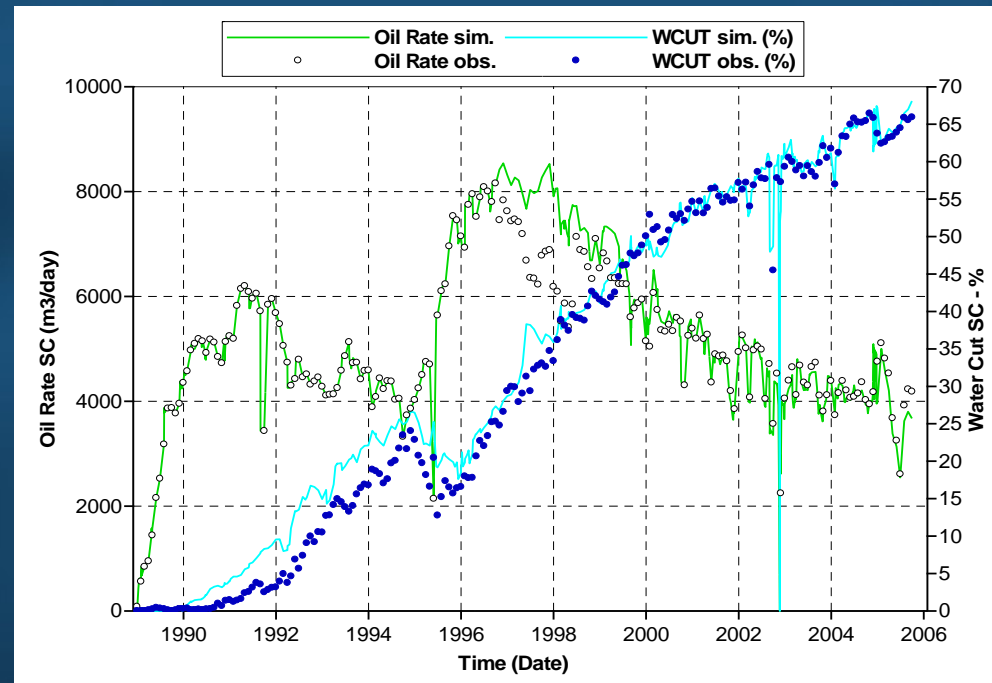
TSS : Entrada = 80 mg/l ,
Saída = 6/13 mg/l

Retenção : 98 % das partículas
maiores que 5 micras



Disponibilidade da Água

- Água do mar, ou rios, disponível desde o início do campo.
- Água produzida só após alguns anos de produção e com **volumes insuficientes**.





Mistura de Águas

Problemas

- Precipitação de sais inorgânicos (*scale*) no poço produtor, sistemas de injeção e até no poço injetor, nesse caso seria necessária injeção de anti-incrustantes ou até mesmo necessários 2 sistemas de injeção separados (água do mar e água produzida).
- Riscos de acidulação biogênica (produção de H_2S), que podem ser contornados com injeção de nitrato, mas não é garantia, podendo ser necessária mudança de materiais de linhas e equipamentos.



GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

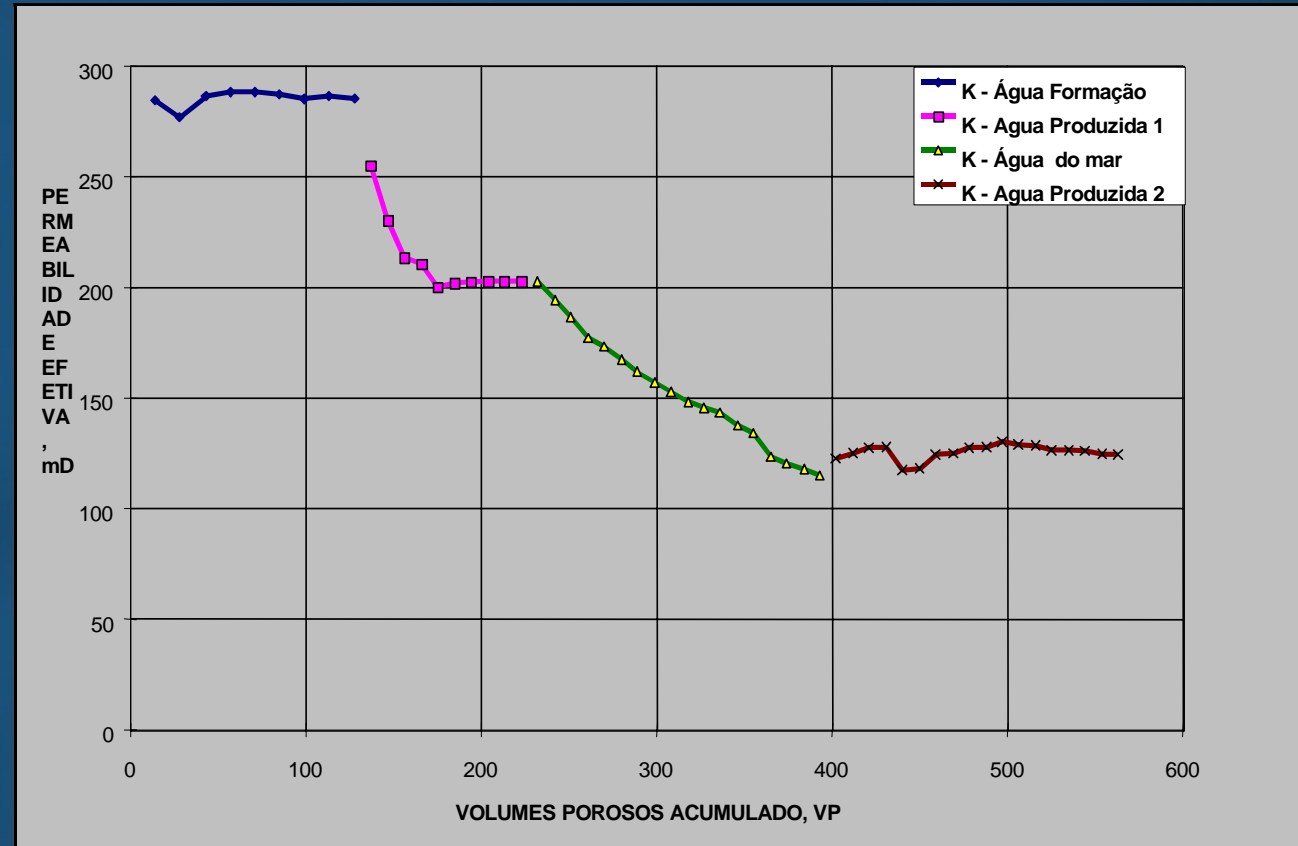
PETROBRAS

Reinjeção de Água Produzida Abaixo da Pressão de Fratura

Ensaio no CENPES a partir de 1998:

- Estimativa de queda de injetividade em plug
- Dimensionamento de filtros a partir de estudos da garganta de poros

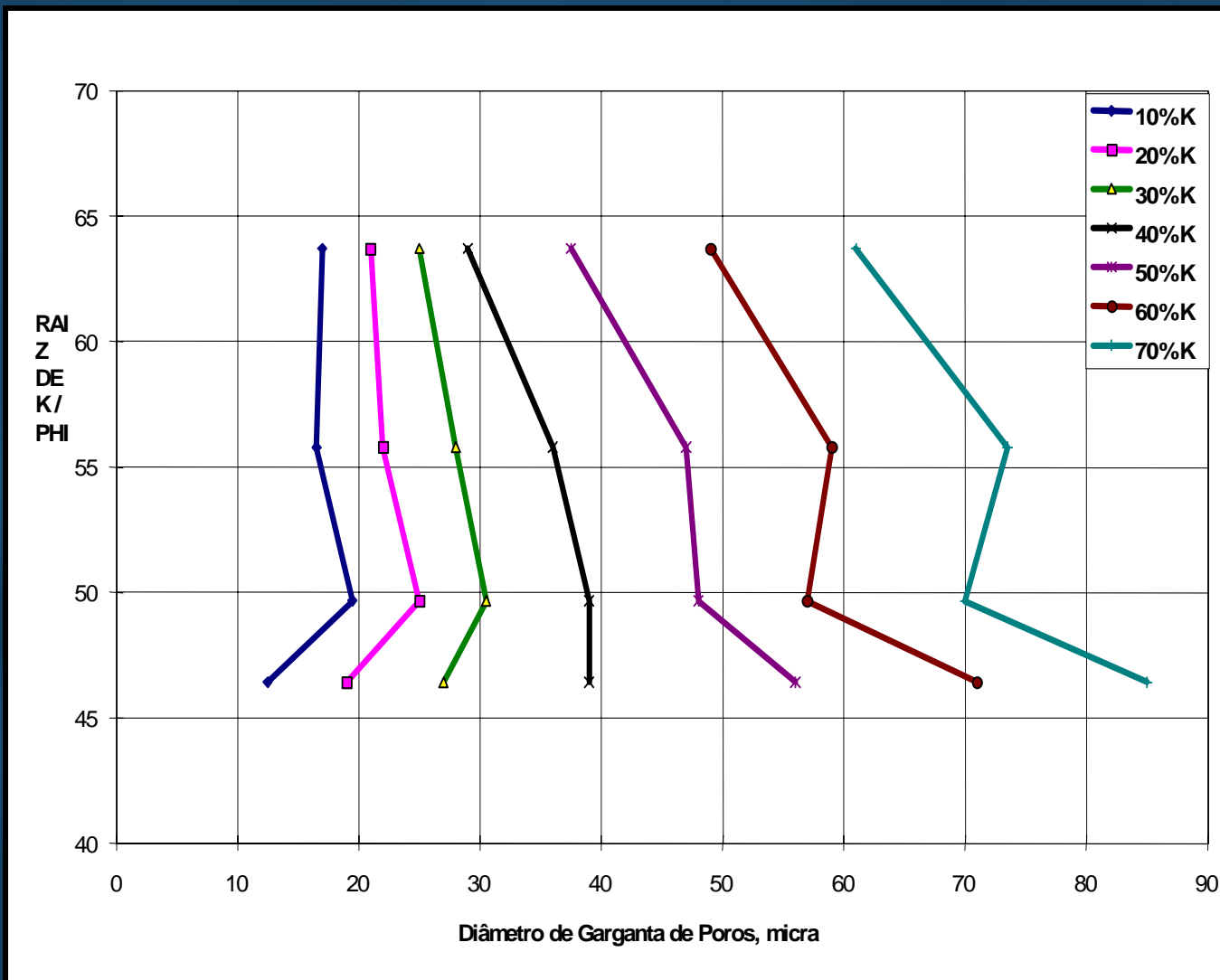
CRP - Ensaio de
injeção em plug
(K = 516mD;
Ø = 20%)





