



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS CURITIBA

DEPARTAMENTO DE MECÂNICA

ANDRESSA PINTO MICHAEL

**CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL PRELIMINAR
DA FORMAÇÃO DE HIDRATOS DE METANO COM
FLUIDOS DE PERFURAÇÃO NA INDÚSTRIA DO
PETRÓLEO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

ANDRESSA PINTO MICHAEL

**CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL PRELIMINAR
DA FORMAÇÃO DE HIDRATOS DE METANO COM
FLUIDOS DE PERFURAÇÃO NA INDÚSTRIA DE
PETRÓLEO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fernando dos Santos Rossi

Co-Orientador: Prof. Dr. Rigoberto Eleazar Melgarejo Morales

CURITIBA

2015

TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho, por meio deste termo, encaminhar para apresentação a monografia do Projeto de Pesquisa “CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA FORMAÇÃO DE HIDRATOS COM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO, NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO”, realizada pela aluna Andressa Pinto Michael, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 – Tcc 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fernando dos Santos Rossi

Co- Orientador Prof. Dr. Rigoberto Eleazar Melgarejo Morales
UTFPR - Damec

Curitiba, 14 de Abril de 2015

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL PRELIMINAR DA FORMAÇÃO DE HIDRATOS DE METANO COM FLUIDO DE PERFURAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO", realizado pela aluna Andressa Pinto Michael, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Luciano Fernando dos Santos Rossi

DAMEC, UTFPR

Orientador

Prof. Dr. Rigoberto Eleazar Melgarejo Morales

DAMEC, UTFPR

Co - Orientador

Prof. Dr. Admilson Teixeira Franco

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Prof. MSc. Raul Henrique Erthal

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Curitiba, 14 de Abril de 2015.

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Obrigado por nunca medirem esforços para que minha felicidade seja completa e por fazerem parte de mais essa conquista. Ao meu namorado que ao longo desse período de graduação foi um amigo e colega dedicando-se e apoiando -me durante toda essa jornada, sempre com muita paciência para me explicar quaisquer dúvidas que apareciam ao longo do curso, sem dúvida contribui para o final de mais uma etapa.

A MSc. Eng. Celina Kakitani por todo o suporte, apoio e discussões que muito contribuíram ao projeto de pesquisa. Além da sua enorme paciência sempre estando presente para ajudar e tirar qualquer tipo de dúvida. Seus conhecimentos e ajudas foram fundamentais para a conclusão desse projeto. Aos meus amigos e colegas de curso, por todos os momentos compartilhados nesse tempo de graduação.

Agradeço o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás (PRH-ANP/MCT) e do Programa de Formação de Recursos Humanos da PETROBRAS (PRH10-UTFPR). O projeto não seria possível sem tal apoio.

Ao orientador do projeto, Prof. Dr. Luciano Fernando dos Santos Rossi, pela oportunidade de pesquisa na área e pelo suporte, orientação e dedicação, não somente durante a realização do projeto de conclusão de curso como no decorrer de todo o período em que fui bolsista de iniciação científica.

RESUMO

Hidratos são sólidos cristalinos, compostos por moléculas de água e moléculas de gás ou líquido (geralmente hidrocarbonetos de baixo peso molecular). No setor petrolífero, com a crescente demanda da exploração de poços cada vez mais profundos, cria-se um cenário favorável à formação de plugues de hidratos durante as atividades de perfuração. Os hidratos podem obstruir as tubulações acarretando em prejuízos financeiros como por exemplo com possíveis interrupções nas atividades para realizar a retirada do plugue além de danos causados nas linhas, comprometendo a segurança das atividades no processo de perfuração. No presente trabalho é realizado o estudo experimental do equilíbrio de fases de hidratos com fluido de perfuração base água. Com a finalidade de conhecer as propriedades dos componentes do fluido é realizada a caracterização da amostra de fluido de perfuração. Experimentos com fluido e gás metano foram realizados em uma célula de equilíbrio de fases de alta pressão, utilizando o método isocórico, onde os parâmetros de pressão e temperatura foram monitorados, resultando no diagrama de equilíbrio de fases P(pressão) × T(temperatura). Com os resultados obtidos experimentalmente foi possível identificar as condições de pressão e de temperatura onde ocorre a formação de hidratos além de avaliar a influência do NaCl presente na amostra de fluido de perfuração na curva de equilíbrio de hidratos com gás metano. A partir das comparações realizadas com resultados para a formação de hidratos de água e metano foi possível observar que a curva de equilíbrio do fluido de perfuração encontra-se deslocada à esquerda da curva de equilíbrio de hidratos de água, sendo possível concluir por meio dos testes realizados que entre componentes presentes na amostra de fluido, o NaCl se destaca dos demais atuando como um inibidor na formação de hidratos.

Palavras-chave: Formação de hidratos, Fluido de perfuração, Curvas de equilíbrio, estudo experimental

ABSTRACT

Hydrates are crystalline solids composed of water molecules and molecules of gas or liquid (usually low molecular weight hydrocarbons). In the oil sector, with the growing demand for the exploration of increasingly deep wells, a favorable environment for the formation of hydrate plugs during the well drilling is created. These can clog the pipes resulting in financial losses (possible interruptions in the operation to make the removal of the plug and damage to the lines) and compromising the safety in this activity. In this work the experimental study of hydrate phase equilibrium with water based drilling fluid was carried out. In order to know the properties of the fluid components a characterization of the drilling fluid sample was also performed. Experiments with drilling fluid and methane were performed in a high-pressure phase equilibrium cell using the isochoric method, where the pressure and temperature parameters were monitored, resulting in a phase equilibrium diagram P (pressure) × T (temperature). With the experimental results it was possible to identify the conditions of pressure and temperature in which hydrate formation occurs and to evaluate the influence of the components of the drilling fluid in the equilibrium hydrate curve with methane. When compared to results obtained for water and methane hydrates formation it was observed that the equilibrium curve for drilling fluid hydrates is displaced to the left side leading to the conclusion that among the drilling fluid components, the NaCl stands out as a hydrate formation inhibitor.

Keywords: Hydrate formation, drilling fluid, equilibrium curve, experimental study

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular do hidrato	12
Figura 2 - Esquema dos equipamentos de perfuração.....	13
Figura 3 - Remoção de um plugue de hidrato do interior de uma tubulação de gás natural.	16
Figura 4 - Diagrama de Fases para Sistema de Hidrato	26
Figura 5 - Curva de Equilíbrio- gás Metano + NaCl.....	27
Figura 6 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de metano	29
Figura 7 - Diagrama de equilíbrio	29
Figura 8 - Teste de vazamento.....	30
Figura 9 - Esquema da bancada LACIT	32
Figura 10 - Imagem da bancada no LACIT	34
Figura 11 - Diagrama de fases de hidrato de metano	35
Figura 12 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + CO ₂	38
Figura 13 - Imagem do fluido de perfuração + CO ₂	39
Figura 14 - Amostras de fluido de perfuração	39
Figura 15 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + Metano	41
Figura 16 - Sistema de hidratos	42
Figura 17 – Diagrama de temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + Metano para novas condições iniciais	43
Figura 18 - Etapas do ciclo de formação de hidratos	45
Figura 19 - Ponto de Equilíbrio de hidrato de fluido de perfuração + metano	46
Figura 20 - Comparação entre os resultados experimentais e Kakitani (2014)	47

Figura 21 - Comparação com resultados modelagem 10% NaCl, experimentais presente trabalho e experimentais Kakitani (2014)	49
Figura 22 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + Metano utilizando de uma nova metodologia.....	50
Figura 23 - Esquema da nova bancada	53
Figura 24 - Imagem da nova bancada.....	53
Figura 25 – Rosca traseira	57
Figura 26 – Rosca dianteira	58
Figura 27 – Corpo da célula	59
Figura 28 – Conexões termopar e linhas de gás.....	59
Figura 29 – Mangueiras de circulação de água.....	60
Figura 30 – Banho termostático	60
Figura 31 –Função do banho termostático	61
Figura 32 – Seleção do programa desejado.....	61
Figura 33 – Edição do programa	62
Figura 34 – Escolha das prioridades do experimento	62
Figura 35 – Controladores das bombas	63
Figura 36 – Válvulas de circulação de gás	64
Figura 37 – Painel de informações da bomba	64
Figura 38 – Linha de circulação de gás do cilindro para a bomba	65
Figura 39 –Fonte para aquisição dos dados	65
Figura 40 – Interface do programa Labview	66
Figura 41 – Válvula de purga do sistema	67
Figura 42 - Conjunto de peças das célula de equilíbrio.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos fluidos de perfuração.....	22
Tabela 2 – Componentes do Fluido BR CARB SAPINHOA 11	24
Tabela 3 - Descrição do aparato experimental.....	33
Tabela 4 - Condições de operação dos testes experimentais	37
Tabela 5 – Resultados obtidos com fluido de perfuração e metano.....	46
Tabela 6 - Comparação entre os resultados numéricos e experimentais.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	16
1.2	JUSTIFICATIVAS	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	TIPOS DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO	19
2.1.1	FLUIDO DE PERFURAÇÃO A BASE ÁGUA	20
2.1.2	FLUIDO DE PERFURAÇÃO A BASE ÓLEO	21
2.1.3	FLUIDOS DE PERFURAÇÃO A BASE AR	22
2.2	VANTAGENS E DESVANTAGENS	22
2.3	CARACTERIZAÇÃO DO FLUIDO DE PERFURAÇÃO A SER TESTADO	24
2.4	FORMAÇÃO DE HIDRATOS EM SOLUÇÕES SALINAS	25
3	METODOLOGIA	28
3.1	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	28
3.2	TESTE DE VAZAMENTO	30
3.3	DESCRIÇÃO DA BANCADA	30
3.4	JUSTIFICATIVA DA METODOLOGIA	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS	36
4.2	TESTES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO FLUIDO DE PERFURAÇÃO + CO ₂	37
4.3	TESTES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO FLUIDO DE PERFURAÇÃO + METANO	40
4.3.1	RESULTADOS DOS DADOS EXPERIMENTAIS	40
4.3.2	AQUISIÇÃO DO PONTO DE EQUILÍBRIO	45
4.4	TESTES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO FLUIDO DE PERFURAÇÃO + METANO A PARTIR DE UMA NOVA METODOLOGIA	49
5	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	51
	REFERÊNCIAS	54
	APENDICE A – PROCEDIMENTO PARA OPERAÇÃO DA BANCADA DE FORMAÇÃO DE HIDRATOS	57

1 INTRODUÇÃO

A formação de hidratos se deve a mistura de gás e água, em altas pressões, baixas temperaturas ou em ambos os casos. As moléculas de água se unem através de ligações de hidrogênio e formam entre si cavidades onde podem prender moléculas de gases como o metano (maior constituinte do gás natural, em média), butano, etano, propano, entre outros. A estrutura cristalina conhecida como hidrato somente se estabiliza se houver a oclusão das moléculas de gás. A estabilização pode ocorrer sob a forma de três estruturas cristalinas (estrutura I, estrutura II e estrutura H) (SLOAN; KOH, 2008). A Figura 1 - Estrutura molecular do hidrato ilustra molecularmente um hidrato de estrutura I, com suas moléculas de água em vermelho e a molécula de gás em verde.

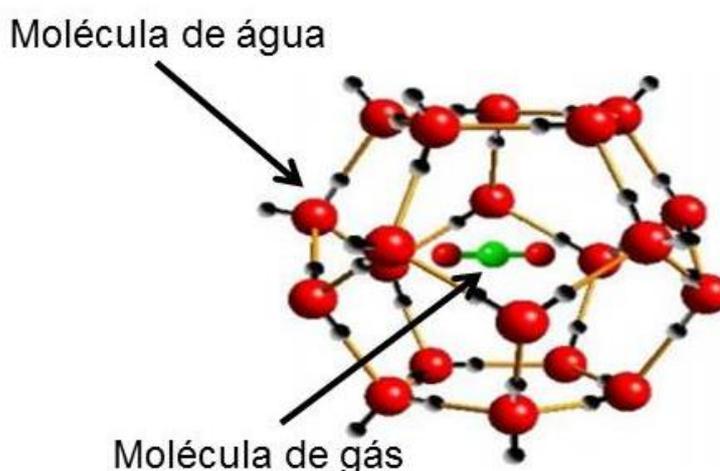


Figura 1 - Estrutura molecular do hidrato

Fonte: Dias (2014)

O estudo da formação de hidratos é de grande importância para a indústria de petróleo. Ambientes com altas pressões e/ou baixas temperaturas se tornam favoráveis para o seu aparecimento. A formação de hidratos é mais comum na etapa de produção de óleo e gás com o bloqueio das linhas de transporte de hidrocarbonetos podendo levar ao bloqueio das linhas acarretando em prejuízos financeiros. No entanto, com as atividades de perfuração ocorrendo em águas cada

vez mais profundas, encontra-se a necessidade de estudar a formação de hidratos que pode ocorrer da mistura de fluido de perfuração com o gás natural proveniente da formação rochosa.

O processo de formação de hidratos nos poços de perfuração pode ocorrer da seguinte forma: Quando faturada, a formação rochosa pode liberar hidrocarbonetos gasosos, que em contato com a fase aquosa constituinte de alguns fluidos de perfuração e a existência das condições termodinâmicas necessárias, pode levar a formação de hidratos. A Figura 2 ilustra resumidamente o processo de perfuração de um poço petrolífero.

