



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA – CT

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA – CCET

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
PETRÓLEO - PPGCEP



Paulo Sérgio e Silva

**Automação Da Drenagem No Teste De Produção Convencional
Em Tanque Cilíndrico**

Natal / RN - Novembro - 2008

Paulo Sérgio e Silva

Automação Da Drenagem No Teste De Produção Convencional Em Tanque Cilíndrico

Orientador:

Prof. D. Sc. André Laurindo Maitelli

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo.

Área de concentração: Automação e Instrumentação da Instalação de Petróleo.

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, Paulo Sérgio e.

Automação da drenagem no teste de produção convencional em tanque cilíndrico / Paulo Sérgio e Silva. – Natal, RN, 2008.

61 f.

Orientador: André Laurindo Maitelli.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo.

1. Teste de produção (Petróleo) – Dissertação. 2. Sistema de drenagem – Dissertação. 3. Automação e controle – Dissertação. 4. Dreno de água livre – Dissertação. 5. Medição em taque – Dissertação. 6. Petróleo – Dissertação. I. Maitelli, André Laurindo. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 622.276.05(043.3)

Natal / RN - Novembro – 2008

Paulo Sérgio e Silva

**Automação Da Drenagem No Teste De Produção Convencional
Em Tanque Cilíndrico**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Aprovado em 28 de Novembro de 2008.



Prof. Dr. André Laurindo Maitelli - Orientador - UFRN



Prof. Dr. Andres Ortis Salazar - Membro Interno - UFRN



Prof. Dr. Vicente Delgado Moreira - Membro Externo - PETROBRAS

Natal / RN - Novembro – 2008

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS. Aos meus pais, Manuel Batista (em memória) e Maria Antonieta, a minha esposa, filho e irmãos, em especial pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis que vivemos juntos.

Agradecimentos

Aos companheiros de trabalho da PETROBRAS, pela indicação, incentivo e liberação para as aulas para participação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, PPGCEP.

Ao meu orientador Professor André Maitelli, pelo incentivo e idéias na composição deste trabalho.

Ao meu amigo Engenheiro Izidório Ribeiro, pela presença marcante nas incursões de campo algumas vezes diante de um sol de meio dia.

Aos Engenheiros Vicente Delgado e Geraldo Moura pela participação e auxílio nas programações de campo, pesquisas, reuniões e paciência.

Ao Sensei James pelos treinos e ensinamentos de aikido, para recompor a energia no caminho da sabedoria.

Aos que compõem o curso de inglês Wise Up em especial o Coordenador e Professor Albertino pelos ensinamentos e correções da língua inglesa.

À coordenação e secretaria do PPGCEP pela oportunidade, organização e comunicação dos eventos necessários para minha participação neste programa.

Aos componentes da banca, pelas recomendações que delinearão este trabalho quando da qualificação e aprovação deste projeto.

Epígrafe

“Eu não descobri nada, eu simplesmente mostro a porta que me foi aberta...”

Morihei Ueshiba

Resumo

Este trabalho tem por objetivo melhorar a qualidade dos testes de produção em tanques verticais com drenagem da água livre, através da instalação de dispositivos para controle automático do sistema de drenagem do tanque. Esta proposta de melhoria consiste na montagem de um detector de interface próximo do fundo do tanque e uma válvula de controle no dreno, interligados a um sistema de supervisão remota, reduzindo a influência humana na finalização e resultados do teste. O trabalho mostra a importância do teste de produção dos poços para o acompanhamento e diagnóstico do processo produtivo, através da citação da grande quantidade de testes realizados e das dificuldades do procedimento atualmente adotado. Existem muitas possíveis fontes de incerteza neste tipo de teste, que foram constatadas por experimentos realizados no campo. O protótipo do objeto desta dissertação será montado no campo, tendo como base a definição dos parâmetros e características dos dispositivos desta proposta. Para melhor definir o processo de drenagem são mostrados os resultados das ações de acompanhamento de testes, especialmente modificados para entendimento da problemática do processo atual. Com base nos resultados das pesquisas foi possível detalhar a proposição de melhoria, e definir a configuração a ser montada no tanque de teste da Estação Coletora do campo de Monte Alegre, inclusive o tipo de detector de interface e o sistema de controle a ser adotado. O resultado deste trabalho serviu de base para o projeto do piloto atualmente em implantação, com conclusão prevista para abril/2009. Este piloto está registrado como o projeto classificado na categoria de novas tecnologias e melhoria da produção da PETROBRAS, Unidade de Negócios do Rio Grande do Norte e Ceará. Esta dissertação conclui que a automação do sistema de drenagem do teste convencional trará benefícios tanto econômicos como metrológicos ao minimizar a incerteza do procedimento de teste com drenagem da água livre e conseqüente redução do número de testes falhos.

Palavras-chaves: Teste de Produção. Sistema de Drenagem. Automação e Controle. Dreno de água livre. Medição em Tanque. Petróleo.

Abstract

This document aims to improve the quality of the production test in vertical tanks with free water drain pipes, through a device to control the draining system. This proposal consists of an interface detector close to the tank bottle and a control valve on the pipe-drain; they are attached to a remote supervisor system, which will be minimizing the human influence in the conclusion of the test result. And for more consciousness the work shows the importance of the wells production test in the attendance and diagnosis of the productive process, informing the large number of tests executed and problems of the procedure adopted in the field today. There are many possible sources of uncertainty in this kind of test as shown in the experiments realized in the field; the object prototype of this dissertation will be made in the field, based upon the definition of parameters and characteristics of the devices proposal. For a better definition of the draining process the action results of the assessment test are shown, especially changed some for the understanding of the real process. It shows the proposal details and the configuration that will be used in the tank of Monte Alegre's field Production Station, explaining the interface detector kind and the control system. It is the base to a pilot project now in development, named as the new project classified in the status of the new technology and production improvement of PETROBRAS in Rio Grande do Norte and Ceará. This dissertation concludes that the automation of the conventional test with the draining system will bring benefits both economically as metrologically, because it reduces the uncertainty of the test procedures with free water draining, and also decreases the number of tests with problems.