Reinjeção de Água Produzida - Ensaios

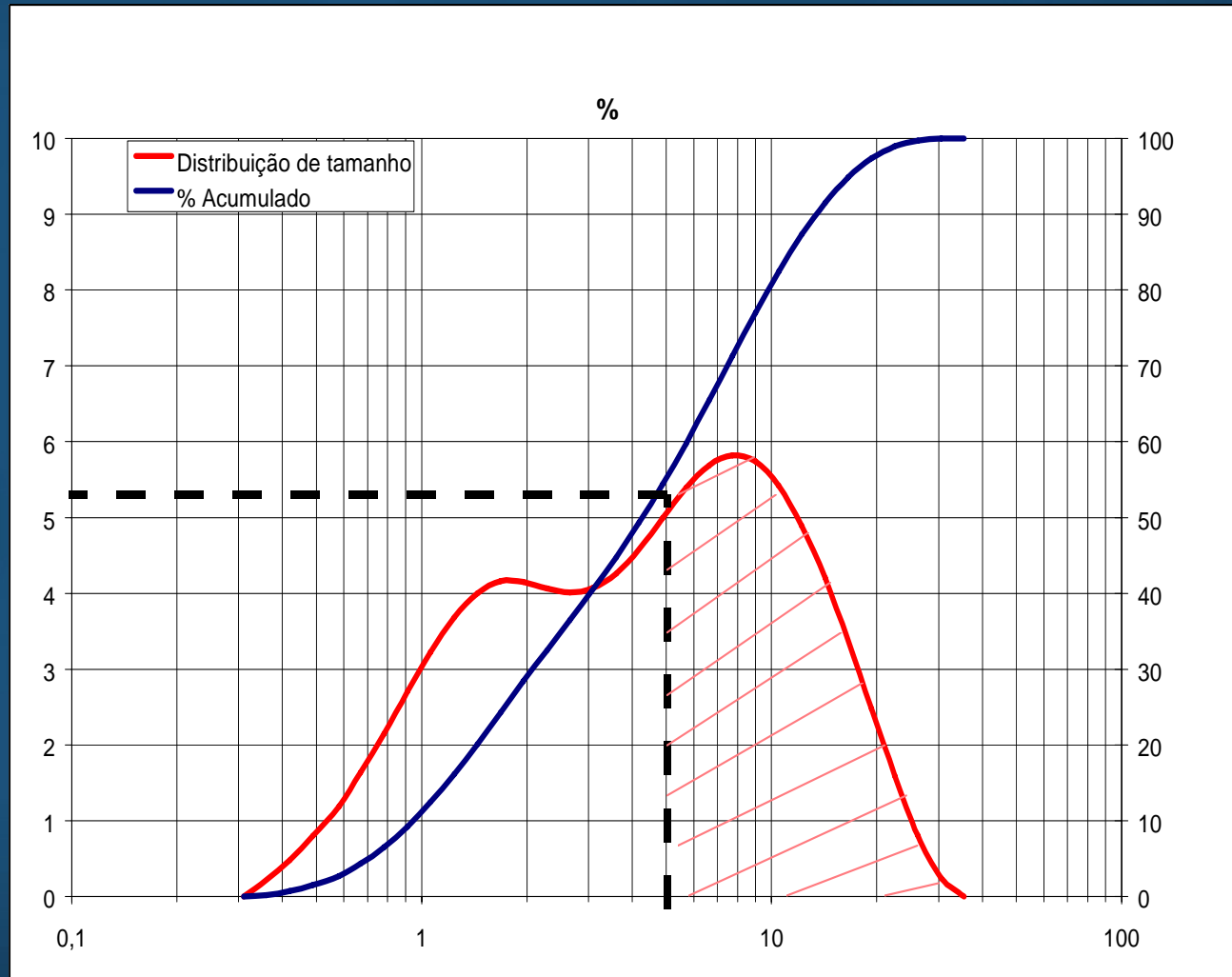
Garganta de poros





Reinjeção de Água Produzida - Ensaios

Distribuição e percentual acumulado de tamanho dos sólidos suspensos na água de descarte.





Injeção Acima da Pressão de Fratura

- **Ponto positivo:**
 1. possibilidade de reinjeção de água produzida ou mesmo de água de água do mar sem grandes tratamentos em superfície