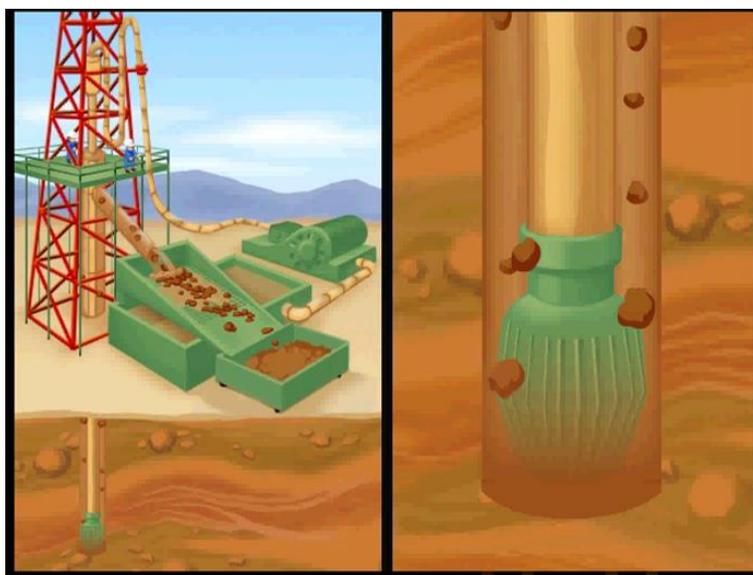


Figura 2 - Esquema dos equipamentos de perfuração

Fonte: Schlumberger, 2005

O fenômeno de formação de hidratos de acordo com Santos (2006) pode causar os seguintes problemas: (a) entupimento das *choke lines* e das *kill lines* (tubulações de acesso secundário ao poço); (b) obstrução do espaço anular (espaço existente entre a coluna de perfuração e a formação rochosa) abaixo do BOP (válvula para controle de erupções gasosas, explosões); (c) prisão da coluna de perfuração devido à formação de hidratos no *riser* (equipamento que conecta a cabeça do poço à plataforma), em frente ao BOP ou no revestimento; (d) dificuldade na abertura e no fechamento das gavetas do BOP. As situações acima implicam

perda de produtividade, danos em equipamentos e comprometimento da segurança das atividades e bloqueio das linhas de transporte. Além disso, muitas vezes é necessário interromper completamente as operações de perfuração para a remoção de hidratos. Os hidratos têm grande influência no cenário econômico da indústria do petróleo. O seu aparecimento pode gerar grandes perdas econômicas, tendo em vista que as operações de perfuração têm custo altíssimo. Isto motiva o desenvolvimento de pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de métodos para prevenir a formação de hidratos em atividades de perfuração. Normalmente, utilizam-se compostos químicos denominados inibidores para a prevenção da formação de hidratos.

Os diversos tipos de inibidores são separados em três principais classes sendo os inibidores termodinâmicos, os inibidores cinéticos e os inibidores antiaglomerantes (PICKERING et. al, 2001). Cada classe de inibidor tem por finalidade, tentar inibir ou atrasar a formação dos hidratos.

Os inibidores termodinâmicos tradicionais têm como propósito deslocar a curva de equilíbrio de formação de hidratos para temperaturas mais baixas e pressões mais altas. Através de experiências comprovadas, são considerados eficazes e confiáveis, porém, ambientalmente são prejudiciais, considerados tóxicos e perigosos. (PICKERING et al, 2001). São exemplos de inibidores termodinâmicos mais utilizados: o metanol, o etanol (principalmente no Brasil, devido a facilidade de transporte e preço) e o monoetileno glicol (MEG). Outros glicóis e os sais inorgânicos (NaCl, etc) também podem ser utilizados (CARVALHO, 2010).

O metanol juntamente com monoetilenoglicol é o inibidor termodinâmico mais utilizado, algumas de suas vantagens são: i/ mais eficiência na diminuição de temperatura de formação de hidratos que glicóis; ii/ menos viscoso; iii/ melhor para remediar a formação de blocos de hidratos; iv/ é injetado diretamente no poço, sendo pouco provável afetar a perfuração. Entre suas desvantagens pode-se destacar: i/ o metanol pode não se espalhar por todos os locais consequentemente causando perigo de formação de hidratos nos locais não alcançados pelo inibidor; ii/ problemas com leis ambientais com o seu descarte (CARVALHO, 2010).

Os inibidores cinéticos começaram a ser estudados com o intuito de diminuir o gasto com produtos químicos, já que são injetados em menor volume que os inibidores tradicionais. Foram feitas pesquisas onde se encontraram algumas alternativas, como os inibidores naturais. Experiências foram realizadas e os resultados encontrados indicaram que os inibidores cinéticos não alteram a termodinâmica da formação dos hidratos, mas modificam sua cinética de formação, além de serem produtos químicos não tóxicos, considerados bons ambientalmente, sendo assim, constituem-se numa boa alternativa (custo-benefício) em relação aos inibidores tradicionais. Alguns exemplos: copolímero de vinilmethylacetamida, vinilcapro, polivinil (que foi usado para substituir o metanol e comportou-se como um bom redutor de hidratos) (PICKERING et al, 2001).

Os antiaglomerantes são produtos químicos que têm por objetivo evitar a aglomeração de cristais e não evitar a formação de cristais de hidratos. Portanto, estes inibidores não envolvem a preocupação com as condições de baixas temperaturas e altas pressões como as demais classes de inibidores, pois eles atuam apenas na superfície dos cristais formados.

Cada inibidor possui sua aplicação, limitações e benefícios na prevenção da formação de hidratos, porém para se obter bons resultados na inibição dos hidratos algumas questões devem ser levadas em conta como custo, logística, questões ambientais e as condições de operação visando o uso adequado de cada inibidor.

Uma vez que há o crescimento dos cristais de hidratos sua união pode formar um plugue de hidrato, causando o bloqueio das linhas de transporte de gás. A Figura 3 ilustra a remoção de um plugue de hidratos do interior de uma tubulação.

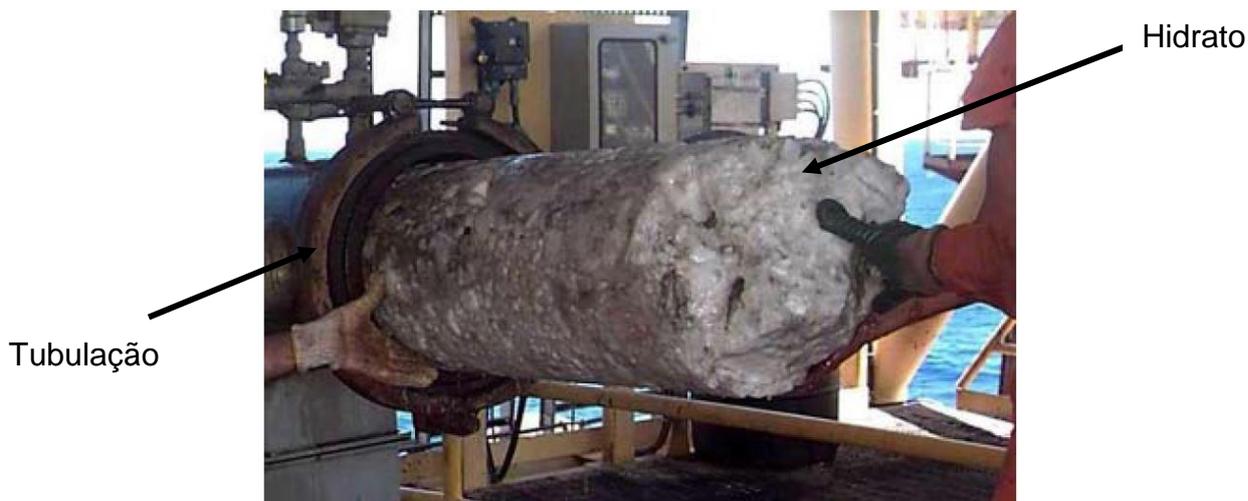


Figura 3 - Remoção de um plugue de hidrato do interior de uma tubulação de gás natural.

Fonte: CHR PETROBRAS

O presente trabalho objetiva-se no levantamento das curvas de equilíbrio de pressão \times temperatura do sistema de hidratos, para a mistura de fluido de perfuração com gás metano. Além disso, procura-se, também, avaliar a influência dos NaCl componente de maior quantidade além da água presentes na amostra de fluido de perfuração na formação ou inibição de hidratos. Com os testes experimentais é possível obter os dados de pressão e temperatura que resultam no comportamento da curva de formação de hidratos com o fluido de perfuração, além de comparar com experimentos já consolidados de formações de hidratos em soluções salinas, uma vez que o tema da formação de hidratos com fluidos de perfuração é algo escasso na literatura.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é realizar um estudo experimental envolvendo o equilíbrio de fases que levam à formação de hidratos de metano com fluido de perfuração. Serão realizados experimentalmente o levantamento de pontos de equilíbrio, de pressão \times temperatura para determinação da curva característica de formação de hidratos em misturas de gás metano e fluido de perfuração a base água disponibilizado pela indústria do petróleo (Petrobras) os testes experimentais serão realizados em uma célula de equilíbrio de alta pressão.

Para o estudo de hidratos com fluido de perfuração é necessário primeiramente conhecer a composição, a concentração e as propriedades dos componentes do fluido. Em seguida, analisar o comportamento, separadamente, de cada substância em relação ao equilíbrio de fases dos hidratos e por fim realizar testes experimentais com toda composição do fluido de perfuração.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A indústria do petróleo envolve grandes empresas que visam sempre o aprimoramento dos projetos já existentes. Com a Petrobras não é diferente, há algum tempo a empresa vem investindo em infra estrutura e pesquisas relacionadas ao desenvolvimento das áreas de perfuração e produção, tendo por finalidade aumentar sua produtividade e conhecimento.

O estudo da formação de hidratos é considerado um assunto de grande importância para as indústrias petrolíferas, já que o aparecimento do hidrato gera prejuízos financeiros às empresas. Com o intuito de investigar uma forma de prevenir esse fenômeno, a Petrobras estabeleceu uma parceria com o NUEM-UTFPR, com a finalidade de aprofundar o conhecimento no assunto.

O presente trabalho é importante para compreender experimentalmente o comportamento do fluido de perfuração em relação à formação de hidratos, ou seja, estudar a influência dos principais componentes do fluido de perfuração na curva de equilíbrio de hidratos, além do conhecimento das condições de pressão e de temperatura nas quais pode ocorrer a formação de hidratos com fluido de perfuração disponibilizado pela Petrobras.

O desenvolvimento do projeto possui relevância na área de engenharia mecânica, encontrando aplicações em indústrias como a de petróleo. Os dados obtidos através do trabalho serão de grande utilidade para a Petrobras, pois a partir da curva de equilíbrio gerada com os dados obtidos experimentalmente é possível identificar em qual faixa de valores é mais propenso para o aparecimento dos hidratos. Além da contribuição para a literatura, transformando este estudo em uma referência para possíveis trabalhos a serem realizados na área de perfuração.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em cinco capítulos: introdução; revisão bibliográfica; metodologia; resultados e discussões e conclusão.

O primeiro capítulo aborda a introdução acerca do tema, caracterização do problema e os objetivos a serem atingidos e a justificativa do tema.

O segundo capítulo contempla uma revisão bibliográfica sobre o tema, envolvendo os principais assuntos já abordados sobre fluido de perfuração, além da caracterização da amostra disponibilizada para fins de testes experimentais.

No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia empregada para a realização dos experimentos, a fim de obter as condições de equilíbrio (os pontos experimentais) para a formação de hidratos.

No quarto capítulo discute-se e analisam-se os resultados adquiridos no decorrer dos testes experimentais, além das comparações com a modelagem numérica e experimentos realizados por trabalhos anteriores.

No quinto capítulo apresentam-se conclusões obtidas no presente trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos diferentes tipos de fluidos de perfuração, ressaltando o mais utilizado nas atividades petrolíferas, além da caracterização do fluido que será estudado neste trabalho. Também será abordada a formação de hidratos em soluções salinas, e como os aditivos salinos se comportam no processo de inibição.

2.1 TIPOS DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

Os fluidos de perfuração utilizados na construção de poços de petróleo devem ser selecionados adequadamente para que possam garantir um funcionamento rápido e seguro das atividades de perfuração (THOMAS, 2001). Dentre as características principais para um bom funcionamento do fluido de perfuração nas atividades de perfuração encontra-se: “i/ ser estável quimicamente; ii/ estabilizar a parede do poço, mecânica e quimicamente; iii/ facilitar a separação dos cascalhos na superfície; iv/ ser bombeável; v/ apresentar baixo grau de corrosão e abrasão em relação à coluna de perfuração e demais equipamentos do sistema de circulação;vi/ resfriar e lubrificar a coluna de perfuração e a broca;” (THOMAS, 2001).

Devido a existência de diversos tipos de fluidos de perfuração, se faz necessário estudar suas propriedades físicas e químicas, para que assim se possa distinguir uns dos outros. Segundo (Caenn 1995) as principais propriedades que devem ser estudadas para classificar um fluido de perfuração são: peso, viscosidade, reatividade e controle de perda de fluido. Ainda, dentro de cada propriedade citada, devem ser estudadas as características específicas, tais como: massa específica (eg. peso); força gel e parâmetros reológicos (eg. viscosidade); parâmetros de filtração (eg. controle de perda de fluido) e teor de sólidos, ph, sólidos ativos e lubricidade (eg. reatividade).

Os fluidos de perfuração podem ser separados em três grupos de acordo com seu constituinte principal na fase contínua. A fase contínua é parte de um sistema mais complexo onde podem existir sólidos dispersos. Os fluidos de perfuração

podem ser a base água, a base óleo e a base ar (os denominados fluidos sintéticos) (THOMAS, 2001).

2.1.1 FLUIDO DE PERFURAÇÃO A BASE ÁGUA

Os fluidos a base água possuem em sua composição principalmente água com ou sem aditivos salinos. Os exemplos de água que constituem os fluidos de perfuração são: água doce, dura ou salgada (a diferença entre as quais recai sobre o teor de sal em sua composição). Os fluidos a base água, classificam-se em não-inibidores, inibidores, com baixo teor de sólidos e emulsionados com óleo.

Os inibidores são usados quando as rochas apresentam alto grau de atividade (quando a rocha entra em contato com as propriedades químicas da água, podendo assim mudar sua estrutura). Já os não inibidores, são utilizados durante a perfuração das camadas superficiais das rochas, devido ao pouco contato da água com a rocha (THOMAS, 2001).

Os fluidos a base água com baixo teor de sólidos são usados para aumentar a taxa de penetração da broca, reduzindo o custo total da perfuração. Os emulsionados com óleo são aplicados para reduzir a densidade do sistema, evitando que ocorra perda de circulação de fluido em locais de baixa pressão de poros ou baixa pressão de fratura (THOMAS, 2001). Os locais de baixa pressão de poros seriam sistemas cuja pressão interna é menor do que a pressão do fluido de perfuração. Daí a entrada do fluido no local e a perda de material circulante (do fluido), perda de circulação.