Keywords: Production Test. Draining System. Automation and Control. Drain of free water. Measurement in Tank. Petroleum.

Sumário

1.	Introdução.....	13
2.	Teste de produção em tanque	17
2.1.	Importância do teste de produção	18
2.2.	Procedimento do teste de produção em tanque	19
2.3.	Cálculo dos volumes	21
3.	Experimentos	25
3.1.	Estudo sobre o fator de contração.....	26
3.2.	Estudo sobre a sistemática de teste	27
3.3.	Estudo sobre a formação de vórtice	29
4.	Proposta de automação do dreno	32
4.1.	Dados do dispositivo sensor	33
4.2.	Dados do tanque escolhido	35
4.3.	Cálculo da vazão de drenagem.....	36
4.3.1.	Cálculo do perfil de descarga do tanque	37
4.3.2.	Solução particular	39
4.3.3	Resultado do cálculo	40
4.4.	Procedimento do teste com dreno automatizado	41
4.5.	Esquema simplificado do método proposto.....	43
4.6.	Controle do método proposto	44
4.6.1.	Sistema de Automação	44
4.6.2.	Programa de Controle	45
5.	Conclusão	48
	Referência	51
	Apêndice A - Cálculo da aceleração da gravidade local.....	53
	Apêndice B - Cálculo do fator de contração.....	56
	Apêndice C - Questionário aplicado aos operadores.....	59

Lista de Ilustrações

Figura 1 Evolução do número de teste por ano nos campos do RN e CE	19
Figura 2 Amostras nas provetas para análise de BS&W total.....	22
Figura 3 Divisão da emulsão em camadas.....	23
Figura 4 Proteção do dreno de fundo.....	30
Figura 5 Posicionamento do sensor de interface	34
Figura 6 Esquema simplificado do tanque TQ-3473.0110.....	35
Figura 7 Fluxograma do tanque TQ-3473.0110	36
Figura 8 Corte do tanque vertical.....	37
Figura 9 Curva da queda do nível de fluido durante a drenagem.	40
Figura 10 Sistema de teste em tanque com drenagem automatizada.....	42
Figura 11 Procedimento de teste em tanque com drenagem automatizada	43
Figura 12 Tela do supervisor existente que será adequada	45
Figura 13 Fluxograma de abertura da válvula	46
Figura 14 Estação Coletora de Monte Alegre - A	55

Lista de Tabelas

Tabela 1 Comparativo da densidade x BS&We.....	47
Tabela 2 Planilha de dados do primeiro experimento.	57
Tabela 3 Planilha de dados do segundo experimento	58
Tabela 4 Quadro de resultados do questionário.....	61

Lista de Abreviaturas

BS&W: Basic Sediments and Water

CE: Estado do Ceará - Brasil

FCV: Fator de Correção Volumétrica

ODE: Ordinary Differential Equation

PETROBRAS: Petróleo Brasileiro S.A.

PI: Plant Information

RN: Estado do Rio Grande do Norte - Brasil

RGO: Razão Gás Óleo

RTM: Regulamento Técnico de Medição

SIP: Sistema de Informação da Produção

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

Nos campos produtores de petróleo dos Estados brasileiros do Rio Grande do Norte (RN) e Ceará (CE) a PETROBRAS trabalha com 4.700 poços, dos quais 52,0% destes são testados em tanques cilíndricos com dreno da água livre. E o restante dos poços é testado em vaso separador e tanques cilíndricos sem drenagem de água livre. No entanto o interesse deste trabalho está diretamente ligado ao tipo de teste em tanque com drenagem da água livre.

O processo usado para o acompanhamento do desenvolvimento da produção de um campo de petróleo é a execução freqüente de testes de produção dos poços. Neste processo são verificados os volumes produzidos de óleo, gás e água dos poços, que variam conforme a condição da zona de produção. No caso dos poços que produzem de rocha reservatório com mecanismo de aquífero a produção de água tende a aumentar com o desenvolvimento da produção do campo, tornando necessária a verificação mais freqüente da condição dos poços. Em vista disto foi aplicado aos poços dos campos produtores terrestres de reservatórios com sistema de aquífero uma metodologia de teste de produção, que atendesse ao comportamento dos poços produtores com crescente aumento da produção de água aliada a uma redução da pressão e produtividade do reservatório, [1]. Esta metodologia de teste de produção é realizada em tanques verticais com *vent* e sistema de drenagem da água livre, pois estes poços têm baixíssima produção de gás natural e alta produção de água. A qualidade da drenagem da água livre é fundamental na determinação conclusiva dos resultados deste tipo de teste, que indicará se a verificação do poço produtor é representativa dos fluidos líquidos produzidos.

A técnica atual pode apresentar considerável erro dependendo de quem a realiza. Por isso a existência de testes falhos é considerável, declarada em pelo menos 10,0%, que acarreta atraso na programação e aumento nos custos da qualidade, pois ao invés de realizar outro teste para substituir o teste falho os operadores deveriam estar fazendo um teste novo. Outro ponto interessante a ser observado é que este tipo de teste com atividade manual prende a atenção do operador à Estação de Teste durante o processo de drenagem, pois este poderia estar usando este tempo em outras tarefas.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os parâmetros necessários para a automação da drenagem da água livre do teste de produção convencional em tanque cilíndrico vertical, a fim de minimizar as incertezas deste tipo de teste. Para este fim são usados equipamentos existentes no mercado, disponíveis para aplicação em grandes tanques, [20], com capacidade em torno de 35.000 m³, instalados nas Estações de Tratamento, Terminais e Parques de Armazenamento. Entretanto, esta tecnologia tem evoluído e será avaliada a sua utilização em tanques menores. Desta forma será necessário passar por um ajuste dos parâmetros, a fim de que esta se amolde à nova condição operacional.

