



Desafios na medição de vazão de petróleo e gás natural nos campos do Pré-Sal

José A. Pinheiro
PETROBRAS E&P
São Paulo, 14/10/2010

Conteúdo

1. Cenário atual
2. Métodos de medição
3. Normas técnicas e regulamentação
4. Requisitos metrológicos
5. Tecnologias empregadas
6. Desafios do pré-sal
 1. Medição de grandes volumes transferidos
 2. Medição de CO₂ injetado
 3. Medição do gás de tocha (flare)
 4. Medição analítica em linha
 5. Compensação de CO₂ nas correntes de gás
 6. Medição multifásica
 7. Medição criogênica de GNLE
7. Conclusões

1. Cenário atual

- produção mundial de petróleo:
 - 2010: 86.5 milhões bbl/d
 - 2030 (projeção): 31 milhões bbl/d
 - 2030 (demanda global): 106 milhões bbl/d
 - Diferença (75 milhões bbl/d):
 - Incorporação de novas descobertas
 - Pré-sal: 1 milhão bbl/d (em 2017)
 - Fontes alternativas de energia
 - Maior eficiência energética

2. Métodos de medição

- Cálculo da vazão de um petróleo produzido na condição de base ($T = 20^{\circ}\text{C}$; $P = 101,325 \text{ kPa abs}$):
 - dados necessários: T_{op} , P_{op} , $\rho_{\text{líq base}}$
 - Algoritmos do computador: MF (meter factor), calibração + conversão condição base
 - Equação básica: $Q_b = MF \times CTL \times CPL \times Q$
 - Com densímetro em linha: $Q_b = \frac{MF}{\rho_b} \times Q \times \rho$
 - Operações com medidores mássicos: $Q_b = MF \times \frac{Q_M}{\rho_b}$

3. Normas técnicas e regulamentação

- sistemas de medição dos volumes de petróleo e gás natural seguem normas técnicas internacionais consolidadas por entidades tradicionais:
 - ISO – International Organization for Standardization;
 - API – American Petroleum Institute;
 - AGA – American Gas Association;
 - OIML – Organisation Internationale de Métrologie Légale.
- Em nível nacional
 - ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
 - INMETRO, SBM, ANP e IBP
 - Comprovação metrológica
 - » Metodologia de cálculo dos volumes
 - » Incertezas associadas
 - » Verificações e calibrações
 - processos de medição

4. Requisitos metrológicos

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

- **Requisitos metrológicos: para equipamentos de medição e para os processos de medição**
 - Garantir uma comprovação metrológica
 - Expressos como: erro máximo permissível, incerteza, faixa, estabilidade, resolução, condições ambientais, habilidades do operador.
 - Incerteza: parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando: ISO GUM (guia de incerteza de medição)
 - Erro máximo admissível: OIML R117 (INMETRO 64:2003)
 - » Linha A: sistema; linha B: medidor de vazão



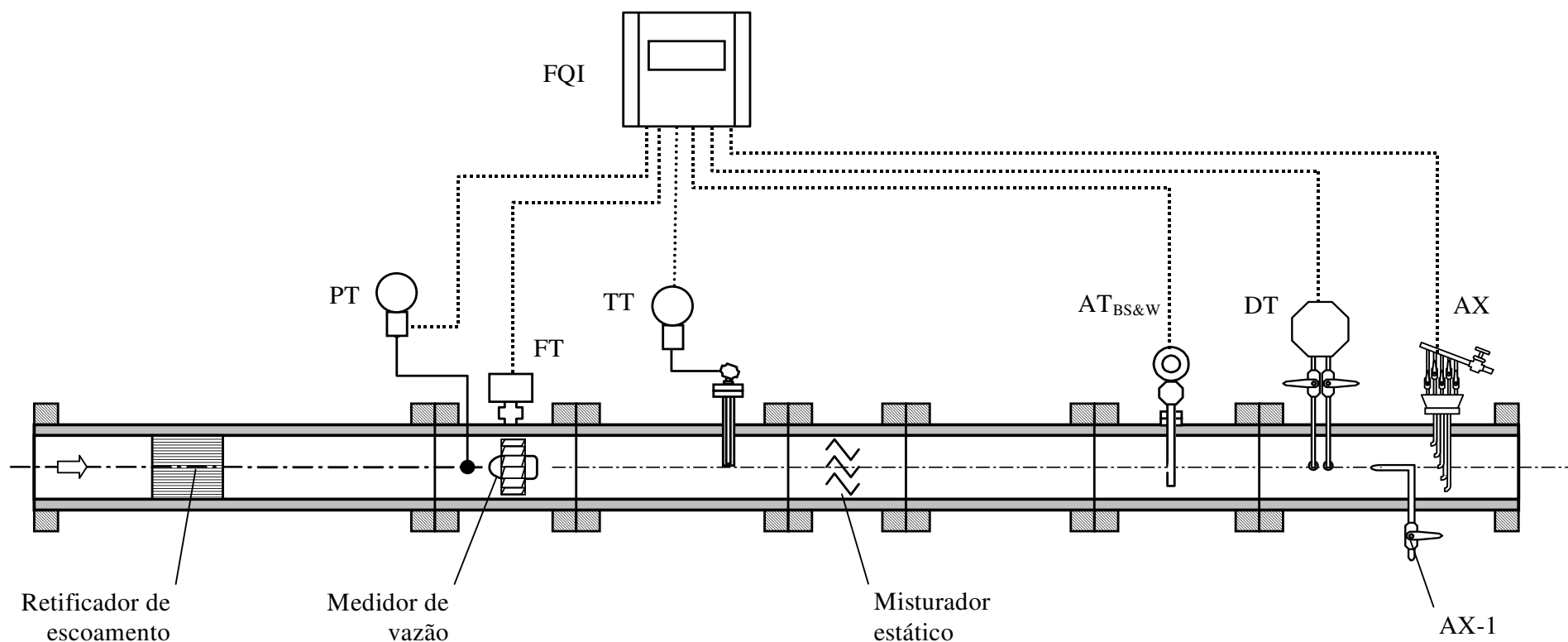
Classes de Exatidão					
	<u>0.3</u>	0.5	<u>1.0</u>	1.5	2.5
A	$\pm 0.3 \%$	$\pm 0.5 \%$	$\pm 1.0 \%$	$\pm 1.5 \%$	$\pm 2.5 \%$
B	$\pm 0.2 \%$	$\pm 0.3 \%$	$\pm 0.6 \%$	$\pm 1.0 \%$	$\pm 1.5 \%$

5. Tecnologias empregadas

- Medição de petróleo em linha:
 - Medidores: deslocamento positivo, turbina, Coriolis e ultrassônico.

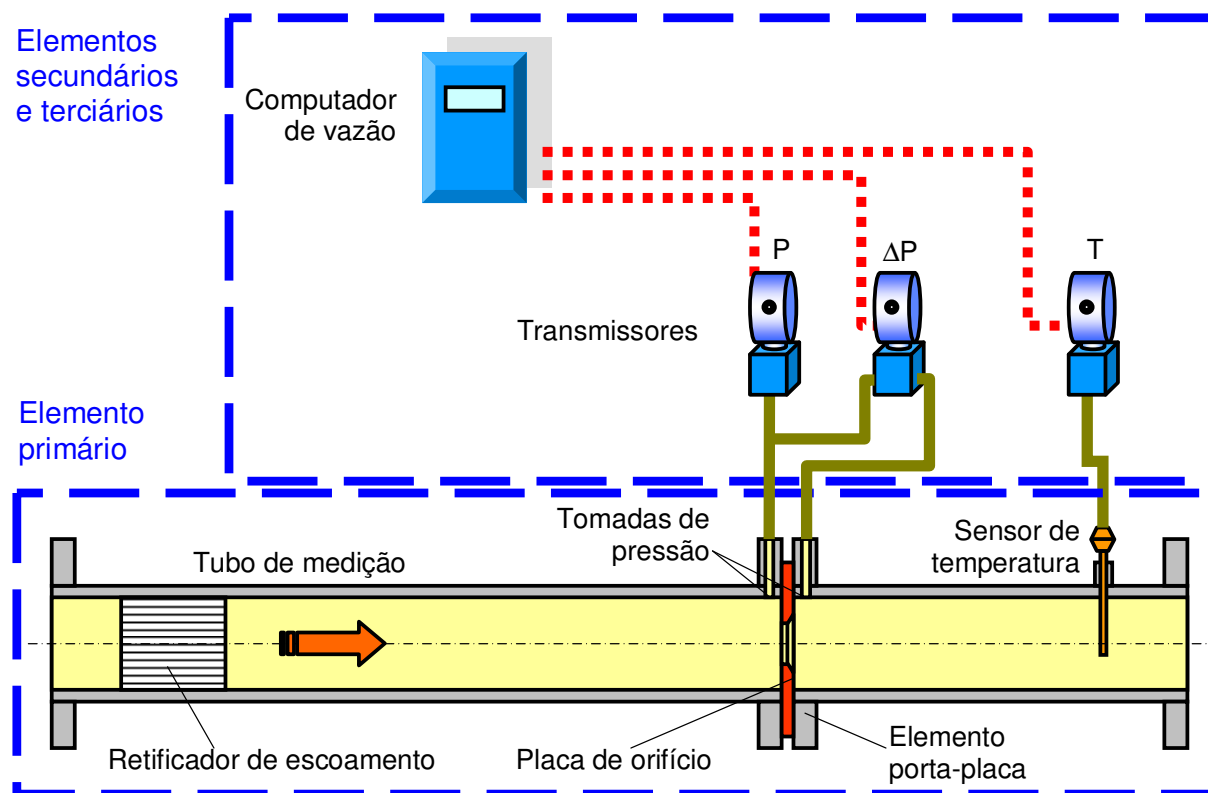


São Paulo
Seção



5. Tecnologias empregadas

- Medição de gás natural:
 - Medidores: tipo pressão diferencial (placa de orifício, Venturi, V-Cone), ultrassônico, turbina e Coriolis.