A base do fluido mais usado nos processos de perfuração é a água, seguida pelo óleo, ar, gás natural e espuma. Os fluidos a base água são usados em 85% dos poços de perfuração no mundo, já os fluidos a base óleo ocupam parte considerável do restante dos poços (CARVALHO, 2005). Os fluidos a base água foram os pioneiros nas atividades de perfuração, por serem abundantes no ambiente, sendo possível a utilização de água do mar. Esses fluidos são considerados de baixo custo, quando comparados aos demais fluidos e são biodegradáveis (DURRIEU et al, 2000). Contudo, apresentam algumas limitações. A crescente necessidade de perfurar poços cada vez mais profundos fez com que o fluido a base água se

tornasse inviável para os processos de perfuração, devido à alta pressão exercida no fundo do poço.

Devido a questão apresentada, o fluido a base água começou a dar espaço para o desenvolvimento de novos fluidos, visando melhores condições de operação em elevadas profundidades.

2.1.2 FLUIDO DE PERFURAÇÃO A BASE ÓLEO

Os fluidos a base óleo são compostos em sua fase contínua, em maior proporção, por alguns tipos de óleo os quais podem ser: óleo cru, óleo mineral e óleo diesel. Suas características principais: i/ grau de inibição elevado em relação às rochas ativas; ii/ baixíssima taxa de corrosão; iii/ propriedades controláveis acima de 350°F, até 500°F; iv/ amplo intervalo de variação de densidade; v/ baixíssima solubilidade de sais inorgânicos (THOMAS, 2001).

Ao se comparar os fluidos à base água com os a base óleo pode-se dizer que, os a base óleo são mais caros e possuem efeitos ambientais negativos, principalmente no caso dos óleos diesel e mineral, que são considerados tóxicos (WILLS, 2000).

Devido ao grau de prejuízos ambientais que os fluidos a base óleo causam, novos estudos têm sido feitos com o intuito de melhorar os componentes do fluido de perfuração, para que traga cada vez menos impactos ambientais, assunto que preocupa as indústrias do petróleo. Os estudos trazem o fluido à base sintética como alternativa para perfuração, pois gera menor impacto ambiental por ser menos tóxico e biodegradável, além de ter desempenho comparável aos fluidos à base óleo.

Fluidos sintéticos são constituídos em sua fase contínua por substâncias oleosas formadas através de reações químicas de compostos puros e grupamentos químicos. São exemplos de sintéticos: ésteres, éteres, acetais e hidrocarbonetos sintéticos (GUIMARÃES; ROSSI, 2007).

2.1.3 FLUIDOS DE PERFURAÇÃO A BASE AR

Os fluidos a base ar são classificados de acordo com suas funções na perfuração. Têm-se três grupos: i/ar; ii/ “nevoa”; iii/ espuma e gás; iv/areado.

Perfuração com fluido a base ar utiliza somente ar comprimido ou nitrogênio. A situação é empregada quando se tem formações duras, estáveis ou fissuradas, tendo como objetivo aumentar a taxa de penetração. Perfuração através de névoa compreende uma mistura de água com ar, sendo empregada quando as formações geram água suficiente para comprometer a perfuração com ar. Espuma e gás correspondem a uma dispersão de gás em líquido, o qual é utilizado quando se precisa de alta capacidade de carregamento (transporte dos cascalhos).

2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Para a escolha de um fluido de perfuração há necessidade de se conhecer os principais fatores que podem alterar de alguma forma o seu desempenho durante as atividades de perfuração.

De acordo com o trabalho de (GUIMARÃES; ROSSI, 2007) a Tabela 1 compara as vantagens e desvantagens de cada tipo de fluido de perfuração.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos fluidos de perfuração

<i>Tipo de fluido</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Base água	<ul style="list-style-type: none"> i. Fluido menos agressivo ao ambiente ii. Facilidade na detecção de gás no poço iii. Permite maior taxa de penetração iv. Permite mais facilidade no combate a perda de circulação v. Tem menor custo inicial 	<ul style="list-style-type: none"> i. Menor estabilidade a altas temperaturas ii. Não podem ser usados onde existem argilas sensíveis à água

Tipo de fluido	Vantagens	Desvantagens
Base óleo	<ul style="list-style-type: none"> i. Estável em altas temperaturas ii. Boa lubrificação iii. Estabilizantes do poço iv. Uso em grandes profundidades v. Prevenção na formação de hidratos vi. Fluidos mais leves vii. Permite uma perfuração mais rápida viii. Possui mais segurança na perfuração ix. Gera menor produção de cascalhos x. Baixa taxa de corrosão xi. Grau de inibição elevado em relação às rochas ativas xii. Propriedades controláveis acima de 176°C, até 260°C xiii. Amplo intervalo de variação de densidade xiv. Tem baixa solubilidade de sais inorgânicos 	<ul style="list-style-type: none"> i. Tem maior custo inicial ii. Podem causar danos ambientais iii. Têm menores taxas de perfuração iv. Há dificuldade no combate a perda de circulação
Hidrocarbonetos Sintéticos (olefina-alfalinear; poli- alfa – olefinas; olefinas internas; parafinas sintéticas)	<ul style="list-style-type: none"> i. São mais estáveis a altas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> i. Tem maior custo inicial
À base de ésteres	<ul style="list-style-type: none"> i. São mais viscosos que os ácidos minerais ii. Tem baixa temperatura de estabilidade iii. São biodegradáveis 	<ul style="list-style-type: none"> ii. Tem menores taxas de penetração iii. Há dificuldade no combate a perda de circulação
À base de éteres Acetais	<ul style="list-style-type: none"> i. São estáveis a altas temperaturas ii. Não são tóxicos iii. São estáveis em condições neutras e básicas 	

Com os dados da Tabela 1 pode-se concluir que os fluidos a base óleo podem ser bastante eficientes em situações complexas. Entretanto, o que por muitas vezes inviabiliza o seu uso, são os problemas causados ao meio ambiente, além dos seus custos.

Os fluidos a base ar são pouco utilizados, somente é aconselhável seu uso em locais com grandes perdas de circulação e formações produtoras com pressões baixas (THOMAS, 2001).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO FLUIDO DE PERFURAÇÃO A SER TESTADO

Para os testes de formação de hidratos com fluido de perfuração foi disponibilizado pela PETROBRAS o fluido (Fluido BR CARB SAPINHOA 11) – base água - com as seguintes composições para 1 bbl (1 libra por barril), equivale a 1g para cada 350 ml de mistura, portando esses componentes descritos na Tabela 2 são quantidades em gramas.

Tabela 2 – Componentes do Fluido BR CARB SAPINHOA 11

<i>Componentes</i>
Água 303, 7 ml
NaCl (Cloreto de Sódio) 35g
GTX (Goma Xantana) 1,1
HPA 7
Bica (Bicarbonato de Sódio) 1
MgO (Óxido de Magnésio) 0,5
Calcita 100,3 (peso 10,2 aproximadamente)
Polífoa 15 gotas

A amostra do fluido de perfuração foi fornecida ao Laboratório de Ciências Térmicas (LACIT) da UTFPR com o objetivo de se estudar a formação de hidratos. Porém, para que fosse possível a visualização da formação de hidratos o fluido deveria conter água em sua maior porcentagem, componente fundamental para a

formação de hidratos. Devido a exigência o fluido em questão foi formulado (pela Petrobrás) com maior parte de água, permitindo assim possíveis testes para formação de hidratos.

Para um melhor desempenho do fluido de perfuração, umas das alternativas é a incorporação de aditivos nos componentes do fluido, dentre os quais os mais comuns são os sais. A amostra fornecida contém cloreto de sódio (NaCl), um dos sais mais utilizados. Dentre as suas características principais, destacam-se a sua utilização como inibidor de formação de hidratos (e acelerador no processo de corrosão).

O GTX conhecido como Goma Xantana é um dos polímeros mais utilizados na indústria do petróleo. De acordo com Sutherland (1993), a Goma Xantana é um polímero sintetizado por uma bactéria do gênero *Xanthomonas*, atuando como aditivo viscosificante.

O Hidroxipropilamido (HPA) tem como função principal o controle de filtrado, atuando na diminuição de perda de fluido que escoar da coluna de perfuração para os poros de formação (CARVALHO, 2005). Também serve como elemento bactericida.

O Bicarbonato de sódio (BICA) e o óxido de magnésio (MgO) atuam no controle de pH, controlando o grau de acidez do fluido (SERRA, 2003).

A Calcita tem como papel principal controlar as pressões de formação, por possuir alta densidade (SERRA, 2003).

Os componentes são essenciais nas atividades de perfuração de poços de petróleo, cada componente tem sua contribuição para a formulação final do fluido.

2.4 FORMAÇÃO DE HIDRATOS EM SOLUÇÕES SALINAS

Na formação de hidratos os sais atuam como inibidores como já mencionado anteriormente, tendo como objetivo deslocar a curva de equilíbrio, fazendo com que para um novo ponto de equilíbrio seria necessário atingir uma pressão mais elevada para alcançar a nova temperatura de equilíbrio do sistema (ou atingir uma

temperatura bem mais baixa para alcançar a nova pressão de equilíbrio) (ROSSI, 1990).

A Figura 4 ilustra a curva de formação de hidratos, onde as flechas pretas indicam a adição de sais que tendem a deslocar a curva de equilíbrio para a esquerda.

O fluido de perfuração a base de água, fornecido, em concentração salina, pode também seguir a mesma tendência da curva tracejada representada pela Figura 4 desde que parta do pressuposto que o principal componente que influencia na curva de equilíbrio é o NaCl, onde atuaria como um inibidor da formação de hidratos. Na Figura 5, que ilustra as curvas de equilíbrio com diferentes porcentagens de inibidores, além das curvas com base na modelagem realizada por (KAKITANI, 2014) pode-se observar que quanto maior a porcentagem de NaCl no sistema mais a curva desloca-se para a esquerda (em direção à diminuição da possibilidade de formação de hidratos).

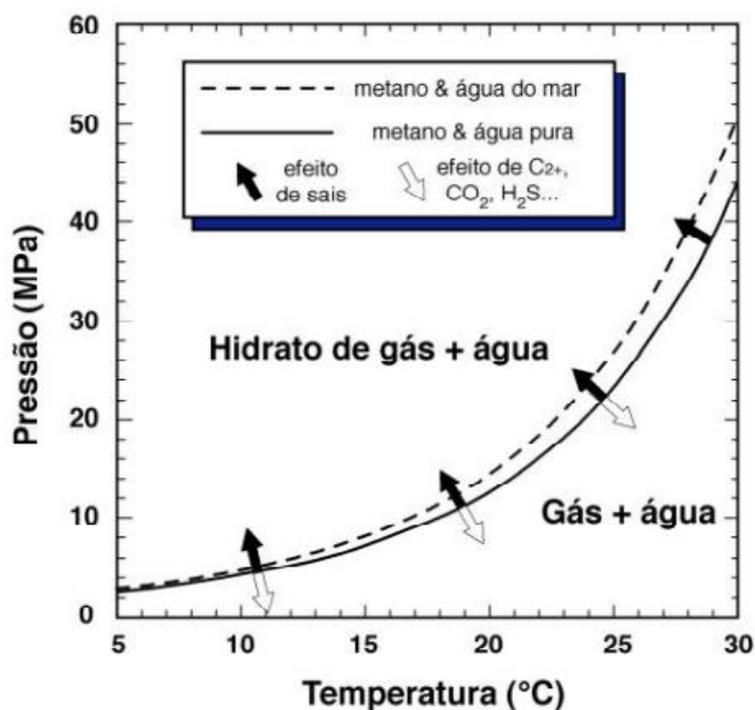


Figura 4 - Diagrama de Fases para Sistema de Hidrato

Fonte: Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 18(3), 2000

Os inibidores salinos possuem algumas desvantagens: aceleram o processo de corrosão em equipamentos, possuem limite de solubilidade em água e afetam de forma significativa a densidade do fluido de perfuração (BAPTISTA, 2007).

Os testes experimentais, previstos no projeto, partirão do princípio que os componentes que influenciam a amostra de fluido são apenas a água e o NaCl, devido ao fato de estarem em maiores quantidades com relação a amostra. Permitindo, assim, supor que as curvas de equilíbrio de metano + amostra de fluido se assemelham as de metano + NaCl puro. Essa hipótese será feita devido a falta de informações seguras da função dos outros componentes da amostra de fluido.

O estudo de formação de hidratos em fluido de perfuração com composição salina é importante devido à carência de informações sobre o tema na literatura, além do que para a indústria petrolífera este trabalho poderá auxiliar na prevenção da formação de hidratos em atividades de perfuração, onde o fluido de perfuração base de água pode entrar em contato com o gás contido nas rochas. Com os dados experimentais prevendo a formação de hidratos é possível evitar danos aos equipamentos e ainda colaborar para o aumento da segurança das atividades operacionais.

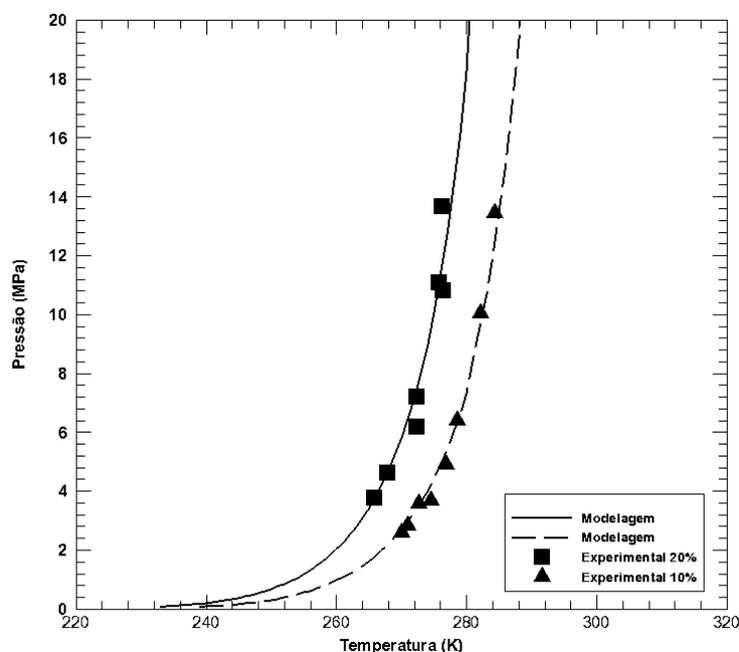


Figura 5 - Curva de Equilíbrio- gás Metano + NaCl

Fonte: Experimentos Bancada LACIT

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia empregada para realização dos testes experimentais para obtenção de dados de equilíbrio de fase para a formação de hidratos será realizado através de uma célula de equilíbrio a volume constante (método isocórico). A célula de equilíbrio atuará a altas pressões e tem como princípio monitorar a resposta da pressão em função da temperatura. A Figura 6 ilustra um diagrama pressão \times temperatura que representa o procedimento que será adotado nos experimentos do trabalho. (SLOAN; KOH, 2008). O teste inicia-se com o sistema água (no trabalho será utilizado fluido de perfuração) e gás, em uma dada pressão e temperatura, conhecido como ponto inicial (ponto A conforme a Figura 6). Com a diminuição da temperatura induz-se o início do crescimento de hidratos (ponto B na Figura 6). Do ponto B ao ponto C ocorre uma queda de pressão devido a formação de hidratos. Após o período de formação, inicia-se a dissociação com o aumento de temperatura (ponto C na Figura 6), até que se obtenha o ponto de pressão e temperatura que cruza a linha de resfriamento, denominado ponto de equilíbrio (ponto D da Figura 6).