A técnica de automação aqui proposta, aplicada à drenagem da água livre do procedimento do teste de produção convencional, enquadra esta modalidade de teste dentre aquelas que atendem às exigências de erro admissível do Regulamento Técnico de Medição (RTM), pois reduz a influência humana no procedimento atualmente adotado ao realizar os testes de produção com drenagem. Também, encontramos na Venezuela poços de petróleo com testes de produção em tanque e drenagem da água livre, contudo os menores tanques de teste são de 200 m³, dez vezes maior que os tanques do piloto no RN. Devido aos grandes valores de vazão e o tipo de óleo dos poços o problema maior é a espessura da camada da interface óleo água, tornando difícil definir o término da drenagem da água livre e quando paralisar a drenagem. Contudo o uso dos sensores para auxiliar a drenagem da água livre está sendo implantada. Em alguns terminais brasileiros também foram testados sensores para facilitar a drenagem da água livre automaticamente, mas a experiência não teve sucesso e o projeto foi abandonado.

Este tipo de controle em tanque de pequena capacidade foi incluído dentre as novas tecnologias a serem montadas e avaliadas através de protótipo a ser instalado. O local escolhido para a instalação deste protótipo foi a Estação de Monte Alegre, do campo de mesmo nome, onde outros projetos ligados ao processo produtivo de petróleo também serão avaliados. O tanque 3473.0110 foi escolhido para a instalação do piloto de controle do dreno da água livre, tendo em vista que este já tem sistema automático de nível e temperatura, e sistema de drenagem.

Na Estação de Tratamento de Fluidos de Guamaré existe um sistema de controle de nível nos tanques da Estação, que usa a mesma ferramenta para localizar o contato óleo água, que busca a estabilização do nível da interface do tanque, bem diferente da proposta deste trabalho. Servindo assim para conhecimento do dispositivo de controle de interface montado, e, também serviu para verificar na parte interna do tanque, não só o

posicionamento do sensor de interface, como os dispositivos do sistema de dreno para controle de vórtice.

O capítulo 2 deste documento apresenta a importância e o presente procedimento do teste de produção em tanque. O capítulo 3 apresenta detalhadamente os experimentos que serviram de embasamento para a proposta deste trabalho. Os detalhes da proposição do sistema e programa de controle do dreno são apresentados no capítulo 4, enquanto as conclusões estão descritas no capítulo 5.

Capítulo 2

Teste de Produção em Tanque

2. Teste de Produção em Tanque

O teste de produção é o processo usado para o acompanhamento do desenvolvimento da produção de um campo de petróleo, o qual é executado em cada poço deste campo numa frequência previamente definida. Neste processo são verificados os volumes produzidos de óleo, gás e água dos poços, que variam conforme a condição da zona de produção. Para conhecimento do objeto a ser trabalhado na proposta de melhoria apresentada neste trabalho, segue uma explanação sobre a importância e procedimento atualmente adotado para realização do teste de produção, assim dividimos esta abordagem da seguinte forma:

- Importância do teste de produção;
- Procedimento do teste de produção convencional;
- Forma de cálculo dos volumes.

Os pontos acima citados são intrinsecamente diferentes, entretanto favorecem a um entendimento sobre a forma de teste abordada neste capítulo, que será objeto da melhoria mostrada a seguir com mais detalhe.

2.1 – Importância do teste de produção

A necessidade de acompanhar a produção poço a poço, a fim de que sejam realizados os diagnósticos e verificação do desempenho dos poços e dos reservatórios e apropriação para pagamento dos encargos governamentais, torna necessária a execução de medições frequentes, as quais são definidas como medição de apropriação do volume produzido. A periodicidade do teste é definida conforme a finalidade do teste de produção podendo ser aumentada de acordo com a importância do poço. Obrigatoriamente os poços são testados a cada 30 dias, quando os testes forem usados para apropriação da produção ao campo, segundo o Regulamento Técnico de Medição (RTM). Conforme os registros dos testes no sistema de informação, dez por cento são falhos.

Nos campos produtores do Rio Grande do Norte e Ceará são realizados mais de 47.000 testes de produção, conforme mostra a figura 1, dos quais em torno de 45.000 testes são realizados nos campos terrestres, o que representam em média mais de 10 testes de

produção por ano por poço. Este número corresponde apenas aos testes registrados no Sistema de Informação da Produção (SIP), pois constatamos junto à operação que um número considerável de testes não é registrado, quando os testes são considerados falhos precocemente. Esta atividade é muito importante para o acompanhamento e estudo dos poços e conseqüentemente, para as zonas de produção de um campo, visto a quantidade de recursos alocados para realização das atividades de avaliação dos poços produtores.