6. Desafios do Pré-sal

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO



São Paulo
Sectorm

apoio



Associação Brasileira de Metrologia

6. Desafios do Pré-sal

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

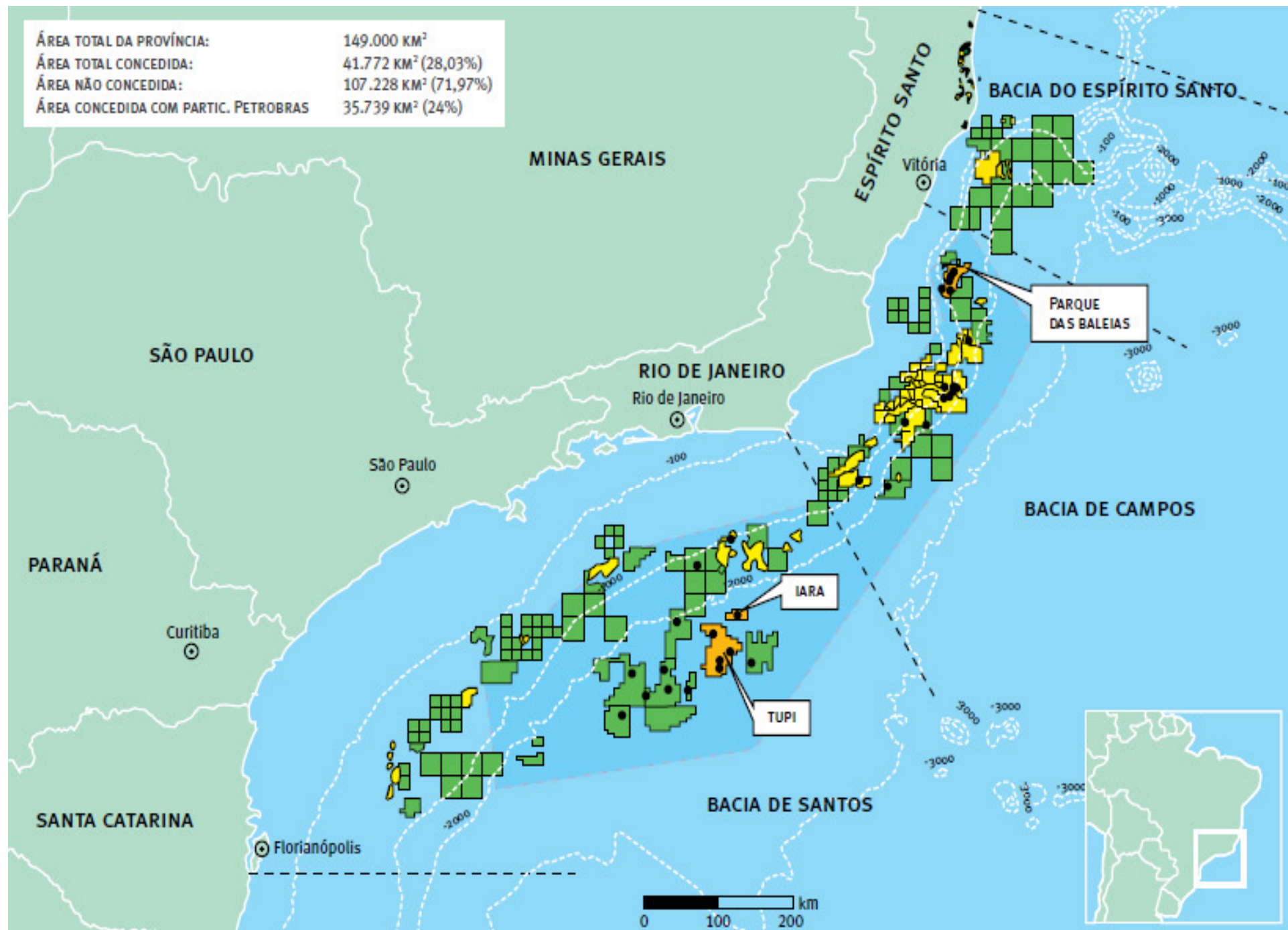


São Paulo
Secton

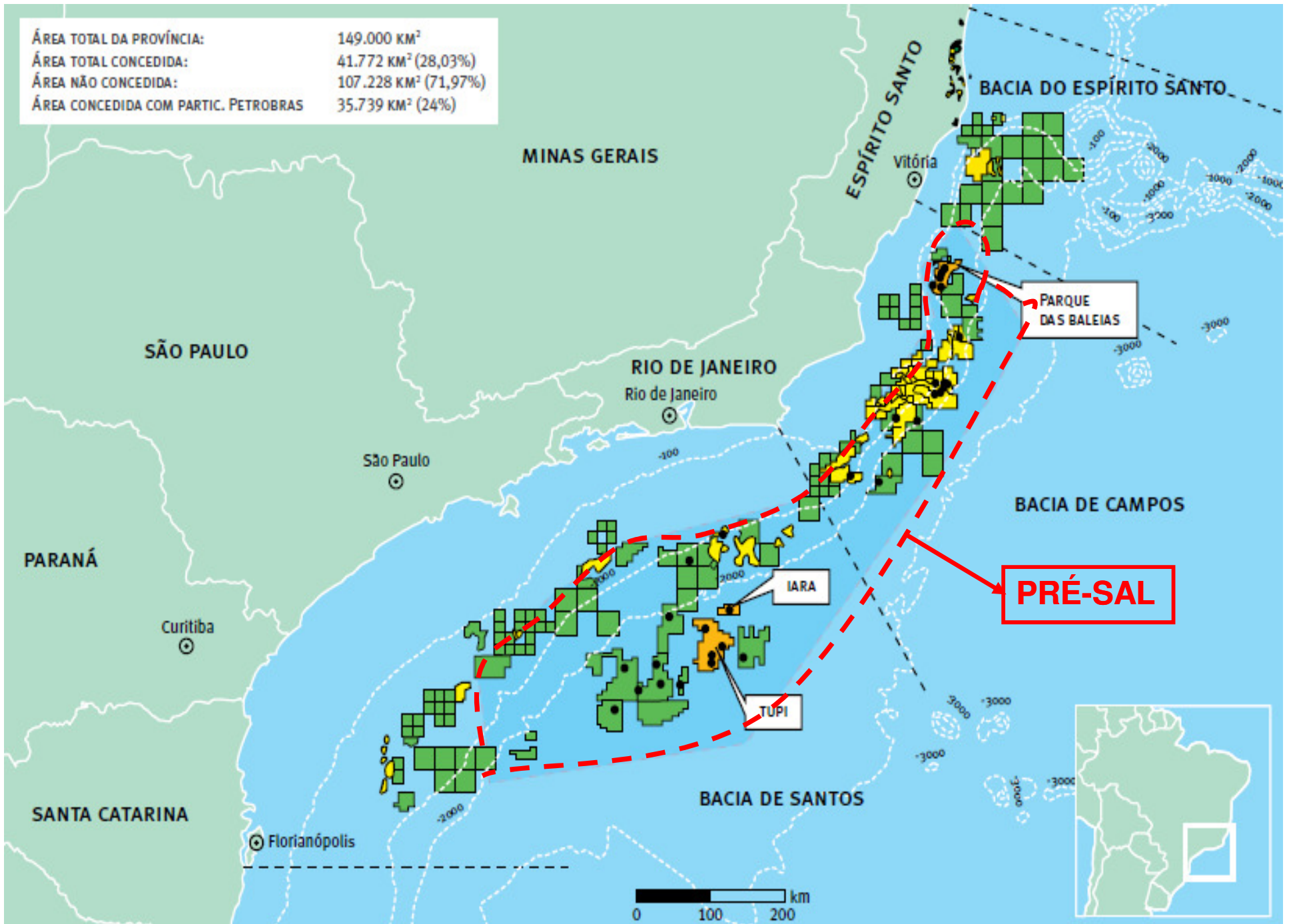


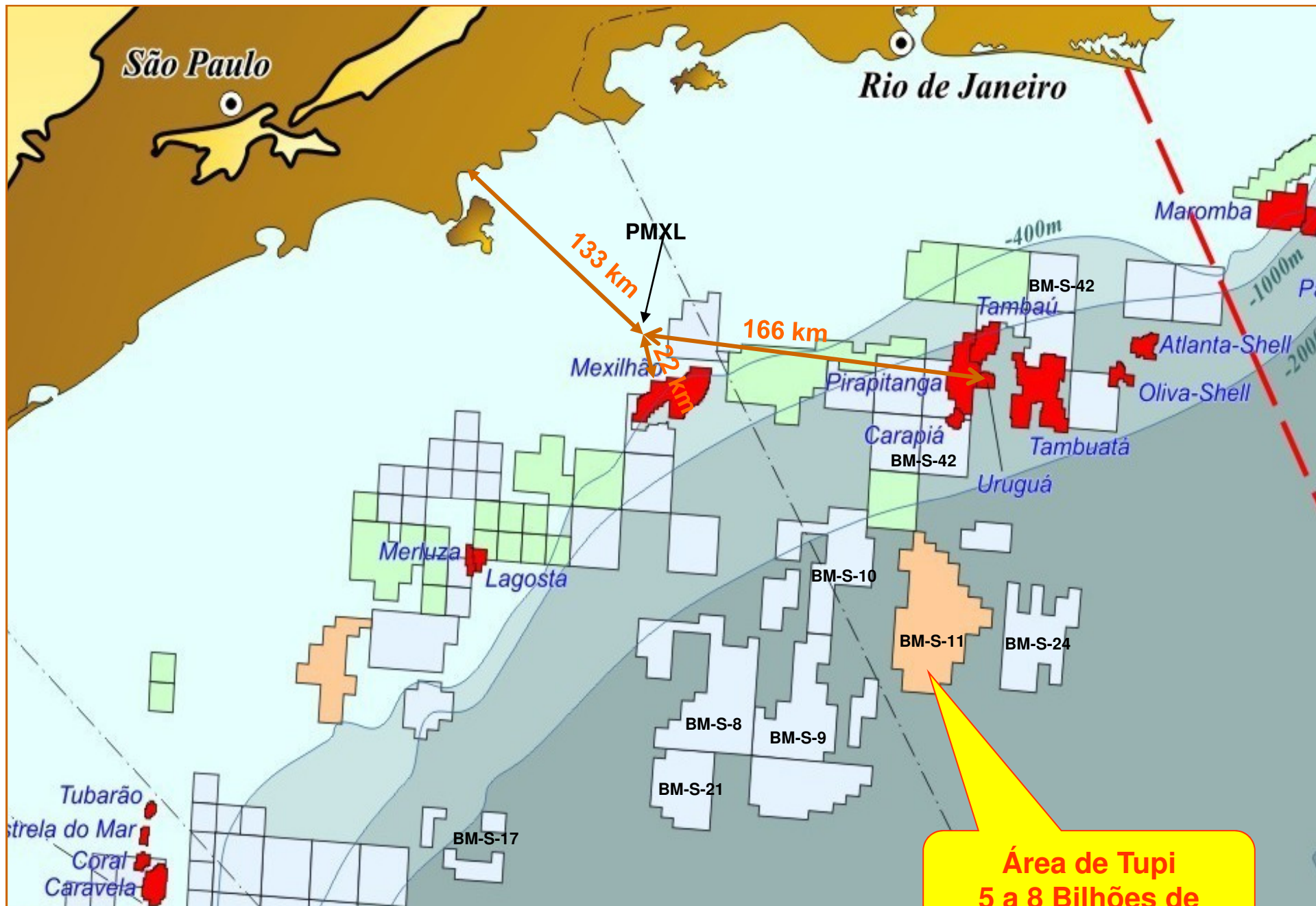
O Pré-Sal é composto de reservatórios não convencionais, heterogêneos, situados em águas ultra-profundas, sob alta pressão, apresentando fluidos com contaminantes