Esse procedimento é repetido quantas vezes forem necessárias, e para cada novo experimento as condições iniciais (ponto A da Figura 6) são modificadas gerando novos pontos de equilíbrio, a junção de todos esses pontos de equilíbrio resulta na curva de equilíbrio, onde é possível identificar as condições de temperatura e de pressão que apresentam a ocorrência de formação de hidratos para um dado fluido (no caso o fluido de perfuração).

A Figura 7 ilustra uma curva de equilíbrio de fases de hidratos de metano onde para cada condição de pressão e de temperatura tem-se um ponto de equilíbrio. Acima da curva, caracterizam-se regiões favoráveis à formação de hidratos e abaixo da curva, regiões onde não ocorre a formação de hidratos.

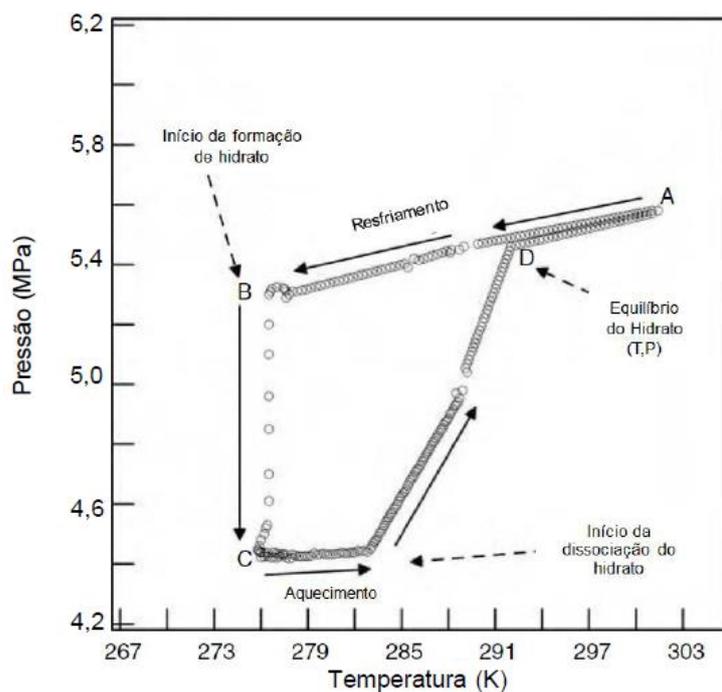


Figura 6 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de metano

Fonte: Adaptado (SLOAN;KOH, 2008)

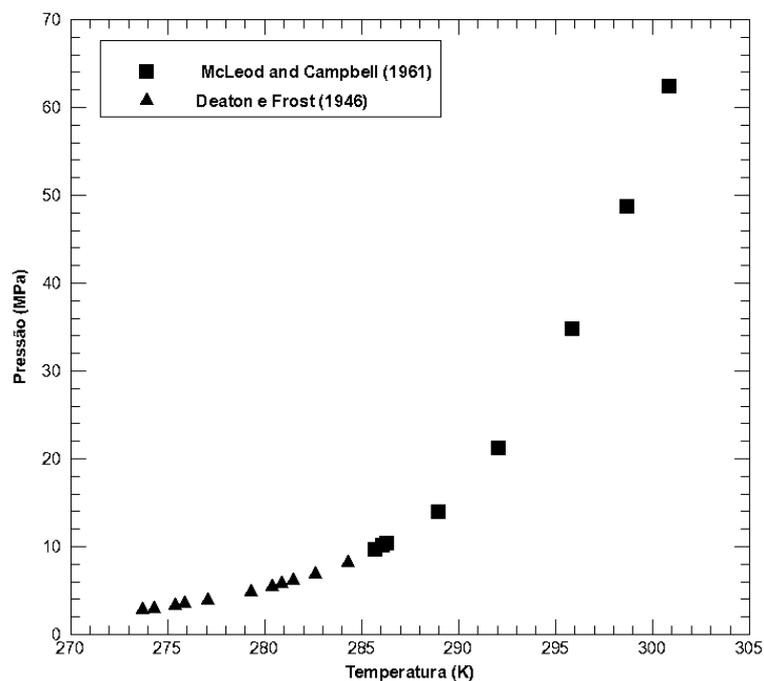


Figura 7 - Diagrama de equilíbrio

Fonte: Autoria própria

3.2 TESTE DE VAZAMENTO

Antes do início do experimento para a obtenção do ciclo de formação de hidratos representado pela Figura 6, é necessária a realização de um teste de vazamento no sistema. Essa verificação é realizada com o objetivo de garantir que não haja vazamento em nenhuma das linhas por onde o gás percorre até chegar a célula de equilíbrio, o teste ocorre por meio do monitoramento da pressão ao longo do tempo, sendo realizado o mesmo procedimento toda vez que o sistema for montado, para que assim se possa dar início ao experimento para a obtenção do ponto de equilíbrio sem possíveis interrupções indesejáveis. O Figura 8 ilustra o comportamento da pressão em função do tempo, onde se pode verificar que a pressão se mantém ao redor de uma média, com variações pouco significativas ao longo do tempo o que indica que o sistema não contém vazamento.

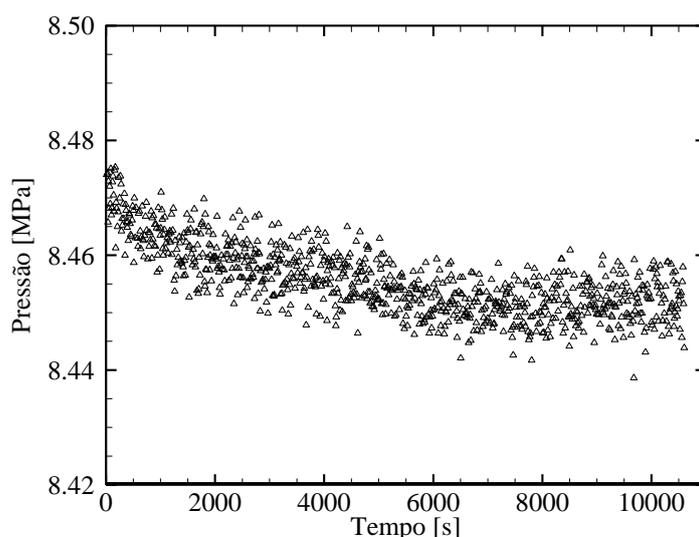


Figura 8 - Teste de vazamento

Fonte: Autoria própria

3.3 DESCRIÇÃO DA BANCADA

A bancada utilizada para realizar os ensaios experimentais com o fluido de perfuração, o gás metano e a água localizam-se no Laboratório de Ciências Térmicas (LACIT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba.

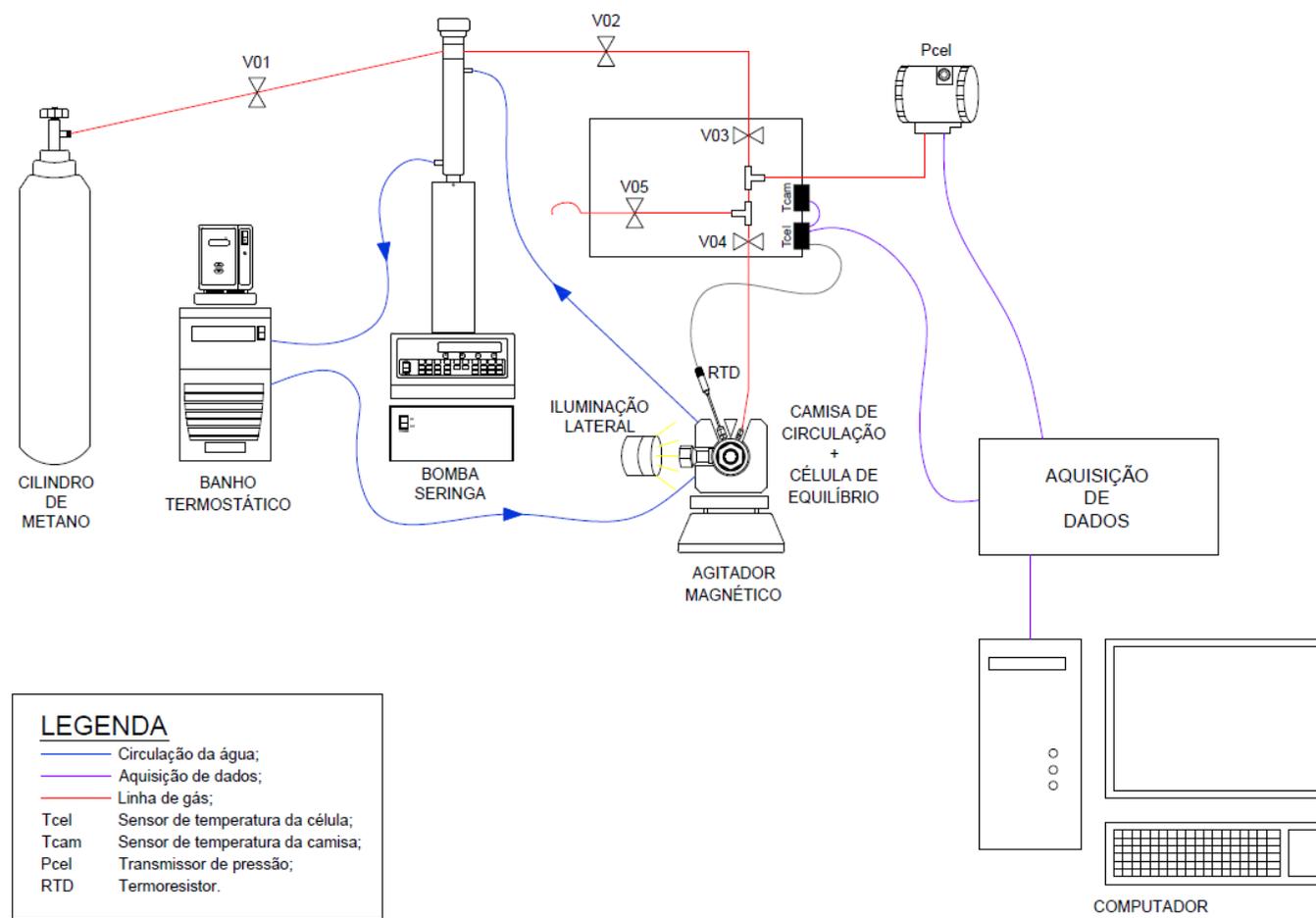
O aparato experimental é composto pelos seguintes equipamentos: uma bomba seringa, transdutores de pressão, termoresistores, banho termostático, célula de equilíbrio de alta pressão e um sistema de aquisição de dados. A Figura 9 representa o sequenciamento dos componentes da bancada, que é composto pelos seguintes componentes:

O sistema de transporte de gás: Em um primeiro momento o gás que se encontra no cilindro, passa pela válvula V01 em direção à bomba seringa qual tem por objetivo pressurizar a célula de equilíbrio, através do transporte do gás até a célula. As válvulas V02, V03, V04 presentes no sistema auxiliam na regulagem da passagem de gás até a célula de equilíbrio.

Sistema de circulação de água: A partir do banho termostático (equipamento este responsável pela variação da temperatura e da circulação da água) a água é bombeada em direção à camisa de circulação que segue para a bomba seringa e retorna para o banho termostático. Esse procedimento tem por finalidade a variação de temperatura no interior da célula de equilíbrio.

Célula de equilíbrio: Considerado o principal equipamento do sistema, local destinado à formação de hidratos. Para que isso seja possível o gás é bombeado e o fluido de perfuração é injetado para o interior da célula, sendo esses componentes misturados através de uma barra magnética a qual é movimentada por um agitador magnético externo.

Sistema de aquisição de dados: O processo para a obtenção dos dados é realizado através de sensores de pressão e de temperatura os quais são mediados por uma placa de aquisição de dados. Esses dados são processados e exibidos para o usuário através do programa LABVIEW.



A Tabela 3 ilustra a descrição dos componentes do aparato experimental.

Tabela 3 - Descrição do aparato experimental

<i>ITEM</i>	<i>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA</i>
Célula de Equilíbrio	Volume de aproximadamente 30 ml
Banho Termostático	Temperatura de trabalho variando de -20°C a 150°
Bomba	Bomba Seringa Capacidade de 266.05 ml Frequência de 50 ou 60 Hz Vazão volumétrica 1.0 µl/min – 107ml/min Pressão 0.6895 – 571.7 bar
Válvulas	Válvulas tipo agulha com diâmetro de 1/8 de polegada
Transdutor de Pressão	Modelo S 11 Pressão de trabalho 0 – 400 bar
Transmissor de pressão	Compatibilidade com o protocolo Foundation Fieldbus Precisão de referência $\pm 0,025\%$
Transmissor de temperatura	Compatibilidade com o protocolo Foundation Fieldbus Estabilidade 15 % de leitura ou 0.15°C por 2 anos Precisão + 0.15°C para Pt 100 RTD Tensão de alimentação 9 – 32 V Entradas 1x2, 3 e 4 fios RTDs, termopares, milivolt, ohm

A Figura 10 ilustra a bancada experimental, no LACIT.