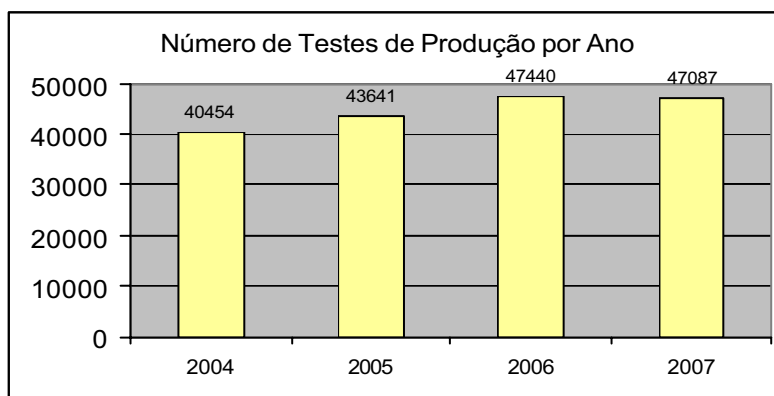


Figura 1 – Evolução do número de teste por ano nos campos do RN e CE

No período de janeiro a julho de 2008 foram registrados 28.275 testes de produção, projetando mais de 48.600 testes para este ano. Todos estes testes compõem um histórico, que serve de base não apenas para o estudo de reservatórios e acompanhamento operacional da produção, mas também para o acompanhamento dos equipamentos de elevação usados nos poços. E conseqüente, através deste acompanhamento de desempenho dos poços é realizada a alocação de recursos e projetos neste ou naquele campo. Outra utilidade deste teste é a locação da produção medida na Estação Central corrigida para a condição padrão, definida como produção fiscal, que serve de base para o pagamento de *royalties* aos municípios, participações especiais e participação aos proprietários de terra, conforme a legislação vigente, [2]. Em vista do apresentado acima concluímos que é de suma importância que a execução dos testes de produção sejam realizadas com uma boa exatidão, a fim de evitar problemas na distribuição dos encargos governamentais, bem como na alocação de recursos por parte da Empresa.

2.2 – Procedimento do teste de produção convencional

Após as mudanças na legislação no final da década de 90, os testes de produção ganharam uma maior importância, com mostrado no item 2.1, devido à distribuição dos

encargos da produção aos Estados, Municípios e Proprietários de terra. Então, a legislação brasileira define diversos parâmetros para a execução do teste de produção. Os testes têm uma duração mínima de pelo menos quatro horas, precedidas de um tempo de produção nas condições de teste não inferior à uma hora, para a estabilização das condições operacionais, [3]. Como o óleo nesta condição não é estabilizado, é necessário medir o encolhimento para correção do volume medido. Desta forma, concluímos que a decantação tem duas funções: definir as fases óleo e água e minimizar o efeito do encolhimento na medição final do teste.

O teste de produção convencional de poço realizado em tanque é aplicado nos diversos campos terrestres da PETROBRAS, a fim de diagnosticar periodicamente a produção e as condições operacionais dos poços. O teste convencional segue basicamente os seguintes passos:

- Alinhar o poço através de acionamento de válvulas manual ou automaticamente para o tanque;
- Manter o poço alinhado por pelo menos uma hora para condicionamento, caso este produza para o tanque. Neste momento a válvula de drenagem deverá estar aberta;
- Após o condicionamento, fechar válvula do dreno e verificar nível do tanque. Preferencialmente é recomendado iniciar o fluxo com nível de fluido igual a zero;
- Iniciar fluxo e mantê-lo por pelo menos quatro horas;
- Após o fluxo, fechar a válvula de entrada do tanque e deixar decantando;
- Após a decantação fazer a medida de nível do tanque, [4];
- Drenar a água livre para sistema de água oleosa da Estação;
- Paralisar a drenagem no instante que começar a sair óleo no dreno;
- Fazer a medição final do nível de líquido no tanque;
- Amostrar o fluido remanescente do tanque para determinação do BS&W e anotar sua temperatura, [5];
- Anotar os valores dos volumes de óleo e água livre, temperatura, massa específica e BS&W da emulsão;
- Reportar os valores no relatório de teste, para a devida atualização do sistema de informação da produção.

A leitura de nível automatizada é feita com sistema radar, conforme recomendação da coordenação nacional de medição, e calibrado periodicamente através da

trena manual de profundidade, [6]. Quanto à temperatura, preferencialmente esta é obtida através de termômetro instalado no costado do tanque.

Para melhorar a exatidão dos valores medidos durante o processo é recomendado que o tanque esteja vazio, a fim de evitar erro por desconhecimento das características do volume remanescente de fluido no momento de início do teste. Então, os cuidados para a execução de um bom teste começam nas condições iniciais do tanque, até a drenagem da água livre que resultará na finalização do teste aliadas a amostragem representativa e boa determinação do BS&W do fluido remanescente, caso o dreno não seja no fundo do tanque. Assim, concluímos que a vulnerabilidade do então procedimento está na subjetividade explicitada na seguinte sentença “... no instante que começar a sair óleo no dreno.”, procedimento este que deixa a cargo de quem o executa a interpretação, conforme o sentimento pessoal, transferindo assim para o resultado do teste a influência do executante.

2.3 – Forma de cálculo dos volumes

Nos testes de produção são gerados dados que serão registrados no SIP, este fluxo de informação começa no boletim de teste do operador até a atualização do sistema de análise, para posterior transformação em informação.

Os valores de massa específica e fração de água são obtidos através da amostragem dos volumes dos fluidos do tanque, e conduzidos para análise das amostras em laboratório. Essa amostragem manual poderá ser estudada para ser automatizada, pois este procedimento não faz parte deste trabalho.

A amostragem do fluido remanescente, após a drenagem, deverá corresponder ao nível central da camada da emulsão. Caso seja necessário dividir a fase óleo em mais de uma camada, teremos uma amostra para cada camada.

Os níveis, inicial e final, antes e após a drenagem são definidos, como:

L_i = Nível inicial define o volume bruto, V_b (m³);

L_f = Nível final define o volume da emulsão, V_e (m³);

BSW_a = Percentual de água livre;

$$BSW_a = \left(\frac{L_i - L_f}{L_i} \right) 100\% \quad (1)$$

Através da análise das amostras em laboratório de campo, figura 2, o *BS&W* e as densidades do óleo e da água da emulsão são determinados, para as devidas correções dos volumes medidos.