ÁREA TOTAL DA PROVÍNCIA:	149.000 KM ²
ÁREA TOTAL CONCEDIDA:	41.772 KM ² (28,03%)
ÁREA NÃO CONCEDIDA:	107.228 KM ² (71,97%)
ÁREA CONCEDIDA COM PARTIC. PETROBRAS	35.739 KM ² (24%)



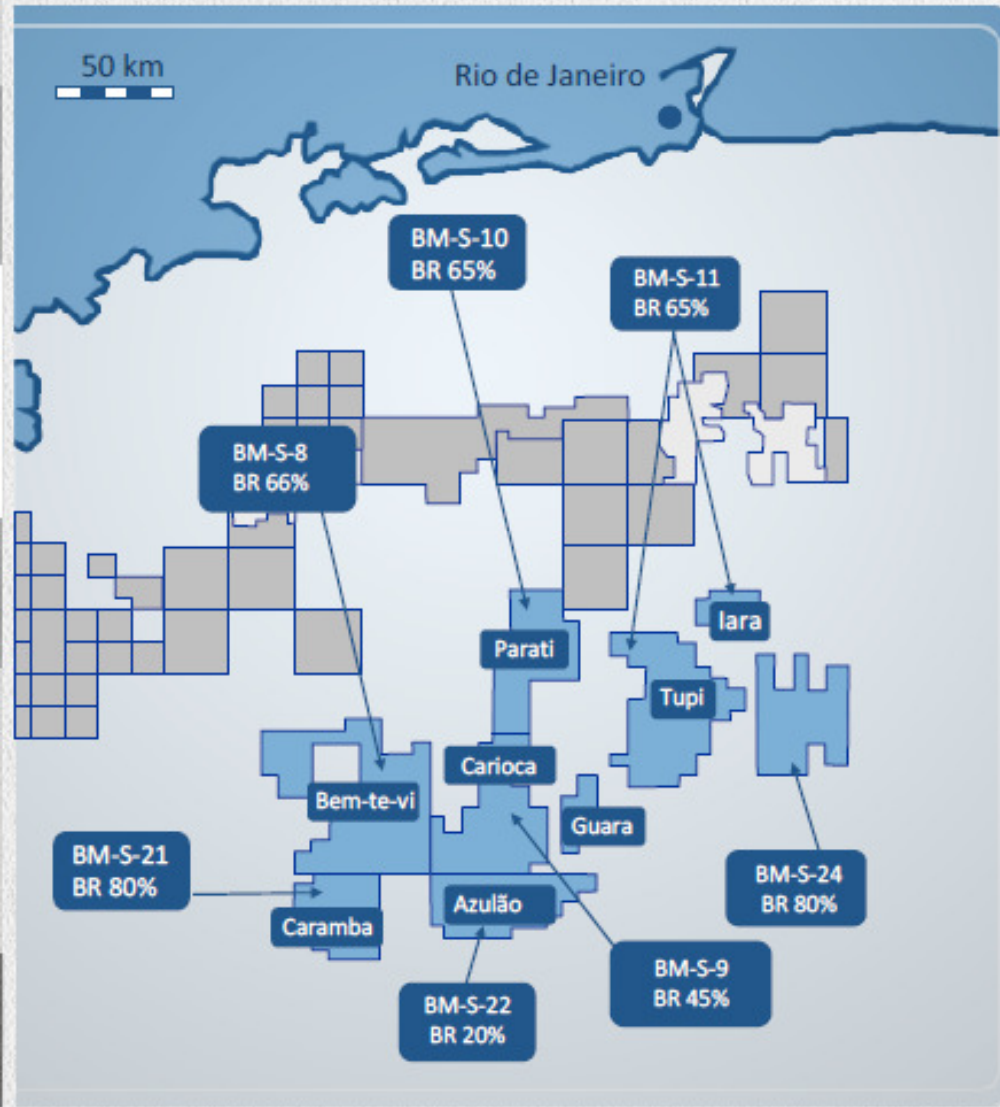
ÁREA TOTAL DA PROVÍNCIA:	149.000 KM ²
ÁREA TOTAL CONCEDIDA:	41.772 KM ² (28,03%)
ÁREA NÃO CONCEDIDA:	107.228 KM ² (71,97%)
ÁREA CONCEDIDA COM PARTIC. PETROBRAS	35.739 KM ² (24%)





**Área de Tupi
5 a 8 Bilhões de
barris**

BACIA DE SANTOS - PÓLO PRÉ-SAL



- ❏ **Descobertas:** Tupi, Iara, Carioca, Guará, Júpiter, Parati, Bem-te-vi e Caramba
- ❏ **Elevado potencial** de volumes
- ❏ Óleo de **boa qualidade:** médio-leve
- ❏ Atividade sísmica e poços de delimitações a caminho
- ❏ Estimativa de volumes recuperáveis: **5-8 bn boe em Tupi e 3-4 bn boe em Iara**
- ❏ 3 sistemas de produção até 2014: **Tupi, Iara e Guará**

Pré-Sal - Projetos confirmados:

Pilotos de Produção (5):

Tupi
Guará
Tupi Nordeste
Guará Norte
Iracema Sul

FPSOs Replicantes (8):

- 1- Tupi – Iracema
- 2- Tupi – Nordeste
- 3- Carioca – Iguaçu
- 4- Carioca – Abaré Oeste
- 5- Tupi Sul – 2
- 6- Tupi – Alto Careca
- 7- Guará Norte
- 8- Iara Oeste



6. Desafios do Pré-sal

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

Aumento da complexidade do processamento de fluidos



- **CO2 Removal Unit**
- **CO2 Turbocompressors**
- **Exportation Gas Motocompressors**
- **Flare Gas Recovery Unit**
- **Injection Gas Motocompressors**
- **Main Gas Motocompressors**
- **Printed Circuit Heat Exchanger**