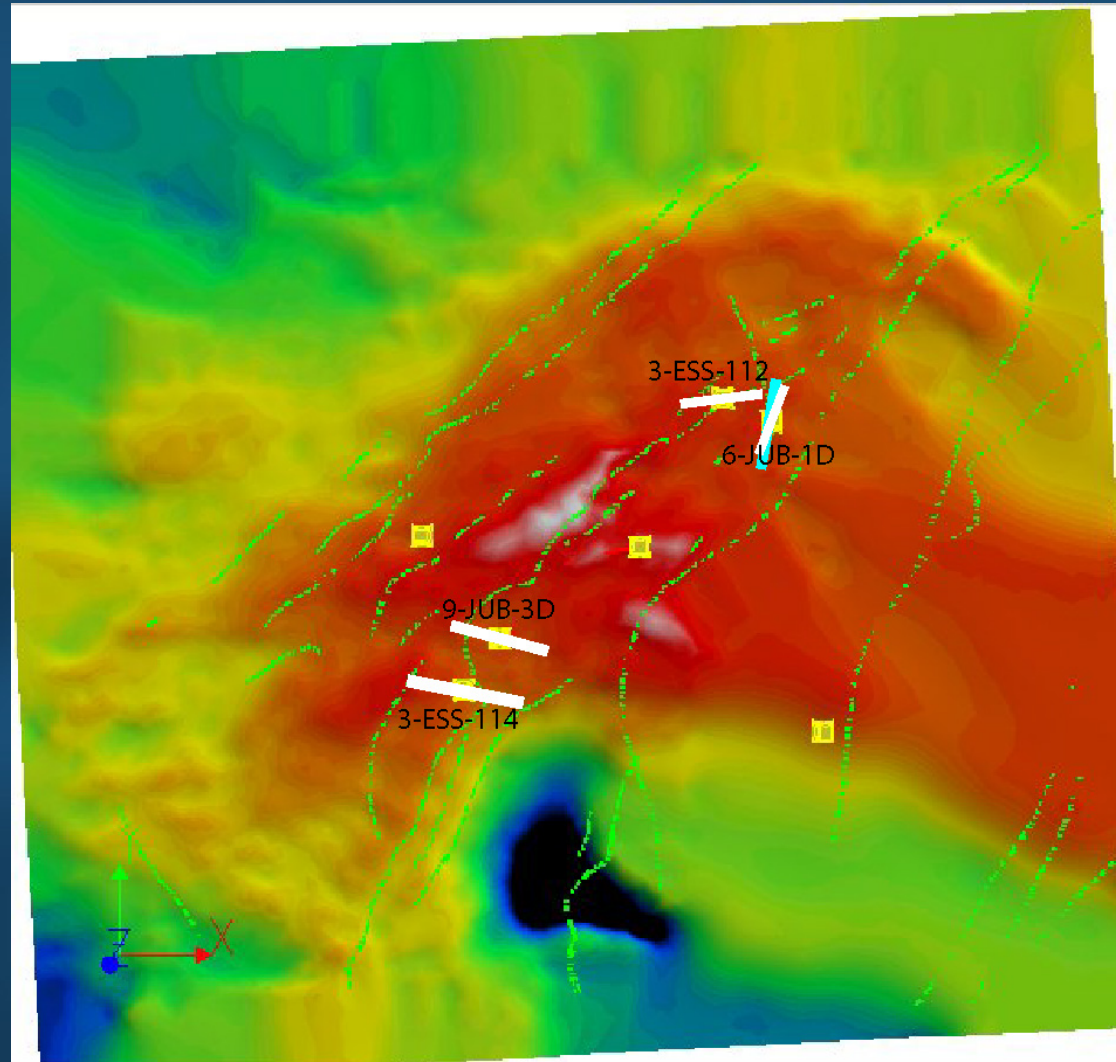
- **Ponto negativo:**
 1. O que fazer com a água caso ela esteja desenquadrada para descarte com TOG >> 20mg/l.
 2. Dois sistemas com contingência de 100%. Similar a ter uma terceira turbina num avião em caso de pane em uma das outras.
 3. Necessidade de bombas maiores e conseqüentemente mais energia elétrica e espaço nas plataformas

- **Estudo Detalhado**
 1. Direção de propagação de fraturas. (Perfis possíveis em novos poços)
 2. Limite de teor de sólidos? (BP crítico a partir de 10 mg/l)