Figura 2 – Amostra nas provetas para análise de BS&W total

Após receber a análise do laboratório, aplicar os valores dos percentuais de água nas camadas de óleo correspondentes, para definição do percentual de água da emulsão. Então:

$$BSWe = \text{Percentual de água emulsionada};$$

$$n = \text{número de camadas de emulsão.}$$

Todo tanque usado como dispositivo de medição deve ser arqueado, isto é, ter suas dimensões medidas para certificação do tanque e geração de uma tabela volumétrica, que indicar o volume contido no tanque para cada nível de enchimento em litros por centímetro.

Então, tendo o nível final o volume da emulsão pode ser determinado usando a tabela de arqueação que incluem as deformidades do tanque de teste. E para melhor caracterizar o fluido no tanque foi dividido em camadas, conforme a figura 3. A equação (2) é uma fórmula geral onde o volume de emulsão pode ser dividido em n camadas arbitrariamente, mas devido à crescente produção de água da área escolhida é usual utilizar apenas uma camada durante o teste dos poços.

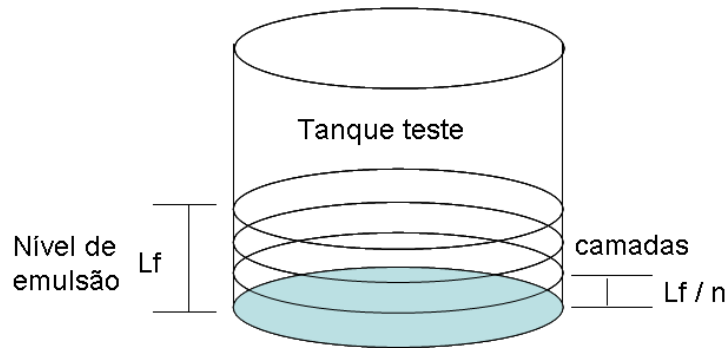


Figura 3 – Divisão da emulsão em camadas

Consultando a tabela de arqueação temos o volume da emulsão (Ve) correspondente ao nível final (Lf). Então podemos escrever que:

$$BSWe = \left[\frac{BSW_1 \left(\frac{Ve}{n} \right) + BSW_2 \left(\frac{Ve}{n} \right) + \dots + BSW_n \left(\frac{Ve}{n} \right)}{Ve} \right] 100\% \quad (2)$$

$$= \left(\frac{BSW_1 + BSW_2 + \dots + BSW_n}{n} \right) 100\%$$

Com base na massa específica e na temperatura do fluido na condição de operação, temos em tabelas o fator de correção volumétrica, $FCVo$, para determinação do volume de óleo, Vo , a 20° C, [16]. Também, o fator de correção volumétrica da água, $FCVa$, é obtido através de norma, para aplicação no cálculo dos volumes produzidos, [7]. Assim, a determinação do percentual de água total do teste, que chamaremos de $BSWt$, é obtida conforme abaixo:

Vb_{corr} = Volume bruto corrigido;

$$Vb_{corr} = \left[(Vb - Ve) + Ve \left(\frac{BSWe}{100} \right) \right] FCVa + Ve \left[1 - \left(\frac{BSWe}{100} \right) \right] FCVo \quad (3)$$

$$BSWt = \frac{\left[(Vb - Ve) + Ve \left(\frac{BSWe}{100} \right) \right] FCVa}{Vb_{corr}} 100\% \quad (4)$$

Com base no nível inicial, Li , temos o volume bruto de líquido, Vb , através da tabela de arqueação do tanque. Então, a vazão bruta diária, Qb , será o volume bruto dividido pelo tempo em horas de fluxo do teste de produção vezes vinte e quatro, vide equação (5).

$$Qb = \left(\frac{Vb_{corr}}{tempo(h)} \right) 24 \quad (5)$$

Desta forma, completamos os dados do teste de produção em um poço produtor de óleo com baixa vazão de gás. A RGO editada será determinada pela engenharia de reservatórios ou definida através da medição conjunta de poços no campo. Os principais dados primários apresentados no relatório de teste serão os seguintes: vazão de óleo @ 20° C, BS&W, RGO e duração do teste, conforme a aplicação das equações de (2) a (5).

Capítulo 3

Experimentos

3. Experimentos

Observando o processo a certa distância, verifica-se que este é um processo simples, entretanto quando os detalhes e os questionamentos florescem, observa-se que a experiência do executante deste tipo de teste é fundamental. Então, faz-se necessário dividir em itens a abordagem para estudar o problema da execução dos testes com drenagem de água livre. E para melhor conhecimento dos problemas que envolvem o processo de execução do teste, foram realizadas atividades de campo, que estão detalhadas nos tópicos abaixo descritos:

- Estudo sobre o fator de contração;
- Estudo sobre a sistemática de teste;
- Estudo sobre a formação de vórtice.

Os resultados dos experimentos de campo aliados às atividades de pesquisa acadêmica serviram de base para composição da proposta deste trabalho.

3.1 – Estudo sobre o fator de contração

Foram realizados testes no campo para verificação do fator de contração utilizado no cálculo do perfil de velocidade, denominado fator “w”, para diversas condições de drenagem da água livre, usando o tanque da Estação de Monte Alegre onde será montado o protótipo deste trabalho.

Inicialmente foi realizado o cálculo da aceleração da gravidade, sendo este cálculo importante devido à necessidade de verificar outras fontes de incerteza do processo de drenagem que é realizado por gravidade, vide Apêndice A.