8 FPSOs PADRONIZADOS - REPLICANTES

ENCONTRO TÉCNICO

MENSAL

TECNOLOGIAS
ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

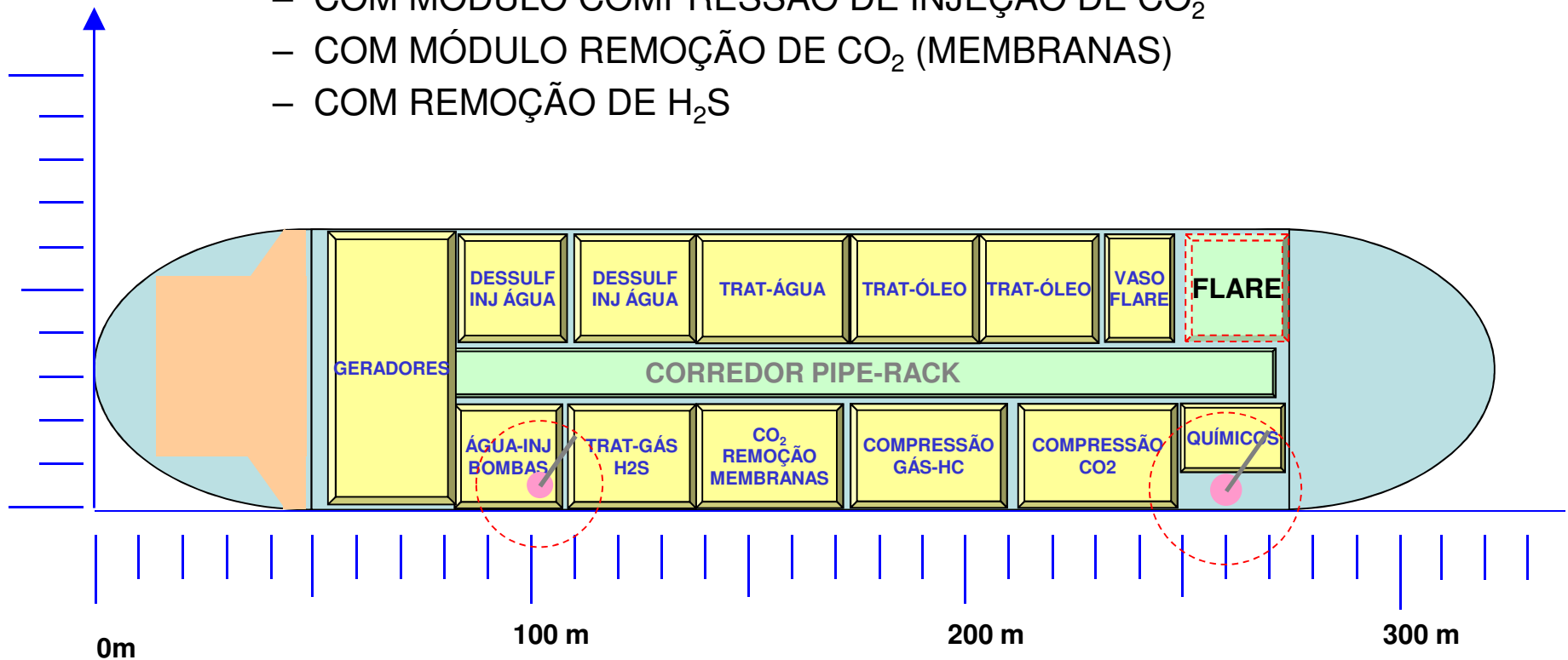


São Paulo
Section

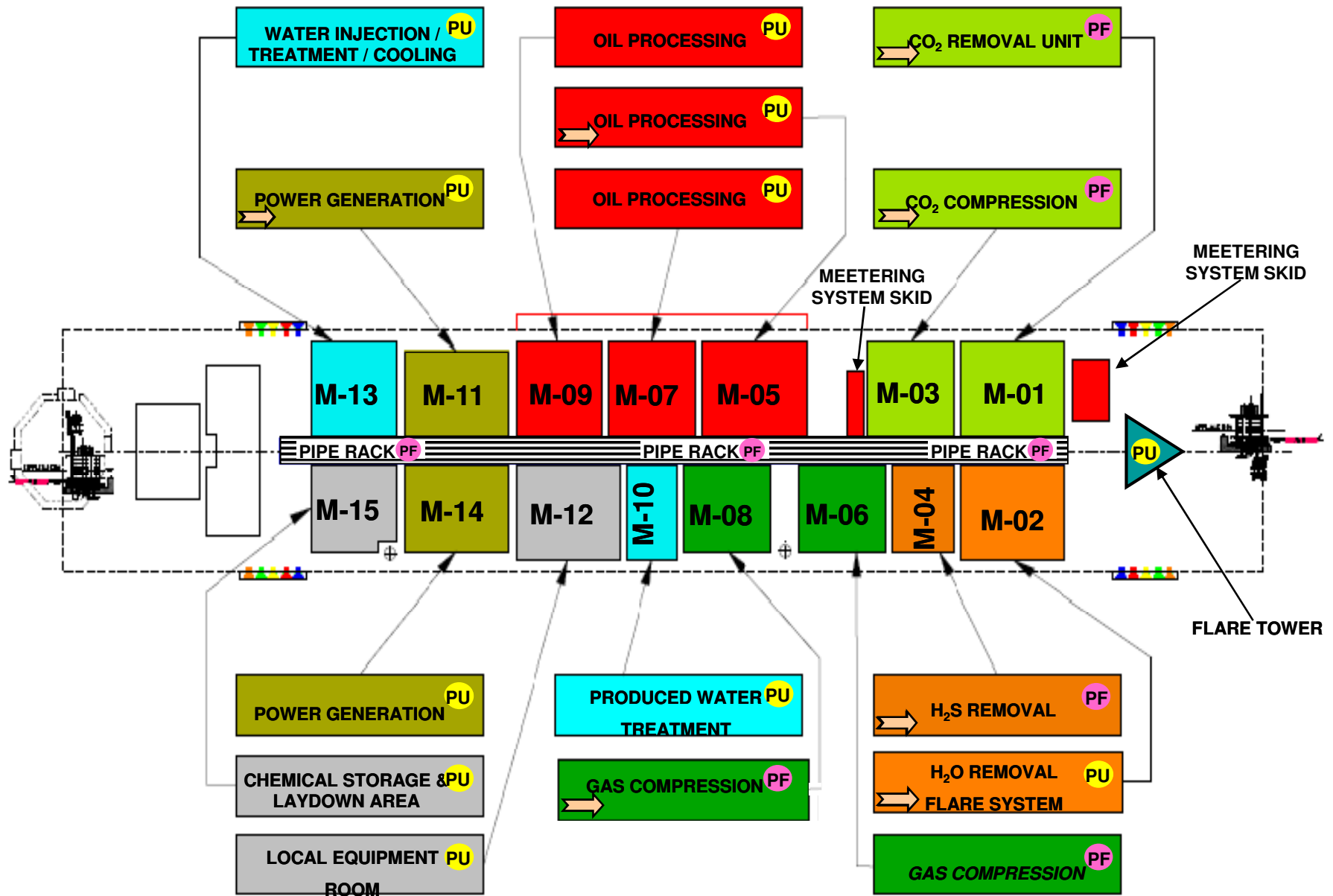
apoio



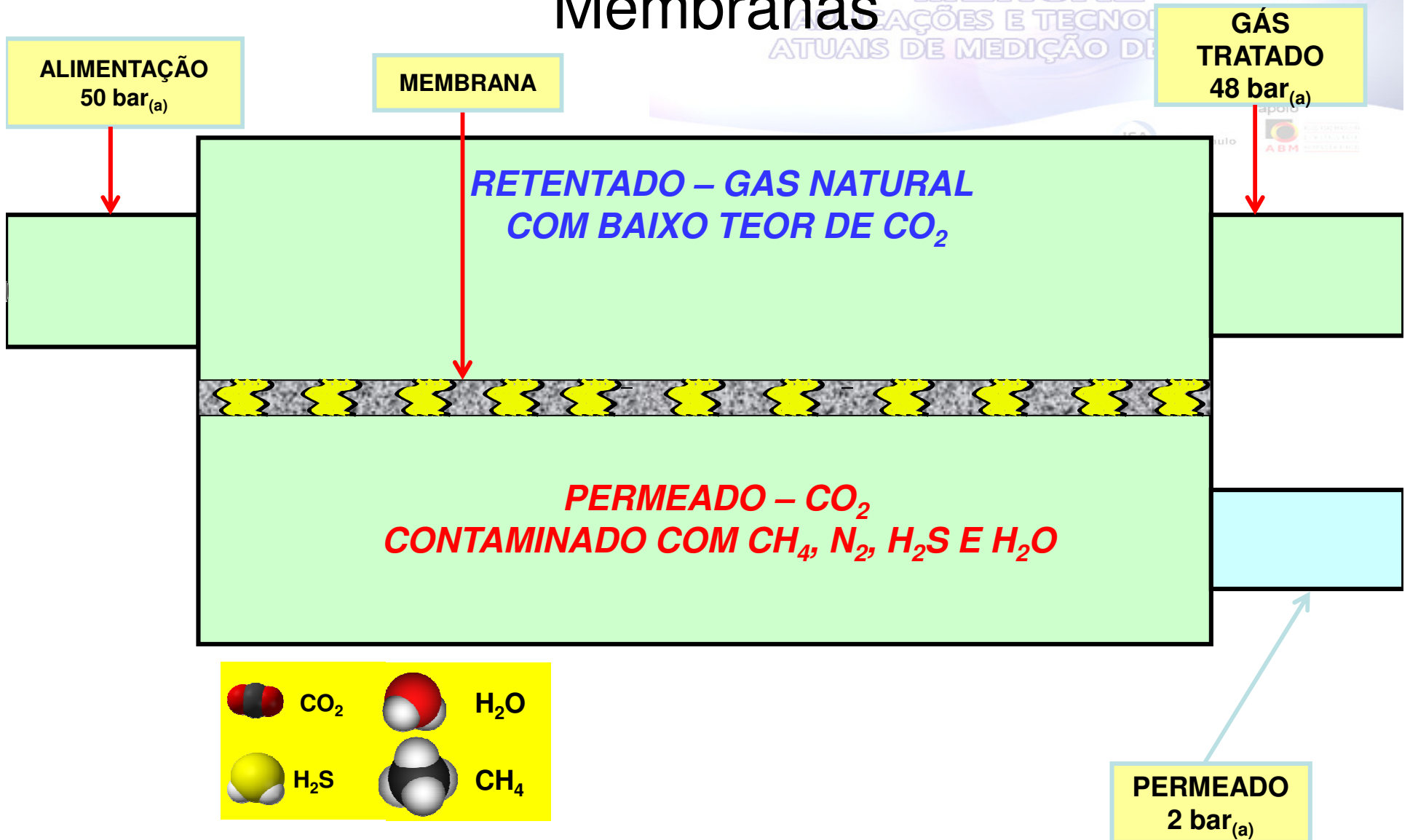
- COM MÓDULO COMPRESSÃO DE INJEÇÃO DE CO_2
- COM MÓDULO REMOÇÃO DE CO_2 (MEMBRANAS)
- COM REMOÇÃO DE H_2S



ESQUEMA DE PADRONIZAÇÃO DE MÓDULOS

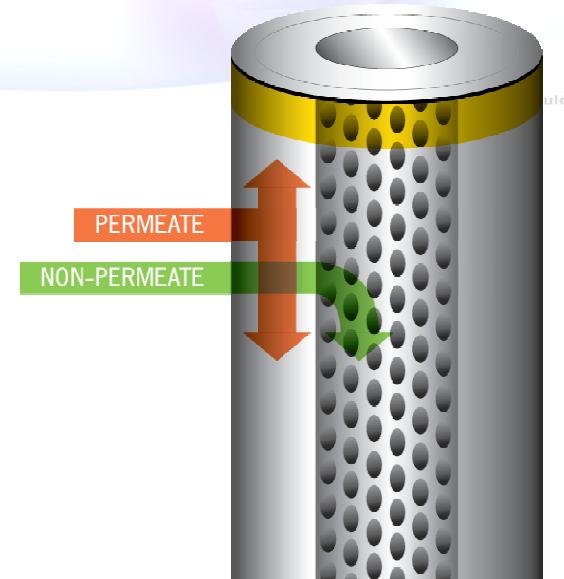


Remoção de CO₂ através de Membranas



Remoção de CO₂ através de Membranas

ENCONTRO TÉCNICO
APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS
ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