Estudo de tensões no campo

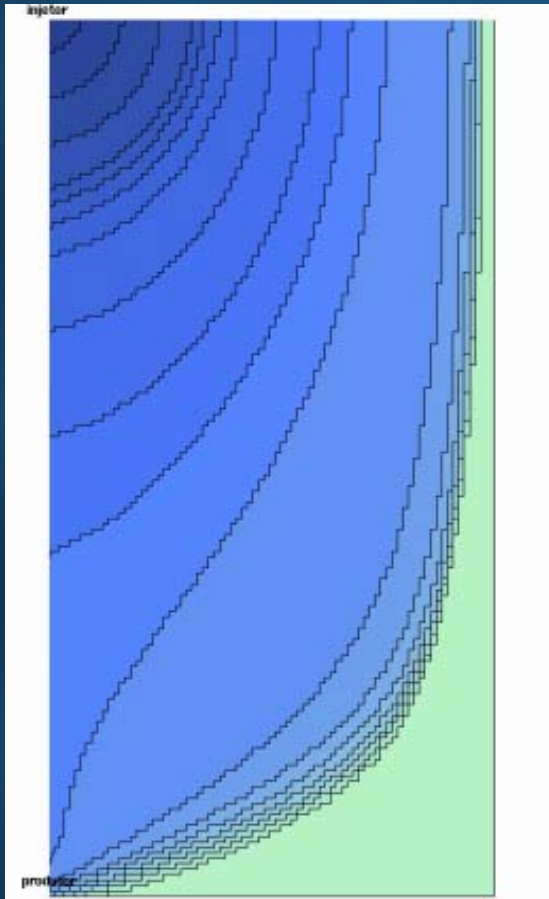
Testes de poço: tensão principal maior



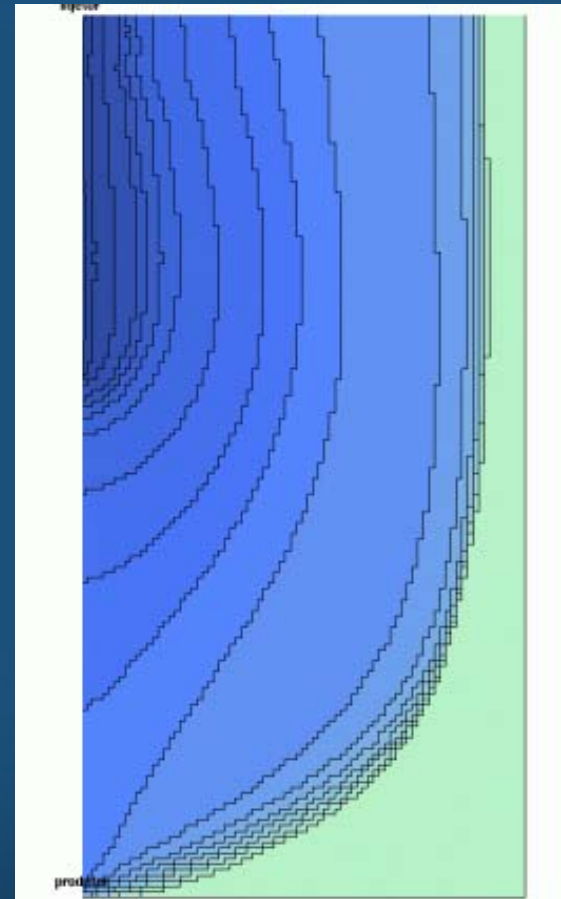


Injeção Acima da Pressão de Fratura

Efeito Negativo: Influência da fratura na eficiência de varrido



Injeção sem fratura

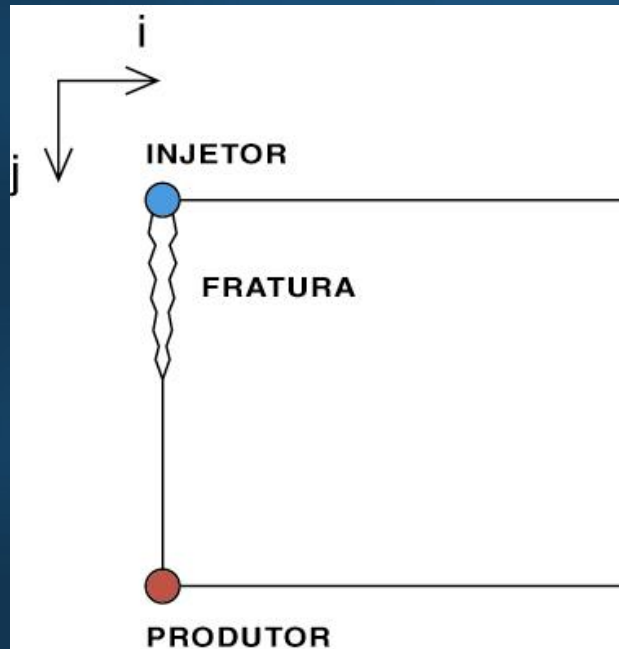


Injeção com fratura
* menor varrido

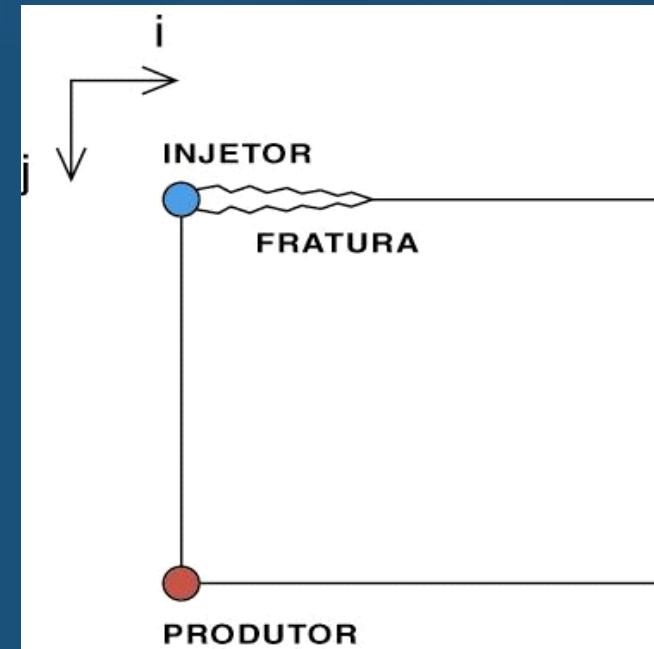


Injeção Acima da Pressão de Fratura

Efeito da injeção acima da pressão de fratura no reservatório



Reduz fator de recuperação de óleo
Circulação de água



Aumenta fator de recuperação de óleo
Atrasa chegada da água

***Projetos antigos poços já perfurados=>
inexistência de controle da posição dos poços.**



Situação RAP na Petrobras

UN.	% de RAP (*)
BA	100
SEAL	60
RNCE	35
ES	100 (terra)
BSOL	100
BC	10 (Pargo e Carapeba)

Valores médios utilizados

- TOG: 5 mg/l – 40 mg/l
- SST: 2 mg/l – 40 mg/l



Reinjeção na PETROBRAS

- Carmópolis (implantado)
- Pargo e Carapeba (implantados)
- Albacora
- Cherne
- Namorado
- Pampo
- Marlim