Na execução destes testes foram necessárias três pessoas, para efetivar o seguinte procedimento:

- Para a primeira pessoa. Subir no tanque para fazer a leitura de nível de fluido;
 - Para a segunda pessoa. Manusear o cronômetro e anunciar o momento dos acionamentos da válvula de dreno;
-

- Para a terceira pessoa. Acionar a válvula do dreno para abrir e fechar, conforme os intervalos de tempo determinados pela segunda pessoa.

Foi elaborada uma planilha para registro das leituras de nível, realizadas durante o experimento, conforme apresentada no Apêndice B.

No primeiro experimento o tanque foi preenchido até o nível de 164 cm de fluido, e foi definido que o intervalo de tempo seria igual a 360 s. Ao atualizar a planilha determinou-se um fator de contração de 0,6692, próximo ao calculado no estudo de J.C. Borda,¹ que definiu um fator de contração em torno de 0,6000, [8].

Foi executada uma nova programação no segundo experimento adotando intervalos de tempo iguais a 30 s, que resultaram em uma tabela de trinta pontos, vide Apêndice B.

Então, concluímos que:

- a) O fator de contração varia conforme a altura de fluido no tanque; isto demonstra que cada acionamento da válvula de controle instalada no dreno resultará na modificação da curva da velocidade de drenagem;
- b) A velocidade do fluido quando o dreno está em abertura plena é muito alta, favorecendo a geração de vórtice, então a proposta inicialmente trabalhará com abertura máxima da válvula igual a 50,0%;
- c) Ao monitorar o nível do tanque remotamente, usando o sistema PI existente, verificamos que o radar não estava sendo calibrado, pois a medição está sendo realizada manualmente com trena de profundidade. Então, foi solicitada a inclusão dos sistemas de medição de nível automático no plano de calibração periódica dos instrumentos da Estação;
- d) Existe grande influência do operador neste processo de medição, pois foi observado que alguns itens do padrão são particularizados, cada operador tem uma forma de concluir o processo de drenagem.

3.2 – Estudo sobre a sistemática de teste

Uma das observações da supervisão e engenharia, é que ao notar a mudança num histórico de teste, uma das questões é: o operador mudou? E quase sempre uma das causas da mudança nos resultados é a troca do operador.

¹ Jean Charles Borda (1733-1799), físico francês, que introduziu o “fator de contração” em 1766, para o escoamento de fluido de um recipiente por gravidade através de um orifício de pequeno diâmetro.

A necessidade de definir os parâmetros levou a diversos testes repetidos. Entretanto, como obter a experiência e como chegar a igualar o procedimento dos melhores operadores? Observamos que o operador tende a modificar o procedimento quanto está sob vigia, tornando-se mais zeloso e cuidadoso. Então, para complementar as observações dos testes através de acompanhamento da execução do procedimento foi aplicado um questionário, conforme apresentado no apêndice C. Cada operador tem seus melhoramentos e simplificações no momento de concluir a drenagem. Alguns foram entrevistados e foi aplicado um questionário a todos.

Sempre antes do acompanhamento de algum teste os operadores eram questionados, para fornecer o mais amplo conhecimento da sistemática usada por cada um, para ajudar na análise dos resultados, vide tabela 4 no Apêndice C, do questionário aplicado.

O procedimento utilizado para a realização do teste de produção é o mesmo, entretanto verificamos que cada um encontrou sua melhor forma de executar a drenagem da água livre. E é justamente aí que encontramos a subjetividade na conclusão do teste, visto que esta execução varia conforme o conhecimento, experiência e sentimento na hora de definir quando concluir o teste.

Quando questionados sobre os números de testes falhos 47,0% dos operadores respondeu que 10,0% dos testes são falhos, esta grandeza coincide com os números de testes cadastrados não conclusivos no sistema de informação, banco de dados, que no ano de 2006 apontou um percentual de 12,5%, em 2007 caiu para 7,5% e em 2008 está projetando um percentual de 10,1% de testes não conclusivos. Este histórico de percentual de testes falhos pode ser maior, pois existem testes falhos que não são cadastrados no banco de dados do Sistema de Informação da Produção (SIP), fonte do histórico anteriormente citado.

Analisando de outra forma as respostas dos operadores sobre os testes falhos, afirmativamente cerca de 70,0% dos operadores responderam que a quantidade de testes falhos é maior que 9,0% corroborando com a afirmação da supervisão.

Com referência a abertura e o momento de fechamento da válvula do dreno, as respostas fornecem os motivos para a subjetividade e aumento da incerteza, pois o uso da abertura plena por 64,7% dos operadores define uma rápida queda no nível de fluido no tanque; aliado aos 82,3% que fecham a válvula assim que o fluido se torna parecido com óleo. Este comportamento que combina maior vazão de dreno com o visual da cor da emulsão, quase óleo, deixa claro e evidente que o indivíduo tem grande influência no resultado final do teste.

Mais de 60,0% dos operadores usam a abertura plena da válvula até observar que o nível da interface está próximo do fundo, para então começar a restringir. Foi verificado no experimento anterior, estudo do fator de contração do tanque, que a velocidade para a abertura plena é muito alta durante a drenagem, podendo acarretar vulnerabilidade ao procedimento, como erro, teste falho, etc. Quanto à preocupação dos operadores com a geração de vórtice e o possível corte da água pelo óleo, mais de 60,0% dos operadores começam a restringir o dreno com um nível de interface esperada acima de 15 cm. Este fato é muito interessante, pois cerca de 40,0% dos operadores deixam para restringir quando a interface praticamente atingiu o nível do dreno.