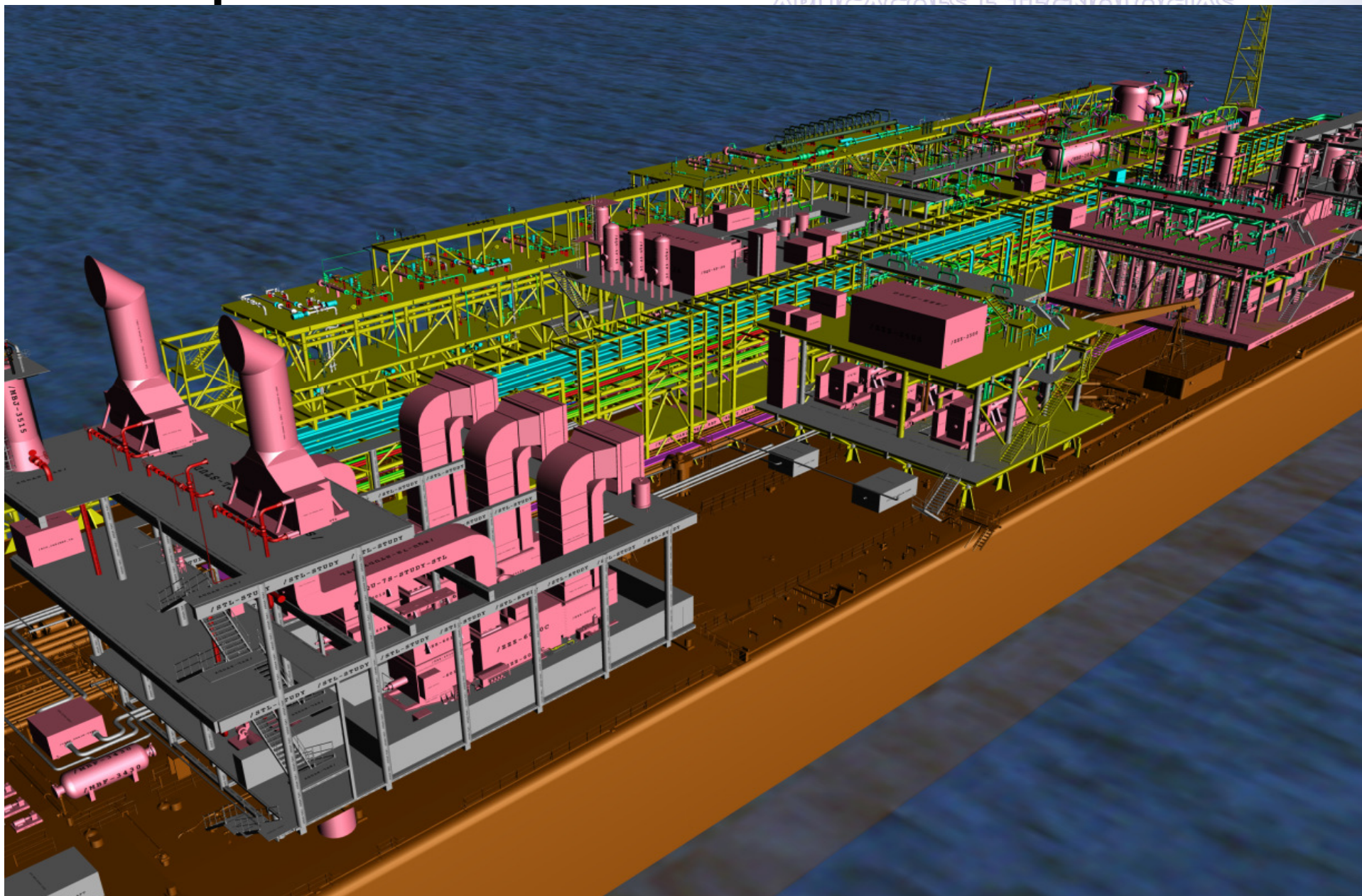


apoio
ABM



Complexidade

ENCONTRO TÉCNICO
MENSAL
APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS



6. Desafios do Pré-sal

- 6.1. medição de grandes volumes transferidos
 - Economia: altas vazões, diâmetros grandes
 - Dificuldades: calibração, transporte
 - Alternativa:
 - calibrar *in loco*
 - Fazer verificações com fluidos alternativos
 - Estudo da PUC-Rio (ultrassônicos): verificações com o fluido água podem garantir rastreabilidade.



São Paulo
Seccion



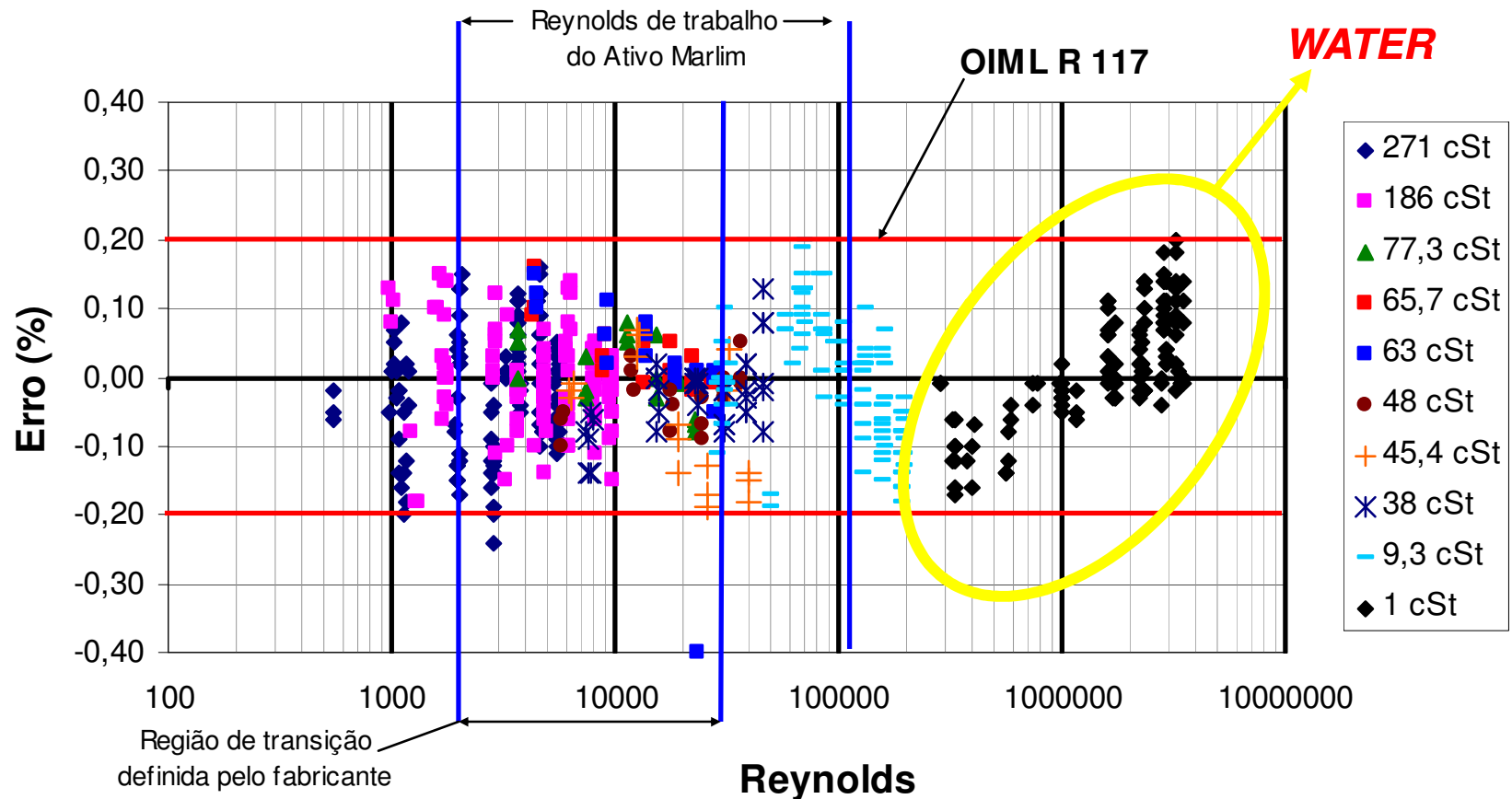
Estudo da PUC-Rio (ultrassônicos): verificações com o fluido água podem garantir rastreabilidade

Total of 10 fluid calibrations (meters 6" - 24")
(SPSE, etc.)

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO



Influência da viscosidade para os medidores Altosonic V de 600 mm do Ativo Marlim