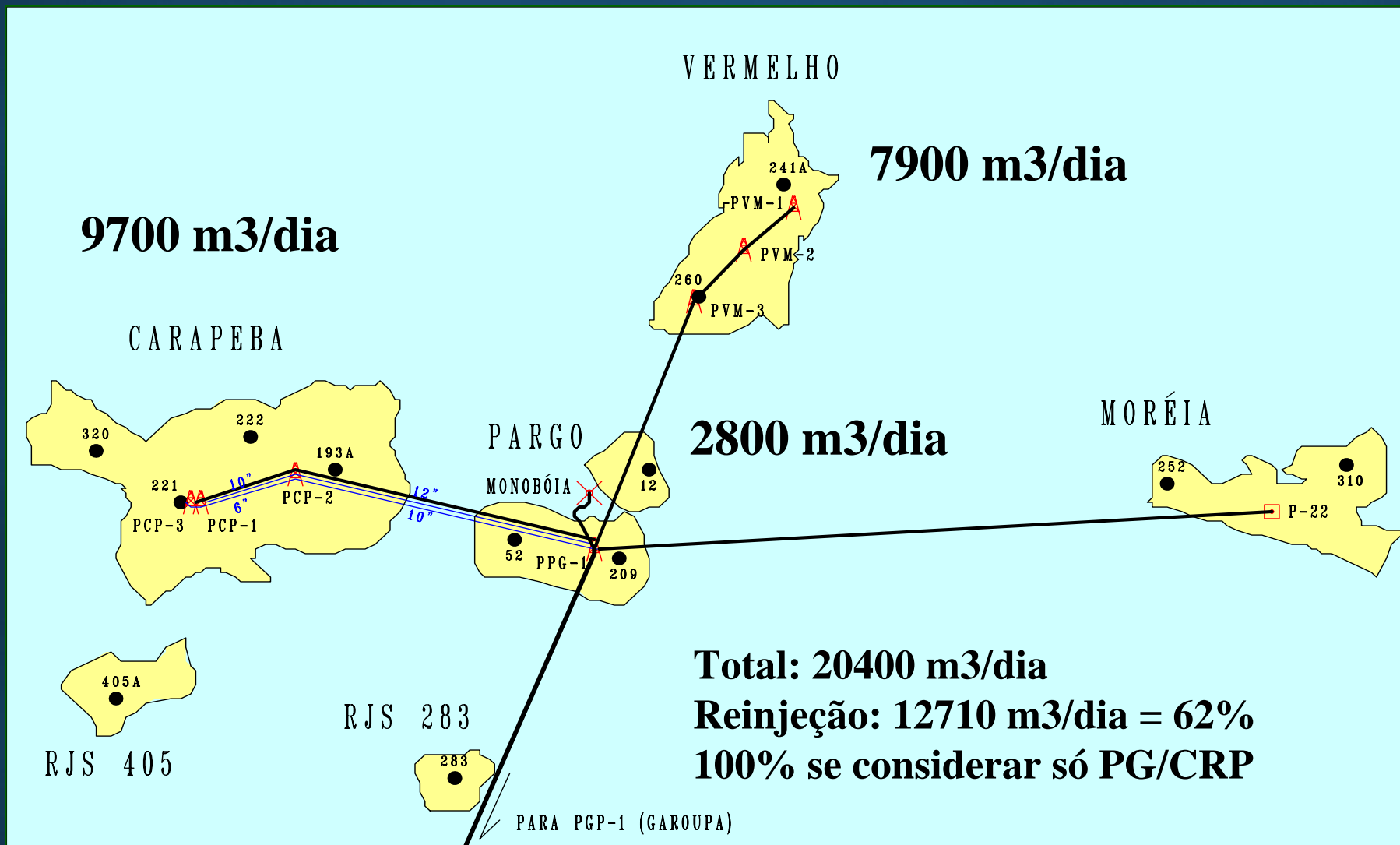


- **Projeto SA1346A. Aumento de Injeção de água.**
- **Aprovado projeto conceitual**
- **Reinjeção de toda água produzida (2009/2014) com substituição da captação de água doce (9000m³/dia)**
- **Conversões de produtores em injetores (70)**
- **Perfuração de novos injetores (60)**

* Fornecimento de até 14 000 m³/dia de água produzida para CVRD



PARGO E CARAPEBA





PETROBRAS

GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

PLANTA DE PG e CRP

Sistema de reinjeção de água em PPG-1, instalados:

Sistema de bombeio

2 bombas booster ($\Delta P=12\text{kgf/cm}^2$)

2 bombas principais ($\Delta P=110\text{kgf/cm}^2$)

Sistema de filtração de água

- 6 filtros (35 m³ cada, capacidade de tratamento de 20 000 m³/d de água), retrolavagem a cada 12h
- 1 tanque de água suja (capacidade de 60 m³)
- 1 tanque de água limpa (capacidade de 162 m³)
- 2 bombas de retrolavagem (vazão de 400 m³/h)
- 2 sopradores de ar (vazão de 270 m³/h)



Aumento da Cota de Injeção por Poço

1. Risco de fechamento prematuro dos poços devido a aumento de produção de água.
2. Necessárias bombas maiores (água vai até CRP).
3. Necessário aumento de geração de energia elétrica (TG).
4. Necessidade de espaço físico na plataforma.
5. Índice de injetividade baixo (poço não recebe)
6. Pargo é o menor dos 3 Campos



Porque não 100% em PG/CRP?

Injeção Acima da Pressão de Fratura

Problemas Operacionais:

- Necessidade de bombas maiores (dobro das atuais).
- Necessidade de aumento na geração elétrica.
- Falta de espaço.

Problemas de Reservatório:

- **Fraturamento Vertical:**

1. Comunicação entre zonas com perda de controle da injeção.
2. Divisão do volume injetado para subzonas produtoras adjacentes.
3. Conseqüente redução do fator de recuperação e na repressurização do reservatório

- **Fraturamento Horizontal:**

1. Água chega mais rapidamente ao produtor também com perda de recuperação do campo.



‘Gulf of Mexico Case Study (water injection)’

- Expected injection rates: 10,000 bbl/day/well
- Avoidance of fracturing essential to:
 - Avoid early water breakthrough,
 - Maintain water injection in the target sand

Mukul M. Sharma (Un. Of Texas at Austin),

<http://www.pge.utexas.edu/pdf/SPEdislect.pdf>



GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

PETROBRAS

Porque foi possível a Reinjeção?