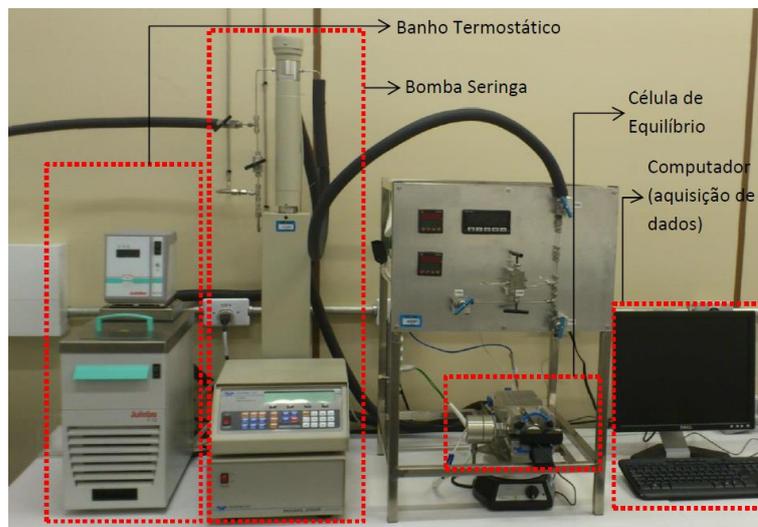


Figura 10 - Imagem da bancada no LACIT

Fonte: Autoria própria

3.4 JUSTIFICATIVA DA METODOLOGIA

A metodologia empregada para a obtenção dos dados experimentais é baseada em trabalhos da literatura envolvendo formação de hidratos. Esse procedimento já foi realizado na bancada do Laboratório de Ciências Térmicas (LACIT) (descrita na Seção 3.1) através de trabalhos anteriores, os quais obtiveram bons resultados comparados com a resultados da literatura para mesmas condições de pressão e temperatura. Na Figura 11 podem-se notar as semelhanças entre os dados experimentais adquiridos por Deaton e Frost (1946), McLeod e Campell (1961) e Nakamura et al (2003) e o experimento realizado na bancada por Kakitani (2014) o que confirma a validação da metodologia adotada para temperaturas menores que 290K, temperatura limite testada por Kakitani (2014).

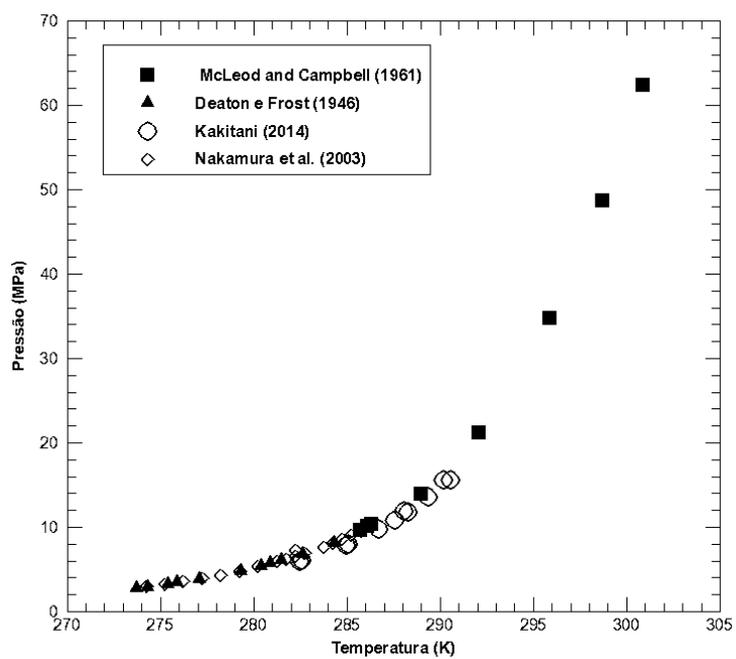


Figura 11 - Diagrama de fases de hidrato de metano

Fonte: Deaton e Frost (1946), McLeod e Campbell (1961), Nakamura et al (2003) e Kakitani (2014)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos com os testes experimentais. Primeiramente, sistemas contendo fluido de perfuração + CO₂, serão analisados na Seção 4.1. Em seguida serão apresentados os dados envolvendo o fluido de perfuração e gás metano com base na metodologia apresentada na seção 3.1. Os resultados serão discutidos na Seção 4.2. Uma nova metodologia envolvendo fluido de perfuração também foi testada no presente trabalho e será discutida na Seção 4.4.

4.1 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS TESTES EXPERIMENTAIS

Para a realização dos testes experimentais utilizou-se uma amostra de fluido de perfuração base água, devido ao surgimento de casos de hidratos nas operações de perfuração. A base água foi selecionada por ser a água o componente essencial na formação de hidratos, já que em sua ausência, a formação de hidratos não ocorre. Os gases utilizados foram o CO₂ e o metano. O gás CO₂, de acordo com Melo (2011), tem sido encontrado em concentrações elevadas dissolvidos nos campos da camada pré-sal, o que aumenta sua probabilidade de ocorrência. Já o metano foi escolhido por estar presente em maior concentração na composição do gás natural.

Para cada teste realizado, a mistura gás-fluido de perfuração foi composta de 10 ml de fluido de perfuração BR CARB SAPINHOA 11 e de uma quantidade variável de gás, a fim de ajustar a pressão no interior da célula.

A faixa de pressão e temperatura de trabalho nas atividades de perfuração é demasiadamente elevada para serem reproduzidas durante o experimento. Devido a esses valores elevados, não foi possível reproduzir as condições reais de trabalho e, portanto, foram selecionadas condições de pressão menores, mas que estivessem dentro do intervalo de operação da perfuração. A Tabela 4 apresenta a faixa de valores de pressão e de temperatura que foi utilizada nos testes experimentais.

Tabela 4 - Condições de operação dos testes experimentais

<i>VARIÁVEL</i>	<i>FAIXA DE OPERAÇÃO</i>
Pressão (MPa)	7 – 12
Temperatura (K)	278- 284

4.2 TESTES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO FLUIDO DE PERFURAÇÃO + CO₂

Primeiramente foram realizados testes com fluido de perfuração + CO₂ na bancada descrita na Seção 3.3, a fim de validar a metodologia apresentada na seção 3.1 e certificar-se que os equipamentos da bancada estariam funcionando normalmente, podendo evitar possíveis erros nos testes futuros.

No entanto, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Após a comparação qualitativa entre os diagramas literatura/experimento foi possível observar que o diagrama pressão x temperatura gerado para a obtenção do ponto de equilíbrio não seguiu a mesma tendência da Figura 6. A Figura 12 ilustra o diagrama pressão x temperatura gerado para o fluido de perfuração + CO₂, onde se pode notar que não houve a queda de pressão após o resfriamento do sistema, e a dissociação realizada a uma taxa de 0,1°C/hora seguiu a mesma tendência da curva de resfriamento, o que não ocorre na dissociação da Figura 12.

Devido à escassez de dados experimentais sobre a formação de hidratos com fluido de perfuração na literatura, pode-se inferir até o momento que o diagrama mostrado na Figura 12 não seguiu a mesma tendência do diagrama da Figura 6. Pode-se notar através da Figura 13 que o fluido fica visivelmente sedimentado no fundo da célula, não conseguindo permanecer como uma mistura homogênea com o gás. Uma das hipóteses para o comportamento da curva seria a falta de agitação adequada, eventualmente se repetido o teste com a utilização de um agitador magnético mais eficaz pode-se ter resultados mais satisfatórios.

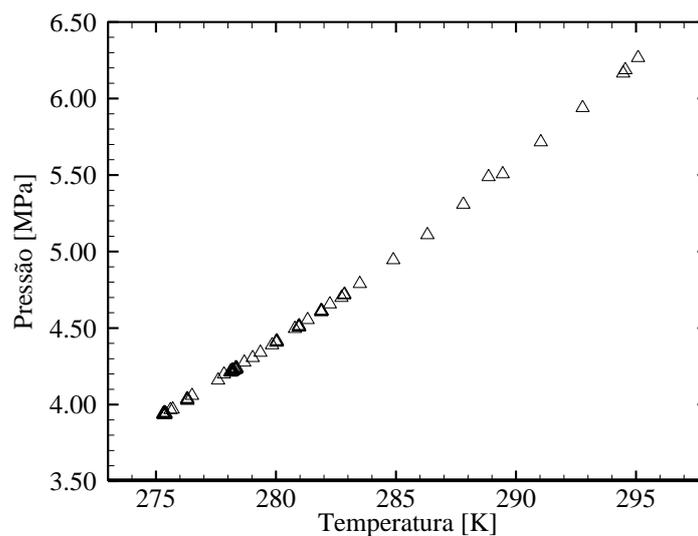
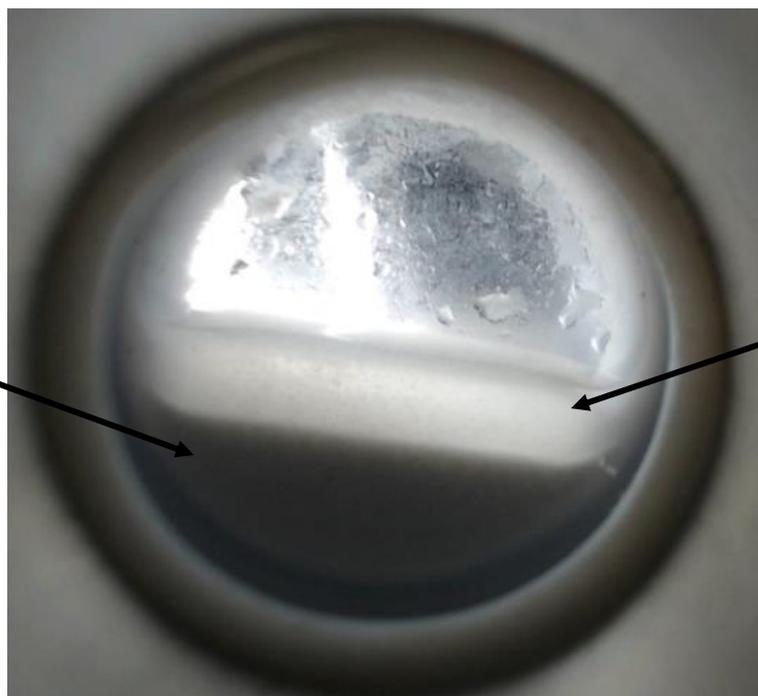


Figura 12 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + CO₂

Outro fator também relevante que pode ter contribuído para as diferenças entre a Figura 12 e a Figura 6, refere-se às amostras de fluido fornecidas pela Petrobras. Por se tratar de componentes importantes, existe uma preocupação com relação ao procedimento de montagem, transporte e armazenamento do fluido, para que assim não haja a degradação das amostras com a perda das propriedades de cada componente presente no fluido. Na Figura 14 pode-se observar que dentro dos recipientes contendo o fluido de perfuração existe uma separação evidente entre a parte decantada (maior parte composta por calcita) e a parte líquida (água e sal), onde a parte líquida com o passar do tempo adquiriu uma coloração amarelada, o que compromete a confiabilidade das propriedades, podendo contribuir de forma indesejável nos resultados experimentais.

Demais componentes
presentes na amostra de
fluido



Água+metano+NaCl

Figura 13 - Imagem do fluido de perfuração + CO₂



Figura 14 - Amostras de fluido de perfuração

4.3 TESTES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO FLUIDO DE PERFURAÇÃO + METANO

De acordo com o objetivo deste trabalho foram propostos seis testes envolvendo fluido de perfuração + gás metano para a obtenção da curva de equilíbrio do sistema. Cada um dos experimentos foi realizado a uma determinada pressão e temperatura ajustadas manualmente, o que dificultou seu controle. Dois dos testes foram repetidos para obter confiabilidade nos dados de equilíbrio.

4.3.1 RESULTADOS DOS DADOS EXPERIMENTAIS

O procedimento de obtenção de cada um dos pontos da curva de equilíbrio consiste do resfriamento do sistema até uma dada temperatura, induzindo a formação do hidrato, e do aquecimento, caracterizando a etapa de dissociação. A Figura 15 representa o ciclo realizado em um dos testes experimentais na bancada do LACIT, sendo possível notar a semelhança com a Figura 6.

A Figura 15 mostra o resultado do ciclo experimental envolvendo o fluido de perfuração e o gás metano. Cada experimento proporcionou curvas semelhantes. O ponto 1 representa o ponto de partida do experimento, caracterizando as condições de pressão e temperatura iniciais do sistema. Em seguida, do ponto 1 ao 2 ocorre o resfriamento do sistema até uma temperatura que garante a formação dos hidratos. No trecho de 2 para 3, ocorre a nucleação e o crescimento dos hidratos, evidenciada através da queda de pressão, acontecendo devido à oclusão das moléculas de gás nas cavidades formadas pelas moléculas de água. Por fim, o segmento 3-4-5 representa o aquecimento do sistema, caracterizando a dissociação dos hidratos até o encontro do ponto de equilíbrio (ponto 7 da Figura 15).

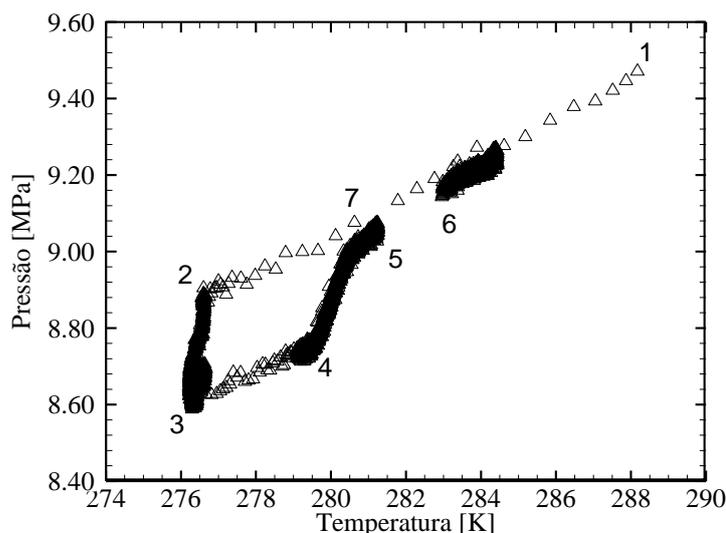


Figura 15 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + Metano

Analisando os dados obtidos, pode-se notar por meio da Figura 15 que a reta de dissociação (4-5) não intercepta a reta de resfriamento (1-2), mas sim, curva-se levemente quando a reta (4-5) se aproxima do seguimento (1-2). Uma possível explicação baseia-se na taxa de dissociação de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{h}$, que não é suficiente para manter o equilíbrio do sistema ao longo da dissociação. Isso ocorre devido ao sistema ser constituído por um fluido de perfuração composto de quantidades significativas de sal, que por sua vez tende a atrasar o equilíbrio do sistema em uma dada temperatura. Para um sistema contendo apenas água e metano, o fenômeno não é verificado, pois as concentrações dos componentes não mudam no decorrer do experimento, logo o sistema consegue entrar em equilíbrio térmico e de pressões rapidamente.