6. Desafios do Pré-sal

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZAO

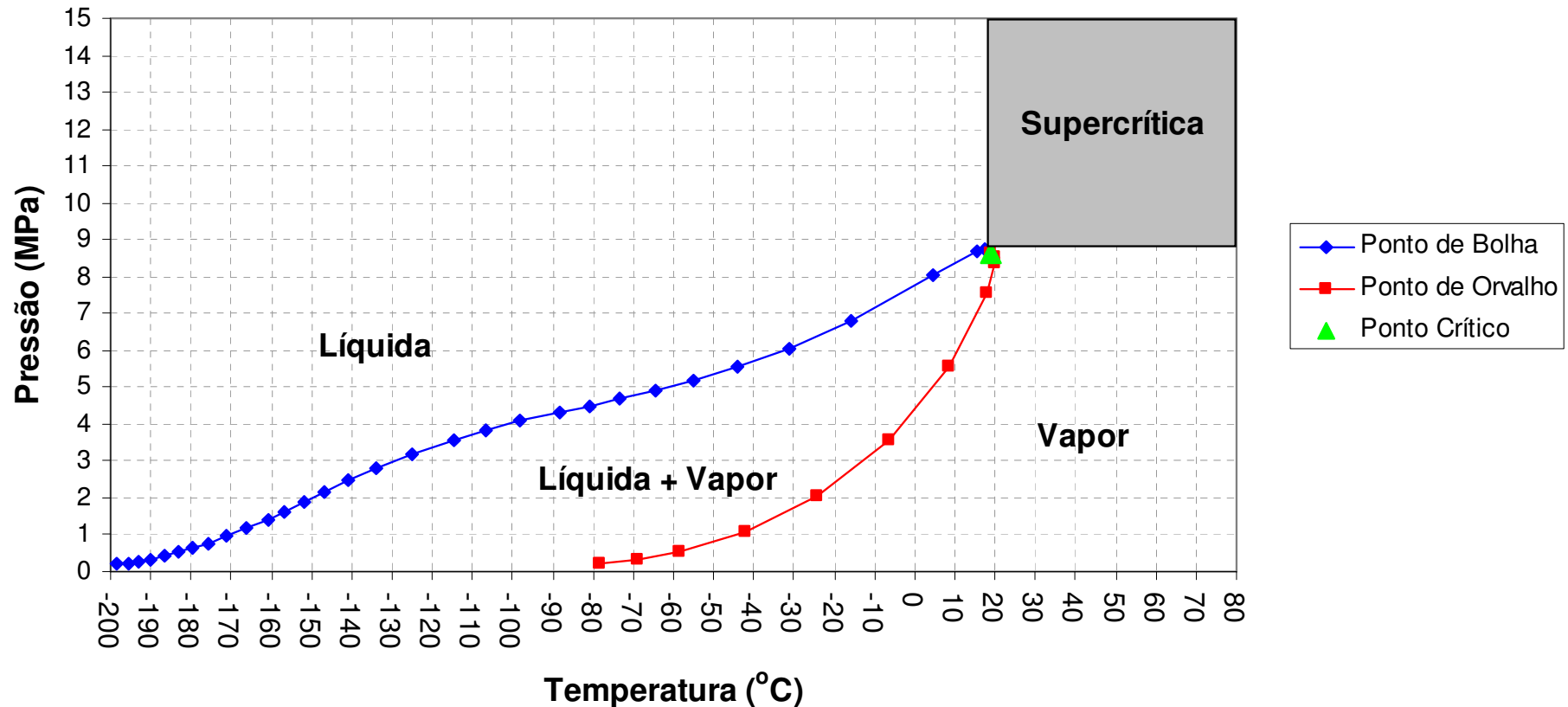


São Paulo
Section

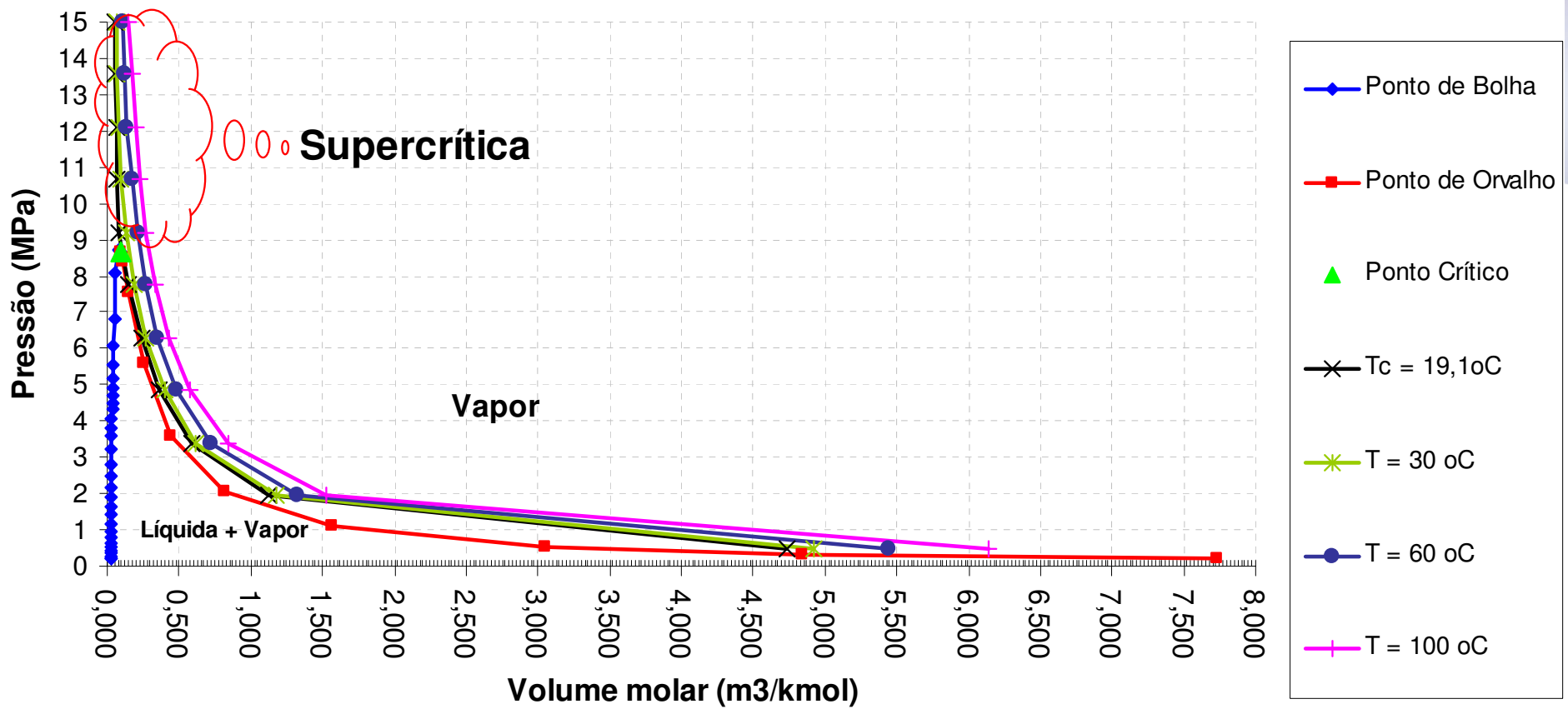


- 6.2. medição de CO₂ injetado
 - A injeção de CO₂:
 - Objetivo: aumentar a recuperação de óleo no reservatório ou sequestro de carbono que seria lançado à atmosfera.
 - Condições:
 - altas pressões nos reservatórios (**injeção: 500 bar**): operação segura e facilidades de medição.

ENCONTRO TÉCNICO
MENSAL
APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS
ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO



A região “Supercrítica”, ou às vezes, denominada de fase “Densa” ou fluido “Denso”, pode ser definida para uma substância pura aquela em que a pressão e temperatura são superiores a temperatura crítica (T_c) e pressão crítica (P_c).



Sobre estas condições, o fluido na fase vapor transforma-se num fluido denso, ou seja, um fluido com massa específica que tende a se aproximar ao da fase líquida. O Gráfico apresenta este fenômeno para a mistura rica de CO₂. Para pressões acima da pressão crítica, todas as isothermas convergem para um volume específico molar semelhante ao da fase líquida (canto esquerdo do gráfico).

» **Estudo interno PETROBRAS: uso dos dispositivos do tipo Venturi ou V-Cone: adequação à erosão e menor perda de carga total, menores trechos retos**

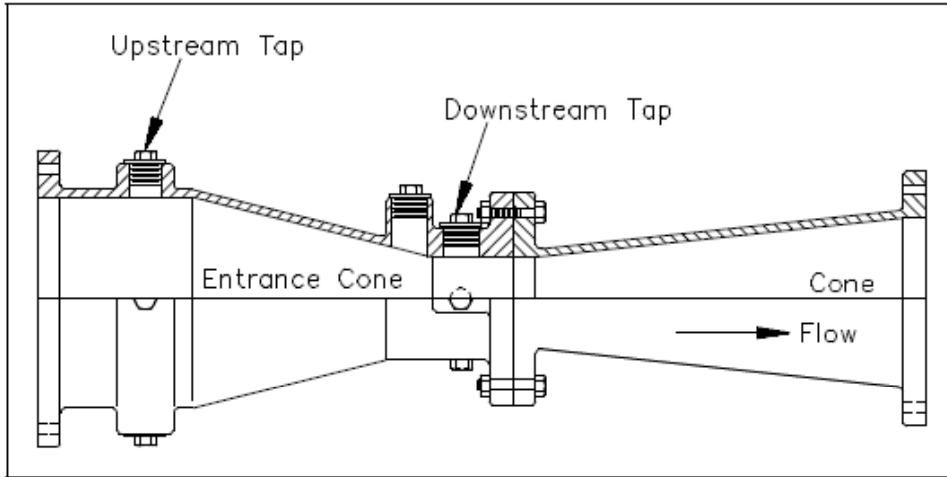
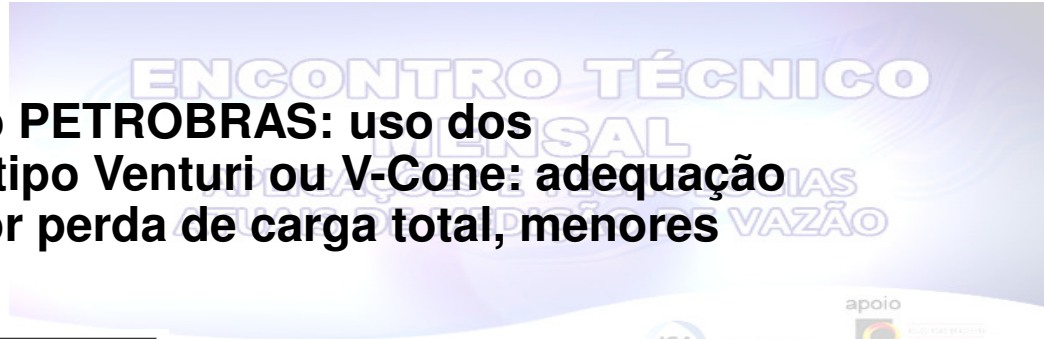
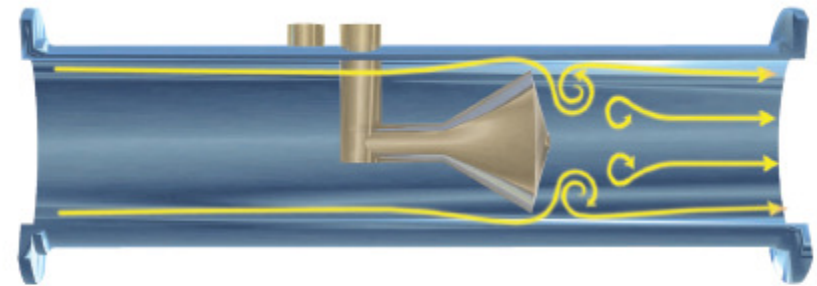


Figure 3 Venturi Tube



- **Uso da Equação do AGA-8 para uma mistura rica em CO₂ - pôde-se estimar a incerteza da medição de vazão de gás rico em CO₂ em $\pm 2,45\%$ para medição de vazão volumétrica nas condições de referência de 20 oC e 1 atm.**
- **Este valor é inferior ao previsto para medição operacional de $\pm 3,00\%$, conforme regulamento ANP-INMETRO.**
- **Em base mássica esta incerteza é reduzida para $\pm 1,40\%$.**

6. Desafios do Pré-sal

ATUAIS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

- 6.3. medição de gás de tocha

- características dessa aplicação:

- amplos ranges de vazão (“turndown”) e velocidades requeridos
- variações bruscas na pressão do escoamento
- grandes diâmetros utilizados
- necessidade de baixa manutenção
- necessidade de baixa intrusividade ao processo
- existência de variações na composição do gás devido à presença eventual de líquido (condensado ou gotículas de óleo)
- dificuldade em garantir longos trechos retos e impossibilidade do uso de condicionadores de fluxo.

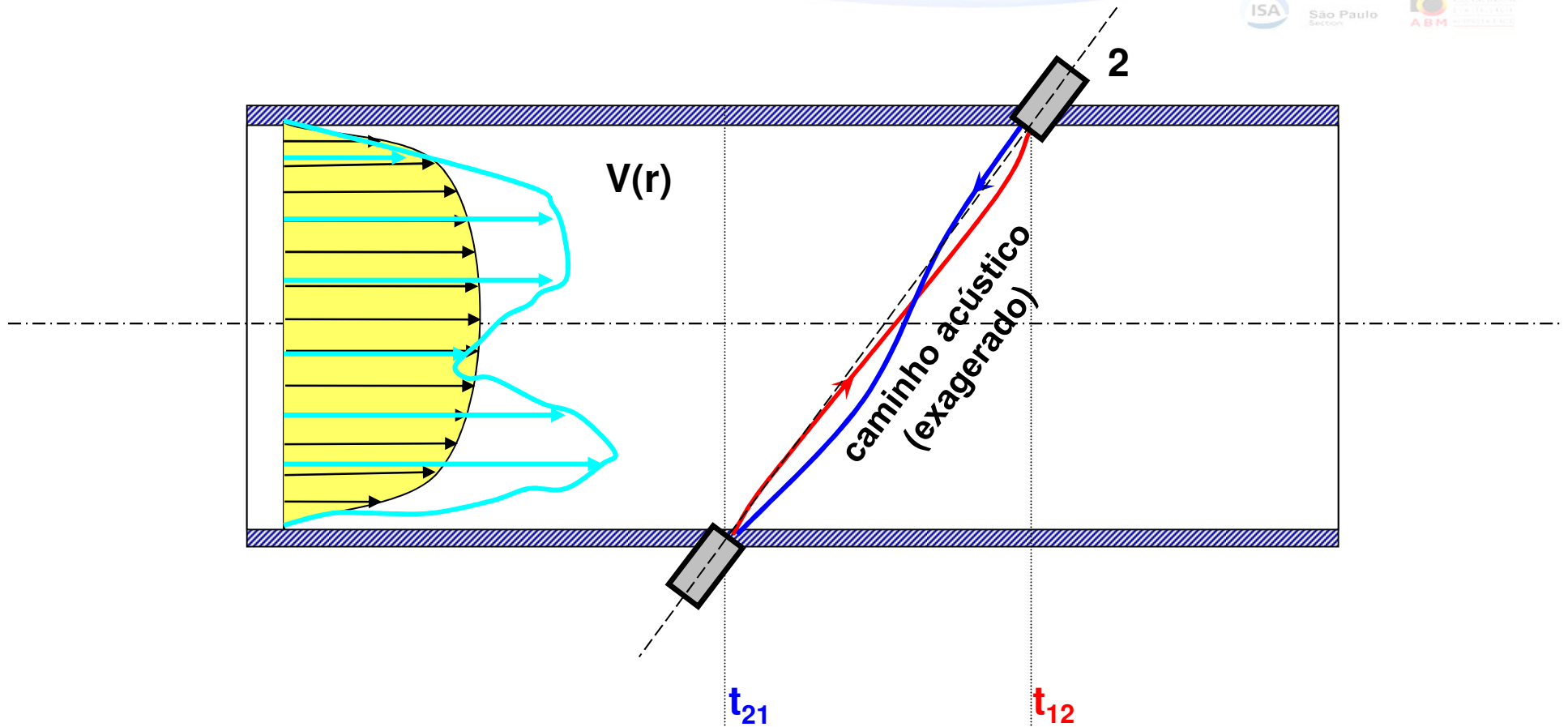
- Medidor mais usado: ultrassônico de 1 feixe