- **Plataforma Central (2 plataformas)**
- **Água acumulada de 3 Campos (VM, CRP e PG)**
- **Existência de dutos não utilizados até CRP**



ALBACORA

Três reservatórios principais, Namorado, Marlim e Enchova
Duas unidades de produção, P-25 e P-31 (única com separação água/óleo)
Injeção de água do mar no Marlim (Raw water)

Reinjeção de água no Namorado

Projeto BC-106

- Início da reinjeção 7200 m³/dia previsto para 1º semestre de 2006
- Inicialmente abaixo da PF, criando banco de água.

Projeto BC-56

- Troca de bombas e linhas para reinjeção acima da PF
- Objetivo de restaurar a queda de injetividade e manter as cotas de injeção do projeto anterior.

Total de água produzida hoje = 3500 m³/dia na P-31 e 5900 m³/dia na P-25

Reinjeção 7200 m³/dia

Percentual reinjetado = 76%



CHERNE

Duas unidades de produção PCH-1 e PCH-2
Reservatório Namorado

- Projeto BC-1608 (conceitual aprovado)
- Acima da PF
- Reinjeção de ≈ 3000 m³/dia em 1 poço, antigo injetor.
- Volume de água produzida, PCH-1 = 120 m³/dia, PCH-2 = 3000 m³/dia.
- Reinjeção de 96% da água produzida.



NAMORADO

Duas unidades de produção PNA-1 e PNA-2

Reservatório Namorado

- Projeto BC-1602 (preliminar)
- Acima da PF
- Reinjeção de $\simeq 3000$ m³/dia em 1 poço, antigo injetor.
- Volume de água produzida, PNA-1 = 2000 m³/dia, PNA-2 = 6000 m³/dia.
- Reinjeção de 37% da água produzida.



PROJETO BC1152A (aprovado)

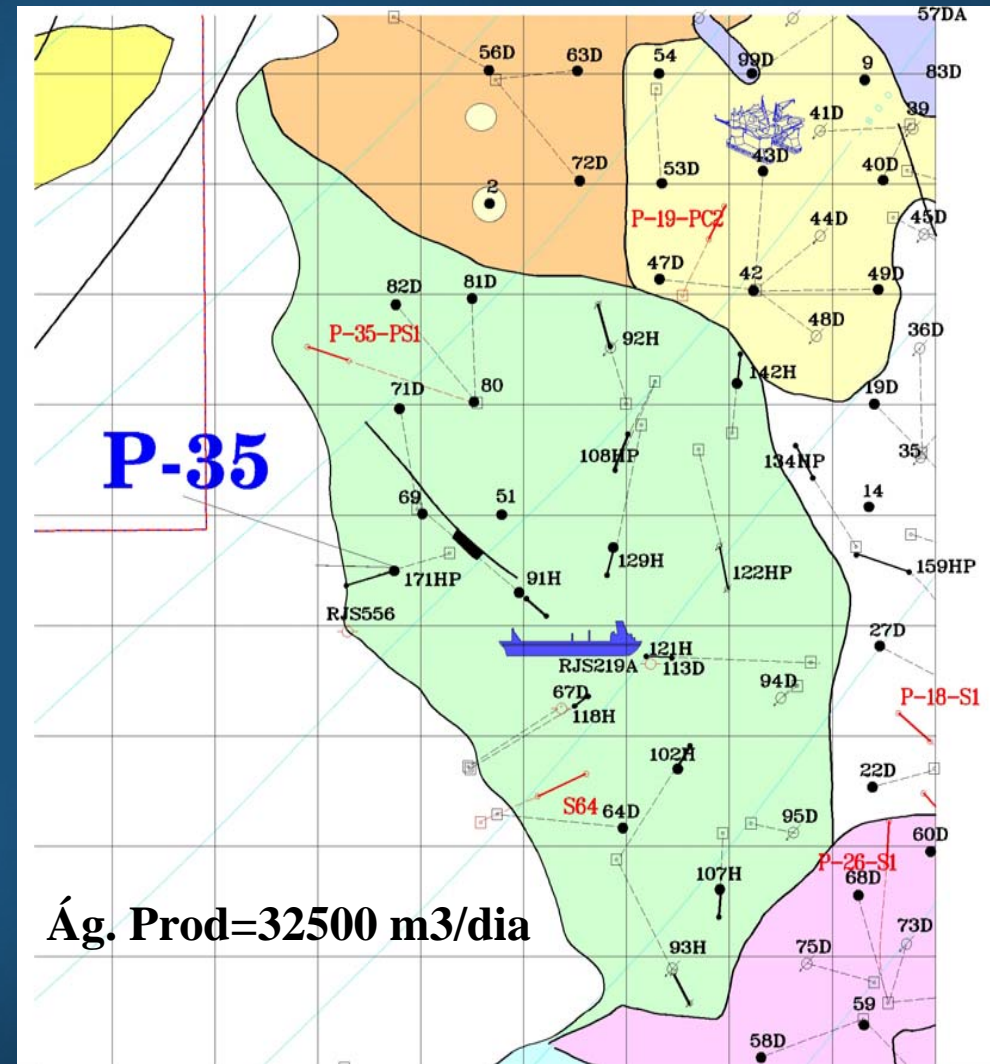
Objetivo: testar e avaliar a reinjeção da água produzida, no reservatório Coqueiros da concessão de Pampo, através do poço injetor PM-20

- Cota de injeção diária : 2.000 m³ de água produzida;
 - Injeção acima da pressão de fraturamento das Coquinas;
 - TOG da água injetada : 400 a 500 ppm;
 - Bomba de 220 kgf/cm²
 - Início previsto: final de 2006
- Água descartada 14.000 m³/dia
- 14% reinjeção