Em experimentos envolvendo sal e água, a composição do sistema vai sendo alterada tanto no processo de resfriamento quanto no processo de dissociação como pode ser verificado por meio da Figura 16. Na etapa de resfriamento a composição vai sendo alterada ao longo do tempo, onde as moléculas de água tendem a se unir as moléculas de gás formando assim a estrutura cristalina do hidrato, sobrando em maiores quantidades moléculas de NaCl. Já no processo de aquecimento o hidrato começa a ser dissociado pelo aumento da temperatura, portanto haverá no sistema maiores quantidades de molécula de água, devido a constante mudança na composição verificou-se que para uma dada temperatura é necessário um tempo

maior de espera para se obter o equilíbrio da pressão (até que o equilíbrio químico, envolvendo as concentrações, seja estabelecido) podendo assim evitar a leve curva ilustrada através da Figura 15 por meio dos trechos .4-5. Trata-se de um equilíbrio entre os potenciais de temperatura, de pressão e de concentrações.

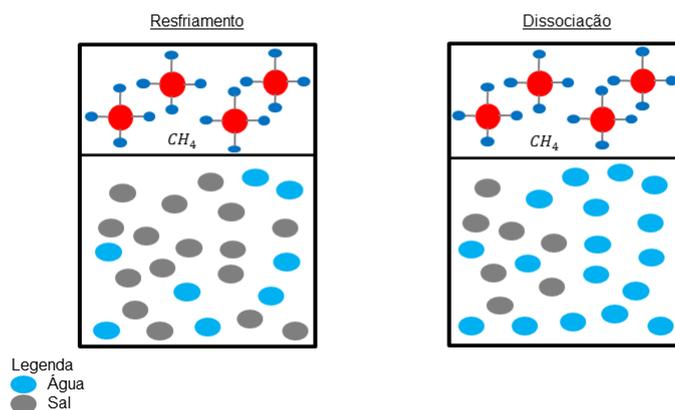


Figura 16 - Sistema de hidratos

Fonte: Autoria própria

Outro comportamento verificado em todos os testes, referente ao processo 2-3, é a pequena queda de pressão que ocorre no sistema quando comparado com Kakitani (2014). A diferença de pressão entre os trabalhos se deve a ineficiente agitação dentro da célula, um dos processos mais importantes do experimento, resultando na homogeneização não adequada da mistura. Conseqüentemente, somente a parcela misturada dos componentes acarreta na formação de hidratos e na queda equivalente da pressão no interior da célula. À medida que novos testes foram realizados observou-se que o aumento do tempo de resfriamento era responsável pela maior aparecimento de hidratos, normalmente para sistemas contendo água e metano o processo de formação de hidratos levava em torno de 24h para formar totalmente as estruturas de hidratos porém com fluido de perfuração verificou-se a necessidade de um tempo maior de resfriamento para se obter a formação de hidratos ficando assim o sistema em formação em torno de 2 a 3 dias.

De acordo com a ilustração da Figura 15 pode-se notar uma falha de dados do ponto 5-6, devido a problemas técnicos ocorridos no laboratório, não

crescimento. Devido ao sistema ser composto por fluido de perfuração verificou-se através de repetições de testes que para formar hidratos é necessário deixar o sistema formando de 2 a 3 dias pois assim o sistema possui mais tempo para entrar em equilíbrio. Após deixado o sistema parado por dias, pode-se verificar através da Figura 18.4 o hidrato já formado. Na Figura 18.5 começa a etapa de dissociação do hidrato, que ocorre devido ao aquecimento primeiramente rápido do sistema e quanto estiver chegando próximo ao ponto de equilíbrio se dá o aquecimento lento do sistema até encontrar o ponto desejado, o processo marca a finalização da formação de hidrato.

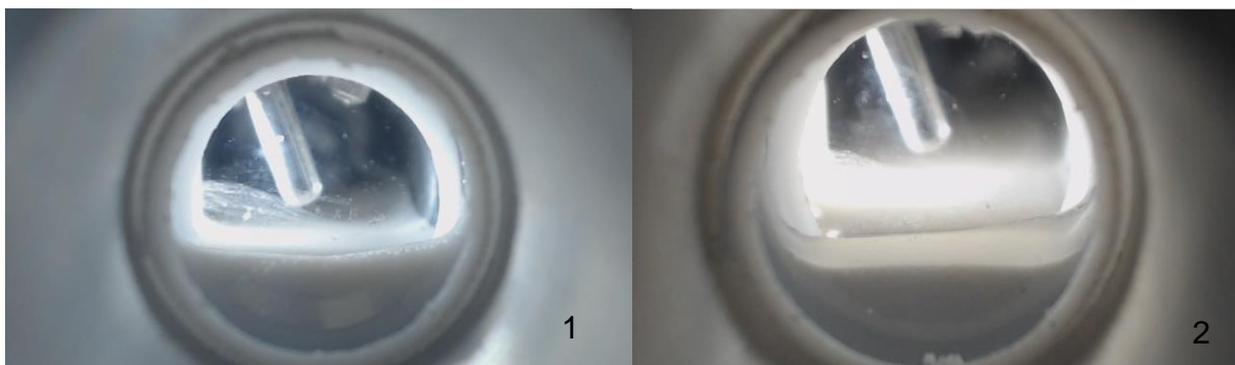


Figura 18. 1 – Início do teste de vazamento

Figura 18. 2 – Etapa de resfriamento

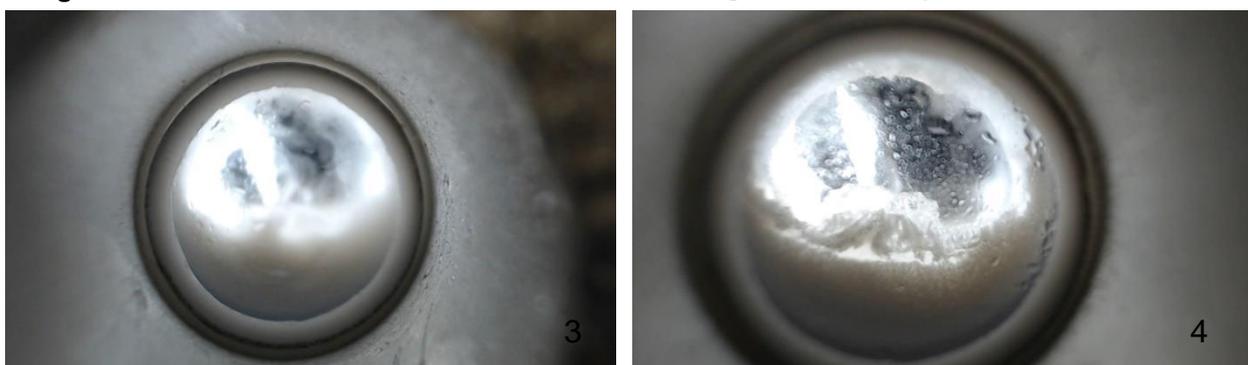


Figura 18. 3 – Início da formação de hidratos

Figura 18. 4 – Hidrato formado



Figura 18. 5 – Etapa de dissociação

Figura 18 - Etapas do ciclo de formação de hidratos

4.3.2 AQUISIÇÃO DO PONTO DE EQUILÍBRIO

Depois de realizados os ciclos para as condições apresentadas na Tabela 5, faz-se necessário encontrar o ponto de equilíbrio dos hidratos para cada ciclo. O processo para aquisição dos pontos consiste em realizar duas regressões lineares, sendo uma delas com a reta de resfriamento e a outra com a reta de dissociação. O cruzamento das duas fornecerá o ponto desejado sendo denominado ponto de

equilíbrio do experimento. Na Figura 19 podem-se verificar as regressões lineares para a obtenção do ponto de equilíbrio proveniente de um dos testes experimentais.

As equações lineares para cada etapa são igualadas algebricamente fornecendo assim o ponto de interseção. Na Figura 19 obteve-se o ponto de equilíbrio de pressão igual 7,84 MPa e temperatura 279,33 K.

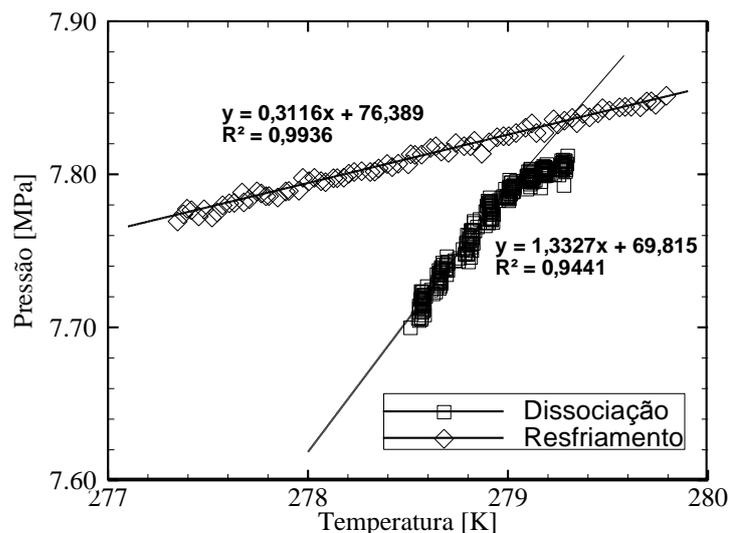


Figura 19 - Ponto de Equilíbrio de hidrato de fluido de perfuração + metano

Para cada teste realizado foi obtido o seu respectivo ponto de equilíbrio. A Tabela 5 apresenta os resultados experimentais para as seis condições de teste realizadas.

Tabela 5 – Resultados obtidos com fluido de perfuração e metano

<i>TEMPERATURA (K)</i>	<i>PRESSÃO (MPa)</i>
279.33	7.84
279.41	7.97
279.48	7.64
280.91	9.09
283.15	11.76
284.02	11.76

A Figura 20 ilustra a comparação entre os dados obtidos experimentalmente fluido de perfuração e a modelagem numérica contendo inibidores desenvolvida por Kakitani (2014). Pode-se observar que os dados obtidos numericamente condizem com os dados experimentais para a faixa de valores testado experimentalmente, podendo assim concluir que dentre os componentes presente no fluido de perfuração o mais importante seria o NaCl. Essa comparação só foi possível devido aos principais componentes considerados neste sistema serem água e NaCl.

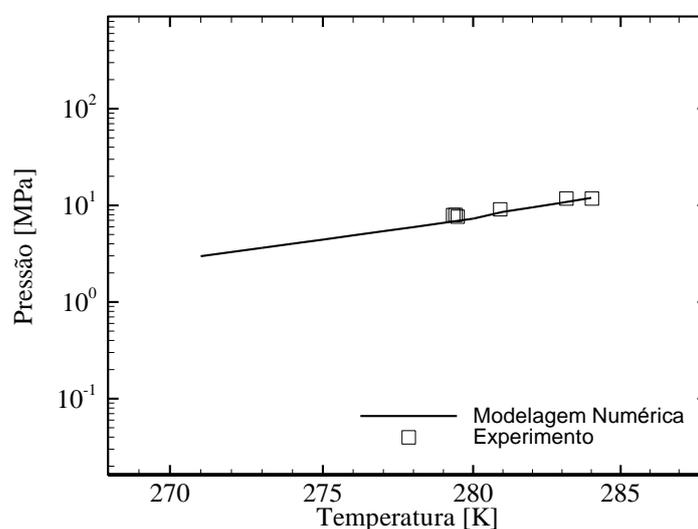


Figura 20 - Comparação entre os resultados experimentais e Kakitani (2014)

Com dados obtidos preliminarmente pode-se realizar uma análise inicial entre os dados obtidos experimentalmente e os dados obtidos através da modelagem realizada pelo trabalho de Kakitani (2014).

Como pode ser observado a Tabela 6 ilustra os desvios obtidos para cada ponto de equilíbrio onde cada ponto comparado com a modelagem numérica se mostraram relativamente altos em sua maioria. Uma das justificativas para o desvio encontrado seria a falta de análise separadamente de cada componente presente no fluido impossibilitando conhecer o que cada componente influencia de fato no ciclo de formação de hidratos e por consequência na curva de equilíbrio. Além da ineficácia na agitação o que também foi verificado que atrapalha durante o experimento e por consequência na obtenção dos resultados.

Tabela 6 - Comparação entre os resultados numéricos e experimentais

<i>TEMPERATURA (K)</i>	<i>PRESSÃO (MPa)</i>		<i>DESVIO (%)</i>
	NUMÉRICO	EXPERIMENTAL	
279,33	6,70	7,94	15,59
279,41	6,80	7,97	14,74
279,48	6,80	7,64	11
280,91	8,35	9,09	8,15
283,15	10,78	11,76	8,37
284,02	11,99	11,76	1,93

Os dados experimentais de Kakitani (2014) apresentados na Figura 21 foram obtidos para a obtenção da curva de hidratos de composições de metano e água. De acordo com a análise dos dados foi possível verificar que o sal presente na composição do fluido de perfuração pode ser considerado um inibidor de hidratos nesse caso, pois os pontos obtidos com fluido de perfuração + metano estão deslocados a esquerda dos resultados de água + metano. Esse deslocamento indica o efeito de inibição termodinâmica.