Com base nas observações dos dados anteriores, concluímos que:

- a) O procedimento de conclusão do teste é dependente de quem o executa, pois muda de operador para operador;
- b) O uso da abertura plena durante a drenagem, aliado ao fechamento da válvula com a interface em baixo nível, pode ser uma das fontes de erro;
- c) Quando o nível do contato óleo água atinge 15 cm de altura durante a drenagem, a maioria dos operadores começa a restringir a válvula de dreno para evitar a geração de vórtice.

3.3 – Estudo sobre a formação de vórtice

Uma das grandes preocupações do executante do teste é evitar o corte da camada de água livre pelo óleo. Então, este trabalho aborda em separado o fenômeno da formação de vórtice durante o processo de drenagem da água, devido à importância do mesmo no final do processo.

Sempre que é executada a finalização do processo de drenagem, o executante do teste tem seu procedimento pessoal para enfrentar a preocupação com a formação de vórtice, que favorece a passagem do óleo (camada superior) através da água (camada inferior), [9]. Para observar que medidas são tomadas contra a formação deste fenômeno durante a drenagem da água livre em tanque, foram acompanhados testes e inspeções internas em tanques, quando foi verificado que os tanques maiores têm dispositivos internos instalados na saída de dreno. Nos grandes tanques da Estação de Tratamento da Unidade de Processamento de Fluido as tomadas de dreno têm dispositivos montados ao longo de tubo auxiliar no fundo do tanque, para minimizar o efeito de vórtice durante a drenagem. Ao

contrário, no interior dos tanques de teste a saída de dreno não tem qualquer dispositivo para minimizar a formação de vórtice durante a drenagem.

Para complementar o estudo sobre o fenômeno de geração de vórtice, foram escolhidos três testes da Estação de Monte Alegre, para observação do procedimento e tratamento do operador para minimizar o fenômeno do vórtice. A depender da altura da interface esperada pelo operador, conforme o conhecimento do histórico do poço testado, este começa a drenagem com abertura plena e a modifica à medida que se aproxima o momento da finalização. Foi verificado que em torno de 15 a 20 cm de altura da interface o operador passa a se preocupar com a questão do vórtice, começando então a restringir a válvula.

Foi acompanhada a finalização de três testes de produção, e logo após a definição de encerramento do teste, foram retiradas amostras da emulsão. Os resultados das amostras para determinação do *BS&W* de emulsão ao final do dreno em três testes na Estação de Monte Alegre apresentaram os seguintes resultados: 21,0%, 30,0% e 58,0% de água, para as densidades da emulsão de 0,955, 0,959 e 0,971, respectivamente. Foi verificada uma relação diretamente proporcional entre o percentual de água na emulsão e a densidade do óleo. Quando o óleo é leve as precauções para evitar o corte da água pelo óleo devem começar mais cedo, acima do nível de 15 cm para o contato óleo água. Enquanto o óleo pesado retém mais água e torna a finalização da drenagem mais demorada.

Uma possibilidade para minimizar a formação de vórtice seria montar uma mesa, conforme mostra a figura 4, sobre o dreno com três ou quatro pontos ao redor da boca de saída.



Figura 4 – Proteção do dreno de fundo

A montagem do dispositivo sobre o dreno no fundo do tanque permitirá uma maior preservação da distinção das fases, através da minimização da geração de vórtice durante a drenagem. É este fenômeno que prende a atenção de quem está executando a drenagem, no ajuste fino da retirada da água do tanque.

Com base nas observações dos dados anteriores, concluímos que:

- a) Quando o óleo do poço testado é leve a restrição da válvula deverá começar mais cedo, acima dos 15 cm de altura de interface;
 - b) Com base na verificação dos testes, para o óleo pesado, que retém mais água, espera-se que na finalização do teste o BS&W de emulsão seja maior do que o óleo leve;
 - c) Para melhorar a condição de conclusão do teste através da diminuição da possibilidade da geração de vórtice, recomenda-se instalar uma proteção na saída do dreno, conforme figura 4.
-

Capítulo 4

Proposta de Automação do Dreno

4. Proposta de Automação do Dreno

No procedimento do teste de produção, após a decantação é executado o processo manual de drenagem da água livre e este processo define a qualidade do teste. Então, para minimizar a influência humana na conclusão do mesmo, foi proposta a utilização de um sensor de interface e um conjunto de equipamentos, a fim de que o processo de drenagem seja automatizado. O sensor detector é formado por três componentes: transmissor, antena e condicionador de sinal. Através da medição do sinal gerado absorvido, o detector de interface mede a concentração de água na emulsão no ponto local independente da densidade, viscosidade e temperatura de operação. A água absorve mais energia que o óleo, assim sua temperatura aumenta mais que a do óleo. Ao invés de medir a temperatura o sensor mede a energia absorvida do meio através da constante dielétrica do fluido e converte para o padrão de saída 4 - 20 mA, [17], estes sinais deverão estar relacionados ao percentual de água miscível no óleo.

Para a apresentação desta proposta segue a seguinte abordagem:

- Dados do dispositivo sensor;
- Cálculo da vazão de drenagem;
- Dados do tanque escolhido;
- Procedimento de teste com dreno automatizado;
- Esquema simplificado do método proposto;
- Controle do método proposto.

Existem diversos dispositivos usados para medir o nível da interface: visor de nível, flutuador, sonda capacitiva, sensor microondas, sensor de radiação gama, medidor diferencial de pressão, sensor tipo radar, sensor ultra-som, [19]. Entretanto, foi escolhido o sensor tipo microondas para a aplicação neste trabalho, como apresentado a seguir.