MARLIM

- **BC-0355A** - piloto de reinjeção de água (aprovado no grupo de revisão, a ser submetido ao Ativo até final de dezembro de 2005).
- UEP → P-35
- Vazão de injeção → 3000 m³/dia
- Variando TOG de 20 até 200 ppm
- **Projeto final com reinjeção de 10000m³/dia no MRL-94 e MRL-95 dependendo da primeira fase da reinjeção convencional.**
- Falta de espaço => Projeto piloto com separação submarina para 5000 m³/dia no MRL-94



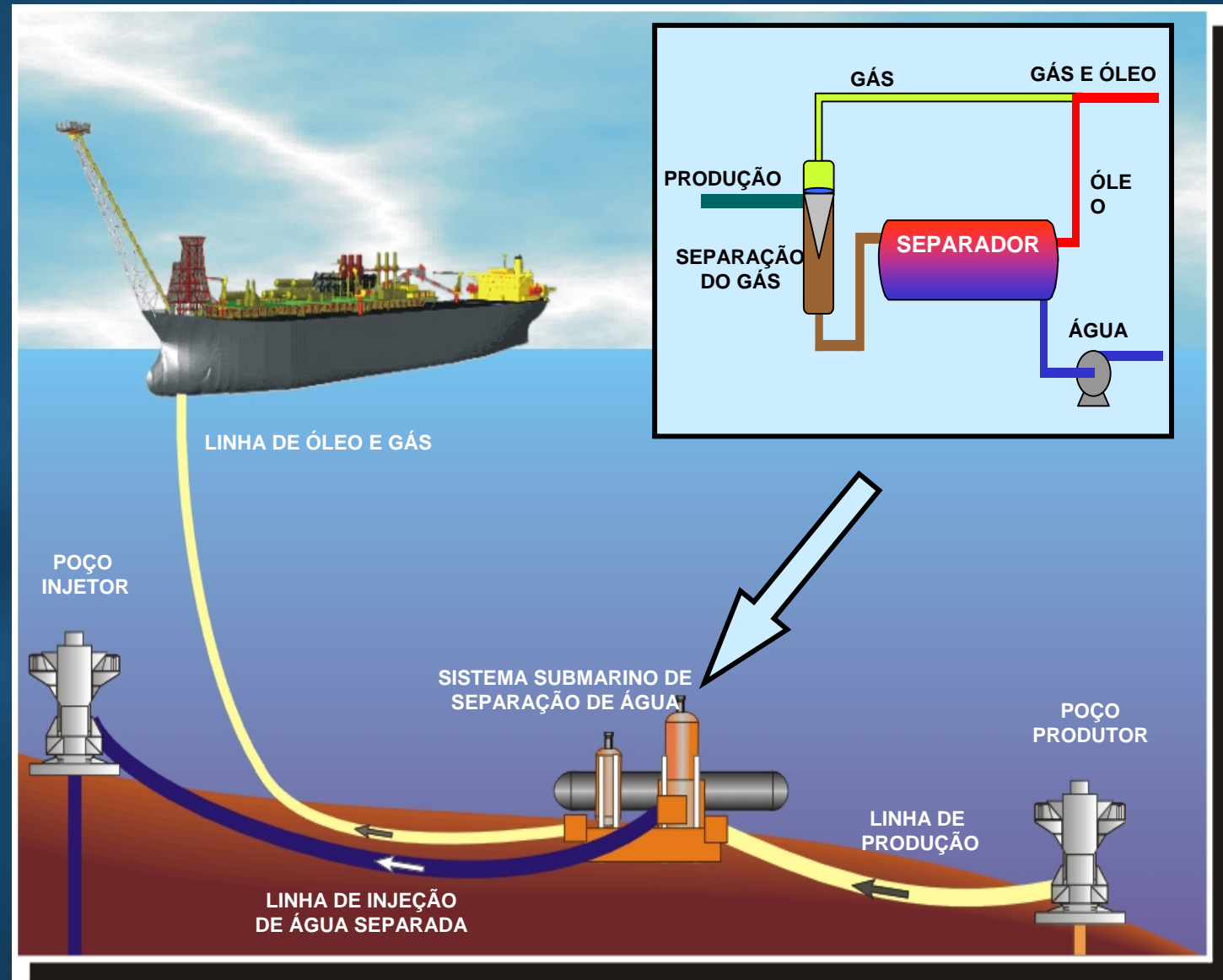


GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

PETROBRAS

Reinjeção de Água Produzida

Esquema
do Projeto
Sistema
Submarino
de
Separação
de Água





GT CONAMA
REINJEÇÃO DE ÁGUA

PETROBRAS

Reinjeção na PETROBRAS



Recomenda-se que:

-a Petrobras passe a adotar como caso base a reinjeção de água produzida em todos os novos projetos de desenvolvimento da produção que contemplem a injeção de água para recuperação secundária de petróleo, mantendo-se a contingência de 100% de descarte no mar, para os campos *offshore*.

**Novos projetos: Marlim Sul (módulo 3),
Jubarte (fase 2), Camorim, Dourado,
Ubarana**



Conclusões

- **A contingência de 100% para descarte no mar dificulta a implantação da reinjeção de água em alguns projetos.**
- **A maior flexibilidade com descarte eventual acima dos valores hoje permitidos facilitaria a reinjeção de água produzida.**
- **Apesar de toda dificuldade, principalmente em projetos já implantados, a PETROBRAS tem se empenhado na reinjeção da água produzida.**