São Paulo
Section



Efeito do escoamento no sinal ultrassônico



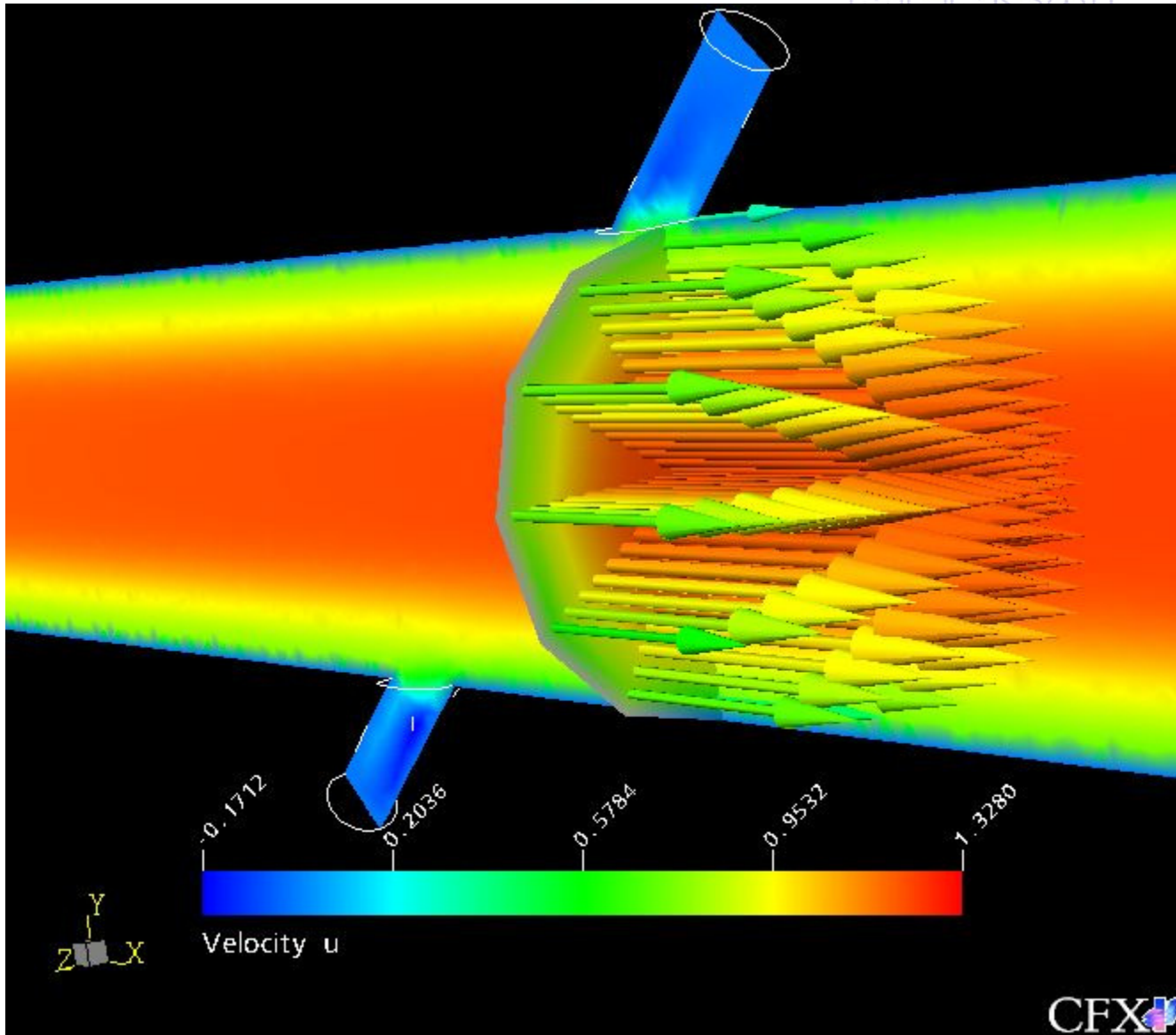
Tempo de trânsito à jusante (t_{12}) < Tempo de trânsito a montante (t_{21})

ENCONTRO TÉCNICO MENSAL

TECNOLOGIAS
EM AERONÁUTICA

apoio

São Paulo



6. Desafios do Pré-sal

• 6.4. medição analítica em linha

- requisitos adicionais dos sistemas de medição:
 - remoção e injeção de CO₂,
 - acompanhamento rigoroso da eficiência do sistema de dessulfurização do gás natural (evitar corrosão nas linhas e acessórios) pela análise de H₂S,
 - acompanhamento da eficiência do sistema de tratamento de água para descarte ou reinjeção (TOG adequado).
- analisadores em linha de processo (instrumentação analítica): instrumentos problemáticos, pois dependem de um controle efetivo de seu desempenho operacional
 - acompanhamento operacional: comparações periódicas com os valores obtidos por amostragem e análises de laboratório.



São Paulo
Seccion



6. Desafios do Pré-sal

- 6.5. compensação de CO₂ nas correntes de gás exportado e queimado
 - a injeção de CO₂:
 - para sequestro de carbono que seria lançado à atmosfera.
 - teor de CO₂ nas correntes de gás exportado e queimado (normalmente desprezado):
 - demandará pleitos de ordem ecológica e econômica, neste caso visando um incentivo à melhor eficiência operacional.

6. Desafios do Pré-sal

• 6.6. medição multifásica:

- para simplificar os processos:
 - **medidores multifásicos e de gás úmido serão necessários para a apropriação dos volumes aos poços e às concessões de produção**
 - melhor controle efetivo operacional (ex. operações de “gas-lift”)
 - possibilidade de otimização da produção.
- **Em nível internacional: status de tecnologia consolidada.**
- **No Brasil: faltam dados sobre disponibilidade e confiabilidade.**
- **Aspectos importantes: verificação periódica e atualização de parâmetros de composição dos fluidos. Muitas vezes, sua utilização nos projetos os viabilizam economicamente.**