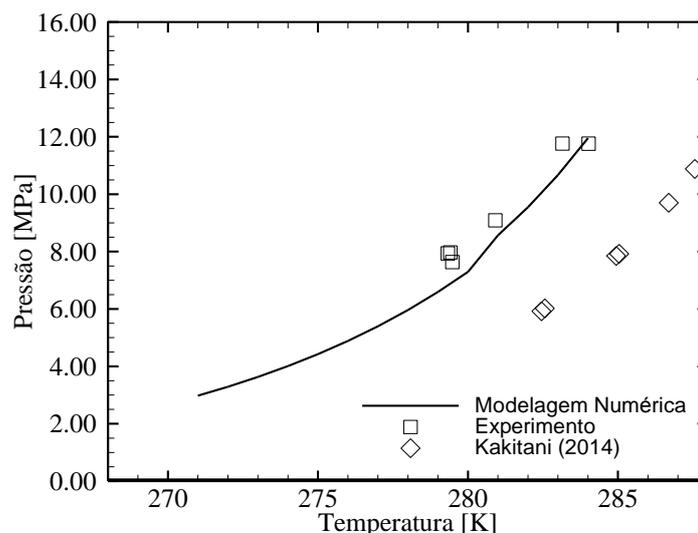


Figura 21 - Comparação com resultados modelagem 10% NaCl, experimentais presente trabalho e experimentais Kakitani (2014)

4.4 TESTES EXPERIMENTAIS ENVOLVENDO FLUIDO DE PERFURAÇÃO + METANO A PARTIR DE UMA NOVA METODOLOGIA

Depois de realizados os testes envolvendo a metodologia da Seção 3.1, verificou-se através da Figura 15 que a metodologia utilizada deveria passar por algumas modificações conforme explicado na subseção 4.3.1. A nova metodologia alterou apenas a etapa de dissociação, mantendo as demais exatamente como explicado na seção 3.1. Conforme já visto, o processo de dissociação é composto por uma etapa rápida e outra lenta. Nesta metodologia, o aquecimento rápido é realizado até uma dada temperatura perto do ponto de equilíbrio. A partir desse momento a etapa lenta foi realizada aumentando-se a temperatura a uma taxa de 0,05°C/h, esta taxa só foi aumentada novamente depois de se verificar que não havia mais variação na pressão do sistema, esse processo foi realizado justamente para tentar evitar o fenômeno ilustrado através da Figura 15. A Figura 22 apresenta o ciclo realizado através da metodologia descrita.

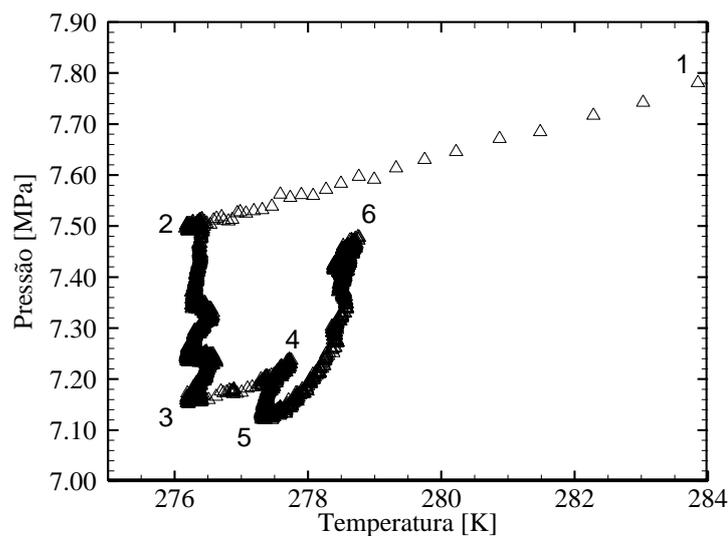


Figura 22 - Diagrama temperatura e pressão de formação de hidrato de fluido de perfuração + Metano utilizando de uma nova metodologia

A partir da Figura 22 pode-se notar que no início do aquecimento (3-4) ocorreu uma rápida queda de pressão (4-5). Acredita-se que tal fato pode ser justificado pelo curto período de resfriamento e, conseqüentemente, pouca queda de pressão (2-3) também comparado com Kakitani (2014), fato este semelhante ao que ocorre na Figura 15. Com a utilização de um agitador mais eficiente espera-se resolver o problema da mistura do sistema, resultando em maior nucleação e crescimento de hidratos (2-3), caracterizado graficamente por maiores quedas de pressão.

Devido a problemas técnicos não foi possível obter o ponto de equilíbrio do teste, pois o experimento foi interrompido durante a realização da dissociação, não completando o ciclo até o final. Em consequência não se pode confirmar que a curva ilustrada na Figura 22 seria substituída pela intersecção da reta de dissociação com a de resfriamento, conforme mostrado na Figura 6.

O primeiro teste realizado com a nova metodologia empregada durou aproximadamente 20 dias para realizar somente as etapas de resfriamento, formação de hidratos e início da dissociação devido ao longo tempo para obtenção de um ponto de equilíbrio não foram realizados outros testes para verificar a eliminação da curva.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O tema de estudo do presente trabalho tem como objetivo contribuir para o conhecimento do comportamento de fluidos de perfuração em situações potenciais de formação de hidratos, uma vez que a literatura sobre o assunto ainda é bastante escassa. A revisão bibliográfica realizada tornou possível observar a escassez de informação sobre o assunto. Contudo, a literatura fornece os mecanismos de formação de hidratos em soluções salinas, sistemas que mais se assemelham a hidratos com fluido de perfuração, já que um dos principais componentes do fluido é o sal.

Os experimentos foram realizados com fluido de perfuração + metano utilizando-se da metodologia apresentada na Seção 3.1 e da bancada esquematizada na Seção 3.3. Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios comparados com a modelagem numérica com inibidor desenvolvida em trabalhos anteriores no laboratório de Ciências Térmicas (LACIT), da UTFPR.

De acordo com as comparações realizadas na Figura 21 pode-se notar que de fato o componente que mais influencia na formação de hidratos é o NaCl, pois os pontos de equilíbrio obtidos são bem próximos aos pontos da modelagem numérica na presença de sal. Ainda, os pontos obtidos no experimento quando comparados com os pontos obtidos por Kakitani (2014), deslocaram-se para a esquerda, caracterizando o comportamento inibidor do sal.

Alguns problemas foram encontrados durante a realização dos testes experimentais, dentre eles:

- Com a realização de seis ensaios pode-se observar as mesmas dificuldades com relação à injeção de gás no sistema, devido a este processo ocorrer manualmente, dificultando o seu controle. Devido a esse contratempo dois dos seis testes foram realizados mais de uma vez para tentar adquirir os mesmos pontos para cada faixa de pressão e temperatura, porém, devido ao problema da inserção manual de gás no sistema, os dados obtidos

continuaram a apresentar divergências quanto aos valores encontrados para o ponto de equilíbrio para as condições específicas de pressão e temperatura.

- A ineficácia na agitação (mistura homogênea do fluido de perfuração + gás) resultou nas baixas quedas de pressão encontradas nos experimentos, o que por sua vez, culminou em baixas quantidades de hidratos comparado com os resultados obtidos por Kakitani (2014).

Além disso, a alta concentração de sal presente na composição do fluido de perfuração representa um potencial corrosivo, que a longo prazo pode deteriorar a célula e prejudicar os ensaios.

Devido a esses obstáculos encontrados durante os testes experimentais sugere-se para a realização de trabalhos futuros para formação de hidratos com fluido de perfuração a construção de uma nova bancada, com uma célula de equilíbrio com agitador intrínseco que contorne as dificuldades encontradas neste projeto.

A construção de uma nova bancada foi planejada com a compra de novos equipamentos, o princípio de funcionamento será exatamente igual ao da bancada já existente, a diferença mais significativa será a construção da nova célula contendo um agitador intrínseco o que possivelmente resolveria o problema da agitação de fluido de perfuração e gás. A Figura 24 e a Figura 24 ilustram um fluxograma do projeto e uma imagem de como será a nova bancada, respectivamente.

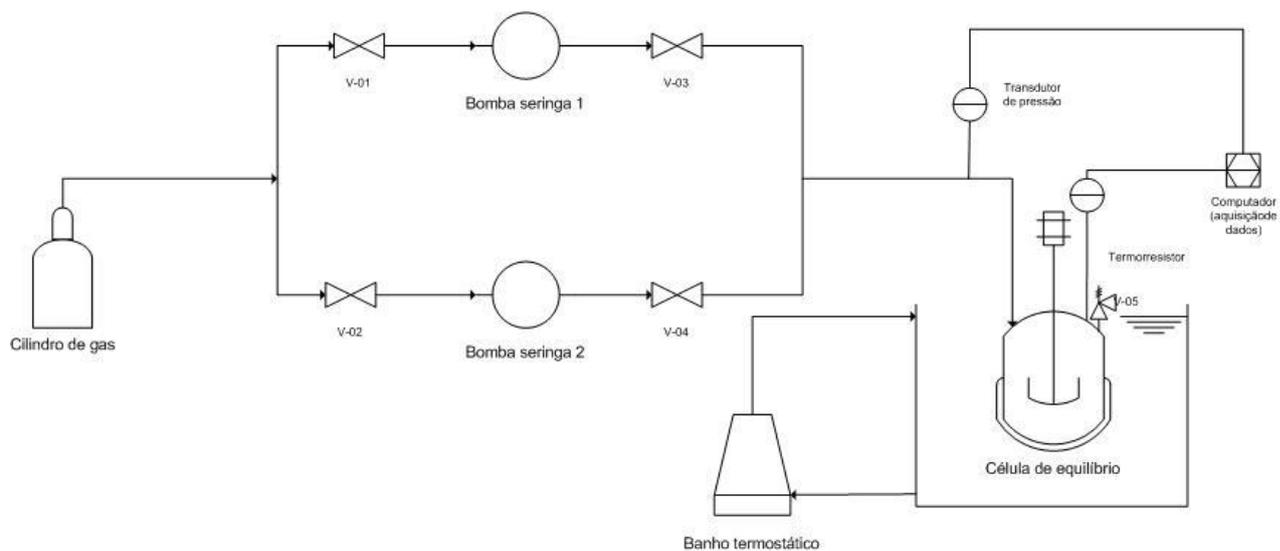


Figura 23 - Esquema da nova bancada

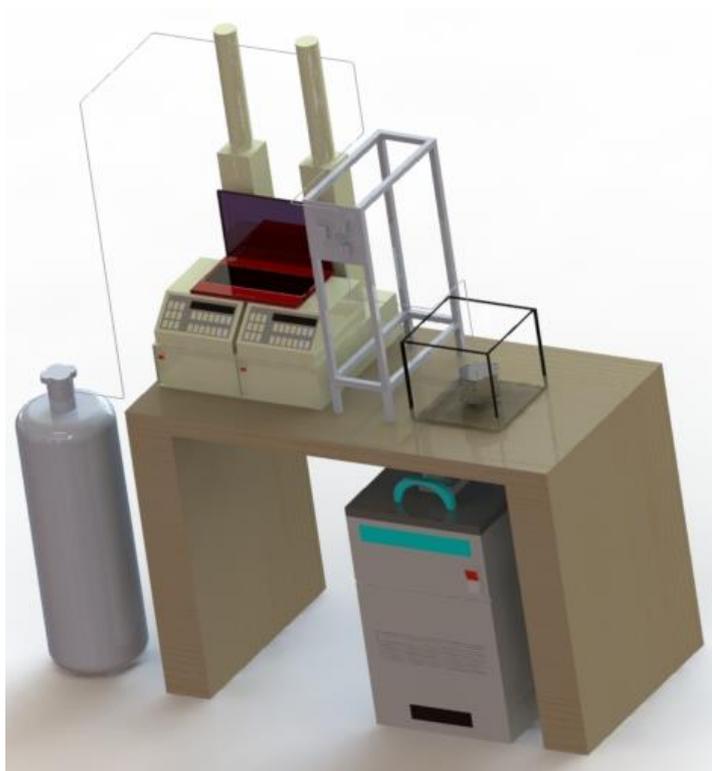


Figura 24 - Imagem da nova bancada

Fonte: Autoria própria

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, J. M. M. **Análise da Formação de Hidratos em Atividade de Perfuração de Campos Petrolíferos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Projeto Final de Curso, 2007.
- CAENN, RYEN; CHILLINGAR, GEORGE V. **Drilling Fluids : State of the Art**. Journal of Petroleum Science and Engineering. USA: aWestport technology Center; bCivil engineering department, University of Southern California. June 1995.
- CARVALHO, R. B. **Processamento de Lamas de Perfuração (Lamas a base de água e lamas a base de óleo)**. Universidade Federal de Itajubá. Projeto de Iniciação Científica, 2005.
- CARVALHO, R. B. **Análise de Metodologia de Controle de Hidratos em Águas Ultra- Profundas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Projeto de Graduação, 2010.
- DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. **Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids**. Gulf Publishing Company, 1988.
- DEATON, W. M., FROST, E. M., Jr. **Gas Hydrate and Their Relation to the Operation of Natural Gas Pipe Lines**. U.S. Bureau of Mine Monograph 8, pp. 101, 1946.
- DIAS, M. A. **Influência da Solubilidade do Dióxido de Carbono em Água na Formação de Hidratos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Projeto Final de Curso, 2014.
- DURRIEU J., ZURDO C., BENAÏSSA S. CLARK, D.:**“Environmentally Friendly Invert Fluid Systems with Enhanced Rate of Biodegradation,”** paper SPE 61212 International Conference on Health, Safety and the Environment, Stavanger. June 26-28, 2000.
- FERREIRA, M. I. P., 2003, **“Impactos Ambientais Associados ao Emprego dos Fluidos de Perfuração”**, COPPE / UFRJ, Macaé, RJ.
- GUIMARRÃES, I. B.; ROSSI, L. F. S. **Estudo dos Constituintes dos Fluidos de Perfuração Proposta de Formulação Otimizada e Ambientalmente Correta**. 4^o PDPETRO, 2007.

KAKITANI, C. **Estudo de Equilíbrio de Fases de Hidratos de Metano e da Mistura Metano e Dióxido de Carbono**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Tese de Mestrado, 2014.

MAIRS, H.¹, SMITH, J.², MELTON, R.³, PASMORE, F.⁴, MARUCA, S.⁵. **Efeitos Ambientais dos Cascalhos Associados a Fluidos Não Aquosos: Fundamentos Técnicos**. Novembro 2000.