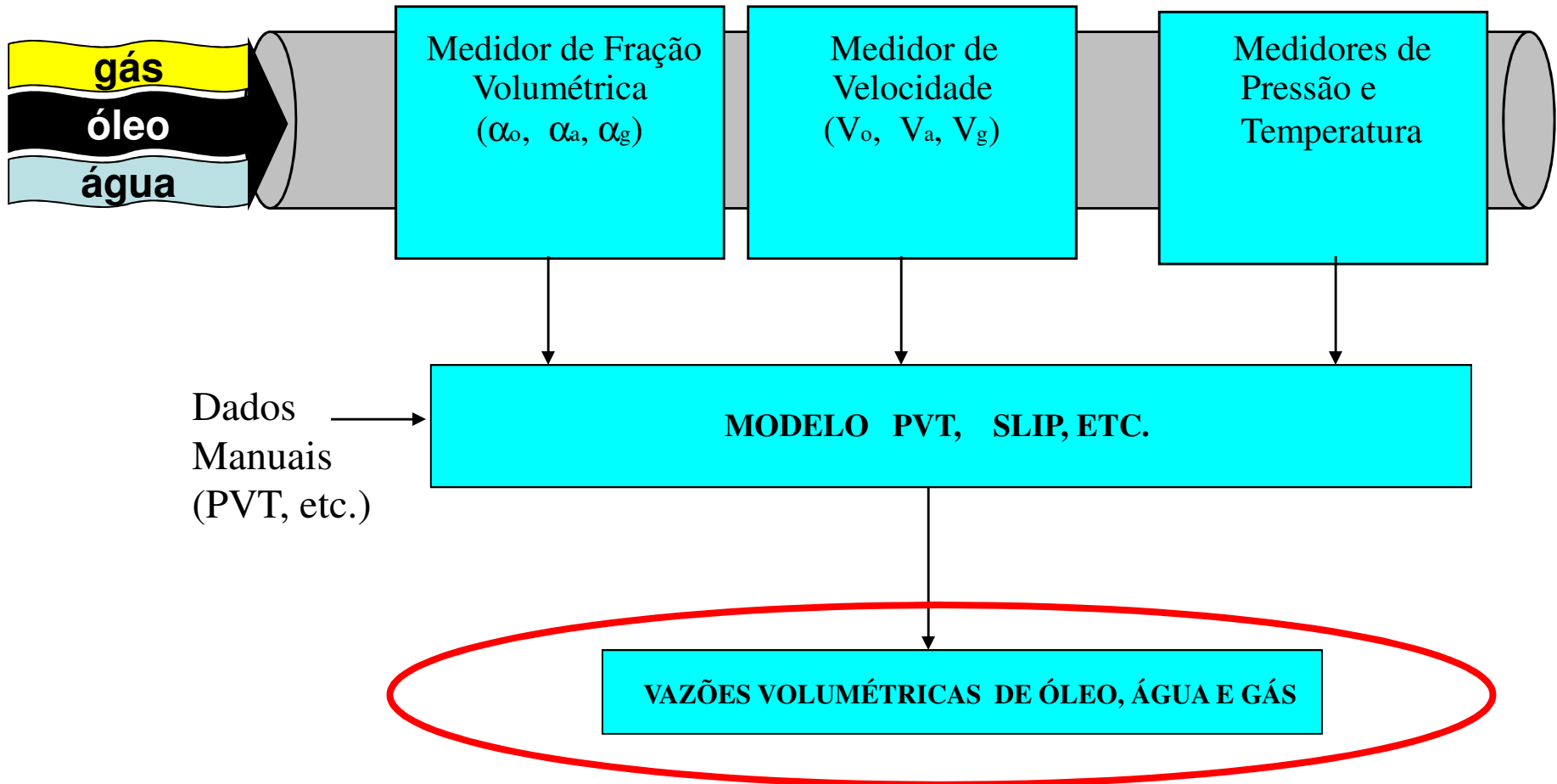


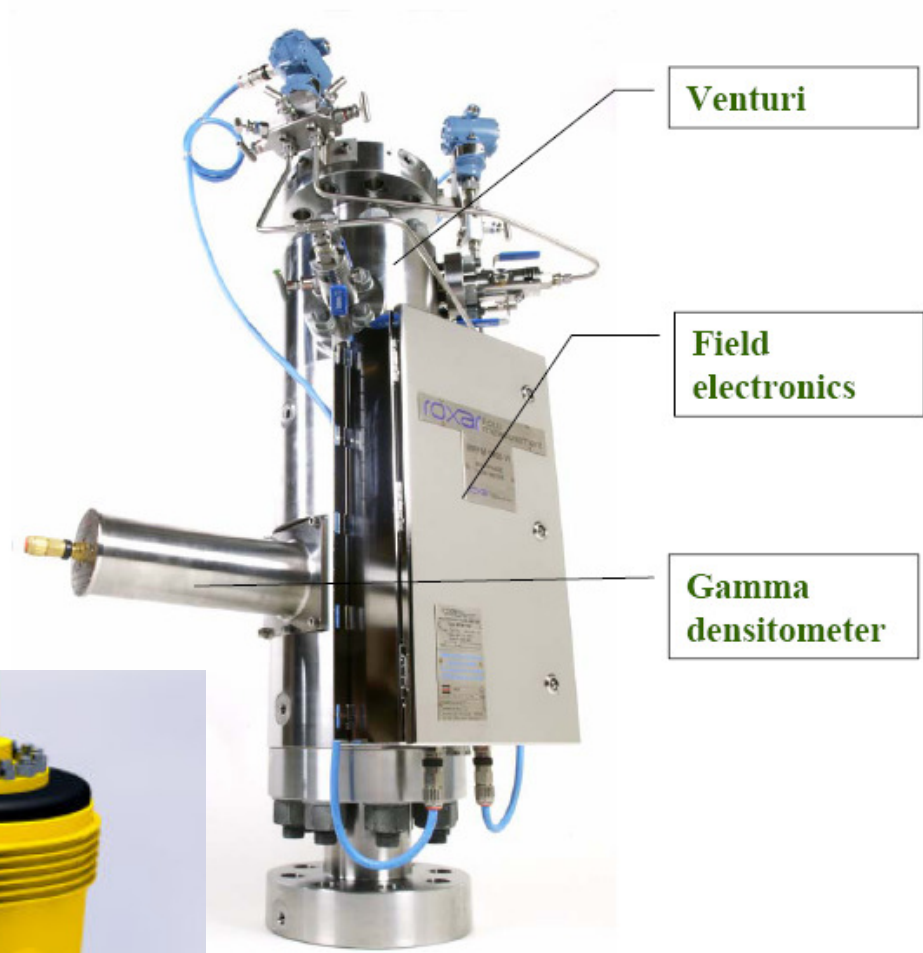
São Paulo
Section

apoio



MEDIDOR MULTIFÁSICO



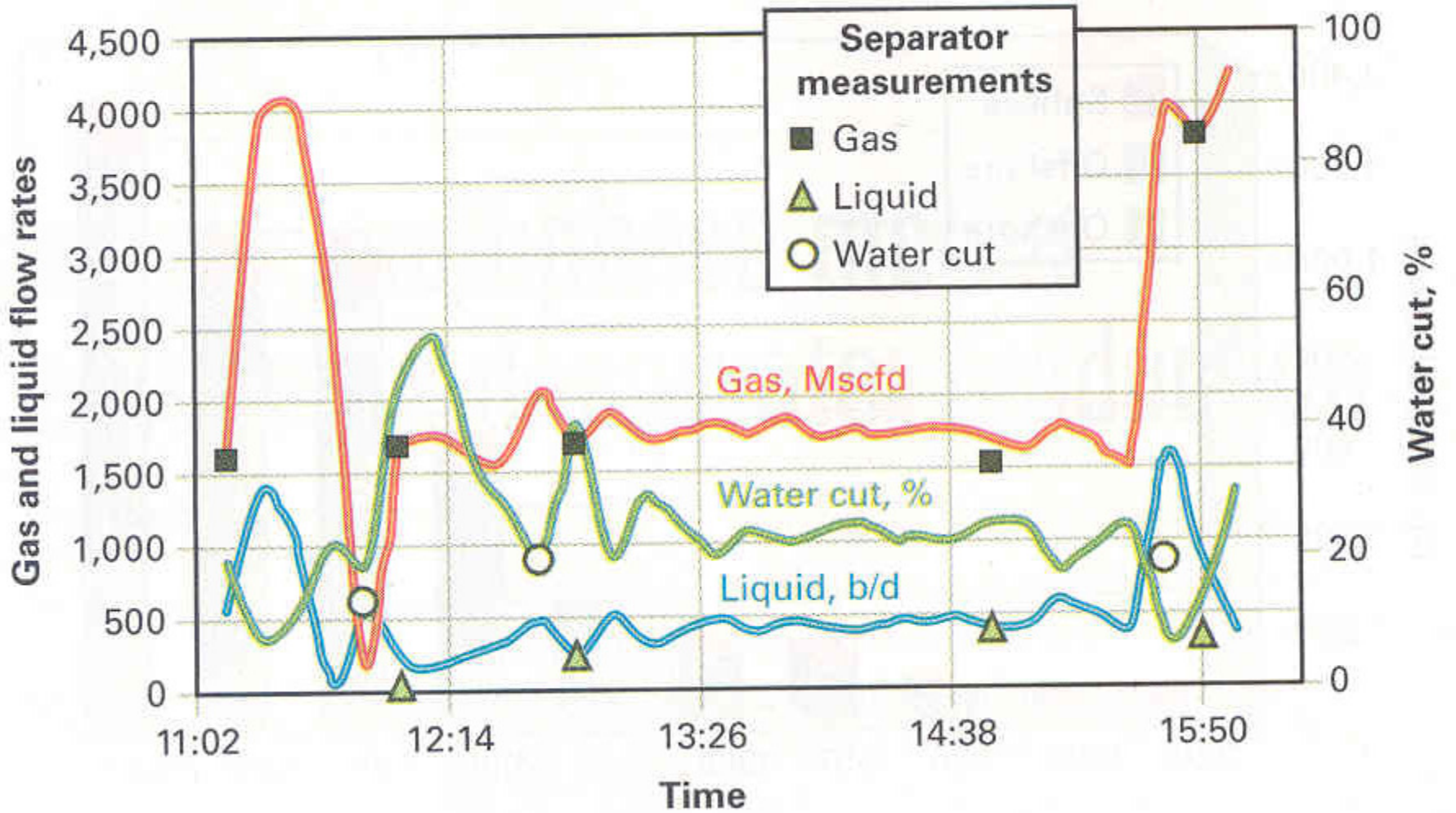


medição multifásica



COMPARISON OF MULTIPHASE, SEPARATOR MEASUREMENTS

Fig. 4



6. Desafios do Pré-sal

- 6.7. medição criogênica do GNLE
 - Possibilidade de processar o gás natural produzido no alto mar com a geração de GNL (Gás Natural Liquefeito)
 - medir este fluido em condições criogênicas e em alta pressão.
 - As unidades de GNLE (Unidades de Liquefação de Gás Natural Embarcada) são uma das soluções tecnológicas de transporte para escoar o gás natural produzido nas camadas de Pré-sal.
 - Analisar: calibração e verificação periódica dos medidores de vazão nestas condições extremas

LNG-FPSO

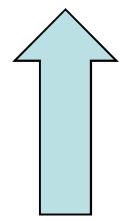
**Unidades de GNLE
(Liquefação de Gás Natural Embarcada)**



Navio LNG



Gás Produzido dos FPSOs



7. Conclusões (1/2)

- Há grandes desafios para a medição de petróleo e gás natural nos campos do Pré-sal: grandes vazões, controle efetivo das variáveis secundárias associadas, tais como os contaminantes no gás natural, e a operação em níveis fora dos limites das normas convencionais, como é o caso das altas temperaturas e altas pressões.
- Medidores de vazão com grandes diâmetros são difíceis de calibrar e transportar e, assim, deverão ser disponibilizadas facilidades de calibração e verificação *in loco*, a fim de simplificar a logística e os procedimentos operacionais. Validar as verificações em laboratórios em terra utilizando fluidos alternativos.

7. Conclusões (2/2)

- Aspectos como medição de CO₂ injetado nos campos, medição de gás de tocha, medição analítica em linha (teor de CO₂, H₂S e umidade no gás natural), medição multifásica e medição em condições criogênicas serão objeto de consolidação tecnológica nos próximos dez anos.
- O sequestro de carbono que possa ser lançado à atmosfera será objeto de regulamentação nas correntes de gás com teores de CO₂ exportado e queimado. Tal conteúdo, normalmente desprezado e contabilizado como se gás natural fosse, demandará pleitos de ordem ecológica e econômica, neste caso visando um incentivo à melhor eficiência operacional.



Obrigado!

jose.pinheiro@petrobras.com.br

00001110101011100111

INVISTA EM VOCÊ

Cursos de Qualificação Profissional
ISA Distrito 4

"COMO MEDIR A VAZÃO DE LÍQUIDOS E GASES" 19 a 22 de outubro

INFORMAÇÕES

ISA - Distrito 4

Av. Ibirapuera, 2120 - Conjuntos 164/165 - 04028-001 - São Paulo, SP

Telefone: (11) 5053-7404

michelle@isadistrito4.org.br



ISA - International Society of Automation™

América do Sul
Distrito 4

ISA DISTRITO 4 - Associação Sul-Americana de Automação

Av. Ibirapuera, 2120 - Conjuntos 164/165 - CEP: 04028-001 - São Paulo/SP

Telefone: (11) 5053-7404

treinamento@isadistrito4.org.br