McLeod, H.O., Campbell, J.M., J. Petl Tech.(1961).

MELO, C. L., THEDY, E. A., ROCHA, P. S., de ALMEIDA, A. S., & MUSSE, A. P. (2011). **The challenges on the CCGS monitoring in the development of Santos Basin Pre-salt Cluster**. *Energy Procedia*, 2001.

Nakamura, T., Makino, T., Sugahara, T., Ohgaki, K., Chem. Eng. Sci., 58, 269 (2003).

PICKERING, P. F., EDMONDS, B., MOORWOOD, R. A. S., SZCZEPANSKI, R. & WATSON, M. J. 2001. **Evaluating new chemicals and alternatives for mitigating hydrates in Oil and Gas production**. IIR Conference. Aberdeen, Scotland.

ROSSI, L. F. S. **Formação de Hidratos em Sistemas de Gás Natural**. Universidade Estadual de Campinas. Tese de Mestrado, 1990.

SANTOS, O. L. A. **Segurança de Poço em Lâminas de Água Ultraprofundas**.

Anais do I Encontro Nacional de Hidráulica de Perfuração e Completação de Poços de Petróleo e Gás, Domingos Martins - ES, 29/08 a 31/08 de 2006.

SCHLUMBERGER LIMITED. "Schlumberger Excellence in Educational Development", Disponível em: <<http://www.seed.slb.com>>

SERRA, A.C.S., 2003, "**A influência de aditivos de lamas de perfuração sobre as propriedades geoquímicas de óleos**", COPPE/UFRJ/CENPES/PETROBRAS, Rio de Janeiro, RJ.

SLOAN, E. D.; KOH, C.A. **Clathrate Hydrate of Natural Gases**. 3ª Edição, Flórida, E.U.A. Editora CRC Press, 2008.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Editora

Interciência, 2001.

WILLS, J. Environmental Effects of Drilling Waste Discharges. Environmental Effects of Drilling Fluid Additives. Disponível em <<http://www.ofshoreenvironment.com/additives.html>> Acesso em 24 de julho de 2014.

APENDICE A – PROCEDIMENTO PARA OPERAÇÃO DA BANCADA DE FORMAÇÃO DE HIDRATOS

Este procedimento foi realizado para orientar os operadores que forem trabalhar na bancada de formação de hidratos presente nas dependências do LACIT. Este guia contém as etapas necessárias para a aquisição dos dados para a obtenção do ponto de equilíbrio de formação de hidratos.

1) MONTAGEM DA CÉLULA

Primeiramente é realizada a limpeza de todos os componentes presentes na célula, a limpeza deve ser realizada com água destilada e algodão, para que não haja danos no polimento do interior da célula. Depois de realizada a limpeza, inicia-se a montagem, é aconselhável colocar a célula em uma morsa para que o perigo de cair seja menor, assim não causando danos ao equipamento. A primeira peça a ser montada é a rosca traseira ilustrada na Figura 25, a qual deve vir acompanhada de um anel de teflon, a rosca deve ser vedada por uma fita de teflon para tentar impedir o vazamento de gás.



Figura 25 – Rosca traseira

Depois do fundo da célula já estar devidamente fechado, coloca-se no interior da célula o componente a ser trabalhado (ex: fluido de perfuração, água, etc) o qual deve ser colocado com auxílio de uma seringa. Também no interior da célula deve-se colocar a barra magnética que tende a facilitar a agitação da mistura juntamente com o agitador magnético que fica instalado abaixo da célula de equilíbrio já montada.

Realizada a injeção da substância o próximo passo é o fechamento da parte frontal da célula como mostra a Figura 26, onde inicialmente a rosca frontal deve ser vedada com fita teflon e, por conseguinte deve ser inserido o anel na rosca e outro no corpo da célula. Após este procedimento, deve ser colocada a janela de safira no corpo da célula, está deverá ficar entre o anel de vedação da rosca e o anel de vedação do corpo da célula, concluídas essas etapas de fechamento das roscas o corpo da célula estará devidamente montado com todas as suas partes.

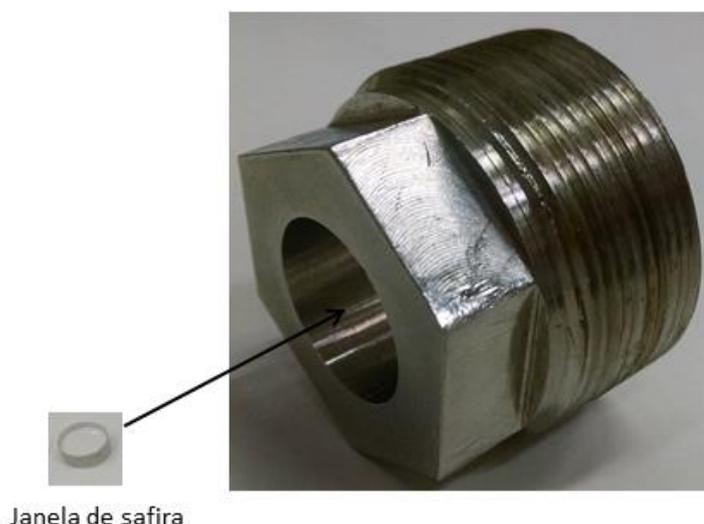


Figura 26 – Rosca dianteira

2) MONTAGEM DO CORPO DA CÉLULA NO SISTEMA

1ºPasso: Através da Figura 27 pode-se notar como é realizado o processo de inserção do corpo da célula dentro da camisa de controle de temperatura,

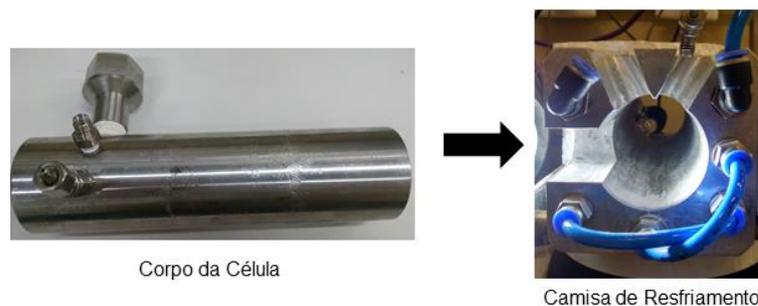


Figura 27 – Corpo da célula

2ºPasso: Realizar as conexões com o termopar e as linhas de gás, com auxílio das chaves de boca de 10” e 11”. Sempre utilizar duas chaves quando for realizar o aperto das conexões, uma para fixar a contra-porca e a outra para apertar a conexão. Com auxílio da Figura 28 pode-se verificar as conexões principais do sistema de hidratos.



Figura 28 – Conexões termopar e linhas de gás

3) MONTAGEM DA CIRCULAÇÃO DE ÁGUA NO SISTEMA

1º Passo: Verificar se as mangueiras de circulação de água mostradas na Figura 29 estão devidamente conectadas na camisa de resfriamento para evitar possíveis vazamentos de líquido contido no interior do banho termostático.



Figura 29 – Mangueiras de circulação de água

2º Passo: Verificar se o banho termostático está cheio de água ou outro fluido utilizado para resfriar o sistema, caso esteja então ligar o banho termostático na temperatura desejada. Para isso basta estabelecer a temperatura no botão SET e apertar OK. A Figura 30 ilustra o banho termostático presente no laboratório do LACIT aonde foram realizados todos os testes experimentais.



Figura 30 – Banho termostático

Para programar o banho basta seguir as etapas abaixo.

- 1) Na janela de funções do banho exemplificada através da Figura 31.



Figura 31 –Função do banho termostático

- 2) Selecionar a opção programa após escolhido selecionar o botão editar. A Figura 32 ilustra como deve ser realizado a seleção do programa.



Figura 32 – Seleção do programa desejado

- 3) Após selecionada a opção editar, basta preencher os itens de temperatura inicial, temperatura final e o tempo de duração de uma temperatura para outra e selecionar ok como mostrado na Figura 33. Podem ser realizadas quantas etapas forem necessárias para o desenvolvimento do experimento.

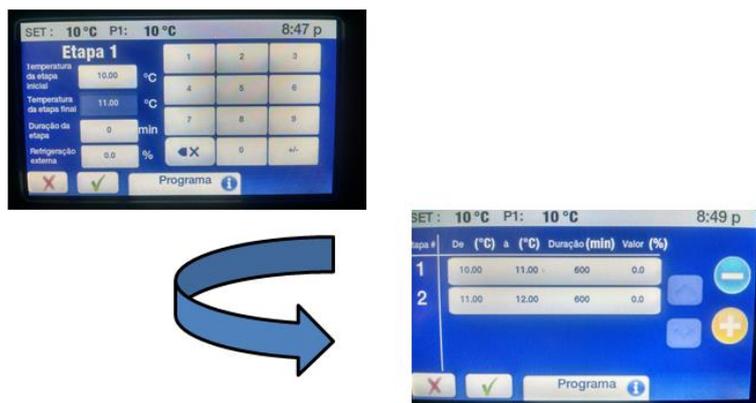


Figura 33 – Edição do programa

- 4) Finalizando as programações, o último passo é escolher a prioridade de mudança de temperatura, número de ciclos e a temperatura de molho. A temperatura de molho é considerada a temperatura inicial do experimento. Depois de realizada esta última etapa, basta dar ok e o banho seguirá o programado como ilustrado na Figura 34.



Figura 34 – Escolha das prioridades do experimento

3º Passo: Ligar a válvula para a circulação da água e verificar se esta ocorrendo circulação do fluido do banho para a camisa. Importante não deixar o banho funcionando sem que haja essa circulação.

4) PRESSURIZAÇÃO DA CÉLULA

1º Passo: Ligar as duas bombas e depois ligar o controlador da bomba mostrado por meio da Figura 35 nesta sequência.



Figura 35 – Controladores das bombas

2º Passo: Verificar se a bomba está cheia do gás a ser utilizado no experimento.

3º Passo: Caso a bomba contenha o gás, o próximo passo é pressurizar a linha de gás até a célula.

Para pressurizar:

- 1) Apertar o botão A
- 2) Selecionar a pressão no *display*, sempre ir aumentando a pressão na bomba de 5 em 5 bar.
- 3) Selecionar ENTER
- 4) Selecionar RUN
- 5) Repetir esse procedimento até alcançar a pressão desejada.
- 6) Então pressurizar a linha de gás até a célula. Primeiramente abre-se a válvula V02 lentamente para a passagem de gás, em seguida abre-se a válvula V03 que dá acesso a célula de equilíbrio. Este procedimento deve ser feito visualizando o aumento da pressão no programa do Labview, para que o operador tenha controle da quantidade de gás que está sendo injetada na célula de equilíbrio. Realizado isso até a pressão desejada, fecham-se as

válvulas V02 E V03 para que não haja vazamento no sistema. As válvulas V01, V02 e V03 podem ser visualizadas através da Figura 36.

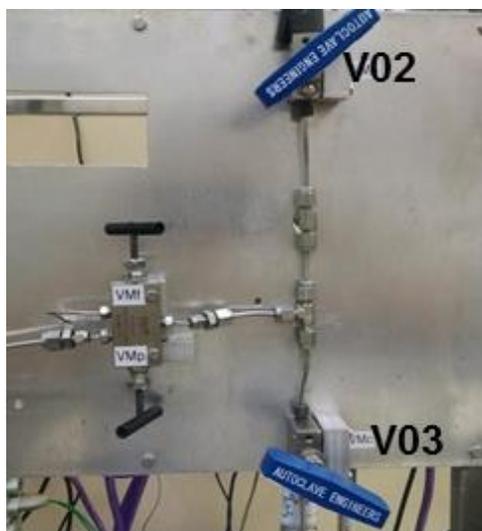


Figura 36 – Válvulas de circulação de gás

- 7) Após pressurizar a linha, deve-se despressurizar a bomba e desligá-la, desligando primeiro o controlador ilustrado na Figura 37 e depois as duas bombas



Figura 37 – Painel de informações da bomba

Caso a bomba não esteja cheia, então é necessário certificar-se que as válvulas de gás estão devidamente fechadas e após essa verificação basta abrir o cilindro de gás, que se encontra do lado de fora dos laboratórios do

LACIT. Após aberto o cilindro ai sim se pode abrir a válvula de gás desejado até que se encha a bomba, feito isso fecham-se novamente as válvulas e o cilindro de gás. As válvulas dos diferentes tipos de gás que podem ser utilizados nos testes podem ser visualizadas através da Figura 38.



Figura 38 – Linha de circulação de gás do cilindro para a bomba

5) AQUISIÇÃO DE DADOS

- 1) Ligar a fonte para a aquisição dos dados no botão indicado na Figura 39 e verificar o acendimento do LED verde



Figura 39 –Fonte para aquisição dos dados

- 2) Ligar o computador e iniciar o programa LabView onde deve aparecer a interface mostrada na Figura 40, selecionar a seta para começar a rodar o

programa, feito isso vitrificar a aquisição e a atualização de dados de pressão e temperatura na célula e na camisa. Essa etapa indica que o sistema já esta recebendo os dados corretamente, caso isso não ocorra verificar a ocorrência de possíveis erros.

Após atingir a pressão desejada e a estabilidade da bancada, pode-se começar a gravar os dados, basta apertar o botão gravar do programa, o indicador se acenderá mostrando que os dados já começaram a ser gravados. A coleta de dados continuará até que o botão seja desligado.

Os arquivos de dados são salvos na pasta do labviewdata que se encontra no diretório do computador utilizado para testes no LACIT. O nome do arquivo dado para cada teste, segue a seguinte ordem anomesdata.lvm.

Esse procedimento deve ocorrer depois de todas as etapas já estarem finalizadas, a célula pressurizada e o banho funcionando.



Figura 40 – Interface do programa Labview

6) TÉRMINO DO TESTE

- 1) Depois de terminado o teste deverá ser feito a purga do sistema, retirando-se todo o gás que se encontra no interior da célula. A purga é realizada por meio da válvula VMp como mostra a Figura 41.



Figura 41 – Válvula de purga do sistema

- 2) Desmontar a célula, realizar a limpeza exatamente como explicado para a montagem, sempre manter a célula limpa como ilustra a Figura 42.



Figura 42 - Conjunto de peças das célula de equilíbrio

- 3) Fechar as válvulas de circulação de água e desligar o banho termostático.