4.1 Dados do dispositivo sensor

O equipamento descrito neste item foi escolhido pela sua aparente flexibilidade, aliado a facilidade de calibração e conhecimento da ferramenta, devido aos trabalhos em andamento nos tanques da Unidade de Tratamento de Óleo de Guamaré. Entretanto, esta

proposta de controle do dreno poderá futuramente ser montada utilizando-se outra forma de detecção da interface. A proposta deste trabalho não está ligada à forma de medição da interface, mas sim ao sistema de controle do dreno durante o teste de produção.

Foram realizadas pesquisas sobre o uso da tecnologia de controle do dreno de água em tanques grandes para controle operacional, tratamento do óleo e descarte da água. Entretanto, esta idéia ainda não tinha sido aventada, para aplicação em tanques de pequena capacidade, reforçando o pioneirismo deste projeto na Região dos campos do Rio Grande do Norte e Ceará.

Para a especificação do equipamento sensor foi necessário definir alguns parâmetros a serem considerados como: a viscosidade do óleo produzido, característica da água, vazão de drenagem, posicionamento do sensor e o comprimento da antena e da fase ativa. Foi observado que a maior salinidade da água produzida é de 1500 ppm, entretanto com a ampliação da injeção de vapor no campo a salinidade tenderá a diminuir.

A figura 5 mostra o sensor de interface. Alguns aspectos relativos à sua instalação devem ser observados:

- A instalação será na lateral do tanque com ângulo de 45° de inclinação, para controlar a localização da interface quando da drenagem;
- A antena será diminuída, para a instalação em tanques de 20 m³;
- Ajustar o instrumento: no fluido 1 apresentar uma saída mínima de corrente igual a 4mA, e no fluido 2 apresentar uma corrente de saída máxima de 20mA.

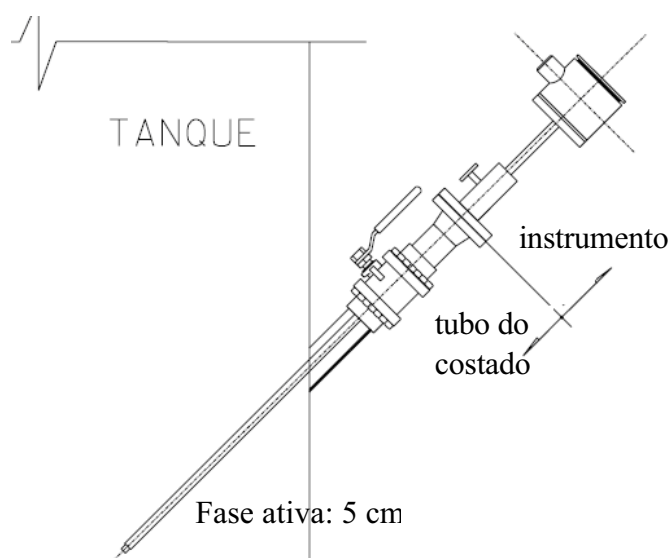


Figura 5 – Posicionamento do sensor de interface

As dimensões do tanque foram obtidas do certificado de arqueação para a definição da posição do sensor de interface no projeto. Também os históricos dos poços da Estação permitiram determinar a previsão da dimensão da camada do fluido superior e inferior, para o ajuste da ferramenta por parte do fabricante. Explicitamos que serão adotadas as constantes dielétricas para os fluidos de trabalho: água aproximadamente igual a 78,5 e óleo aproximadamente igual a 3,0, [18].

4.2 – Dados do tanque escolhido

Após a definição da Estação de Produção para implantação desta proposta, foram realizados testes convencionais a fim de verificar os parâmetros do método de teste atual. Esta escolha foi devido à utilização da Estação de Monte Alegre, para verificação de outras modalidades de teste na Unidade de Negócios. Em particular, para esta proposta, foi escolhido o tanque TQ-3473.0110 de 20 m³ da citada Estação.

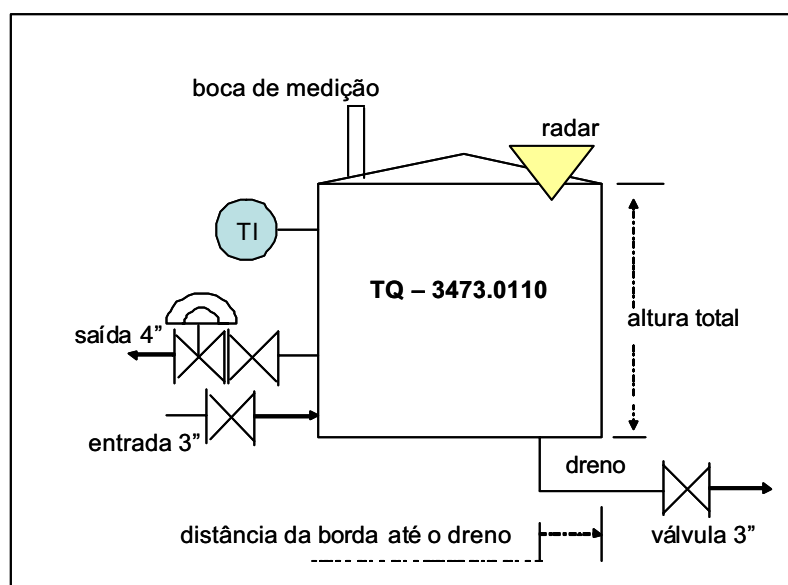


Figura 6 - Esquema simplificado do tanque TQ-3473.0110

Segundo o certificado de arqueamento do tanque o comprimento da circunferência é 7.240 mm, altura total é 5.000 mm, distância da borda até o dreno (parte externa) é 200 mm.

Será necessário instalar atuador na válvula da linha de dreno de 3” no fundo do tanque integrada à instrumentação, [12], do dispositivo sensor, conforme a figura 7.

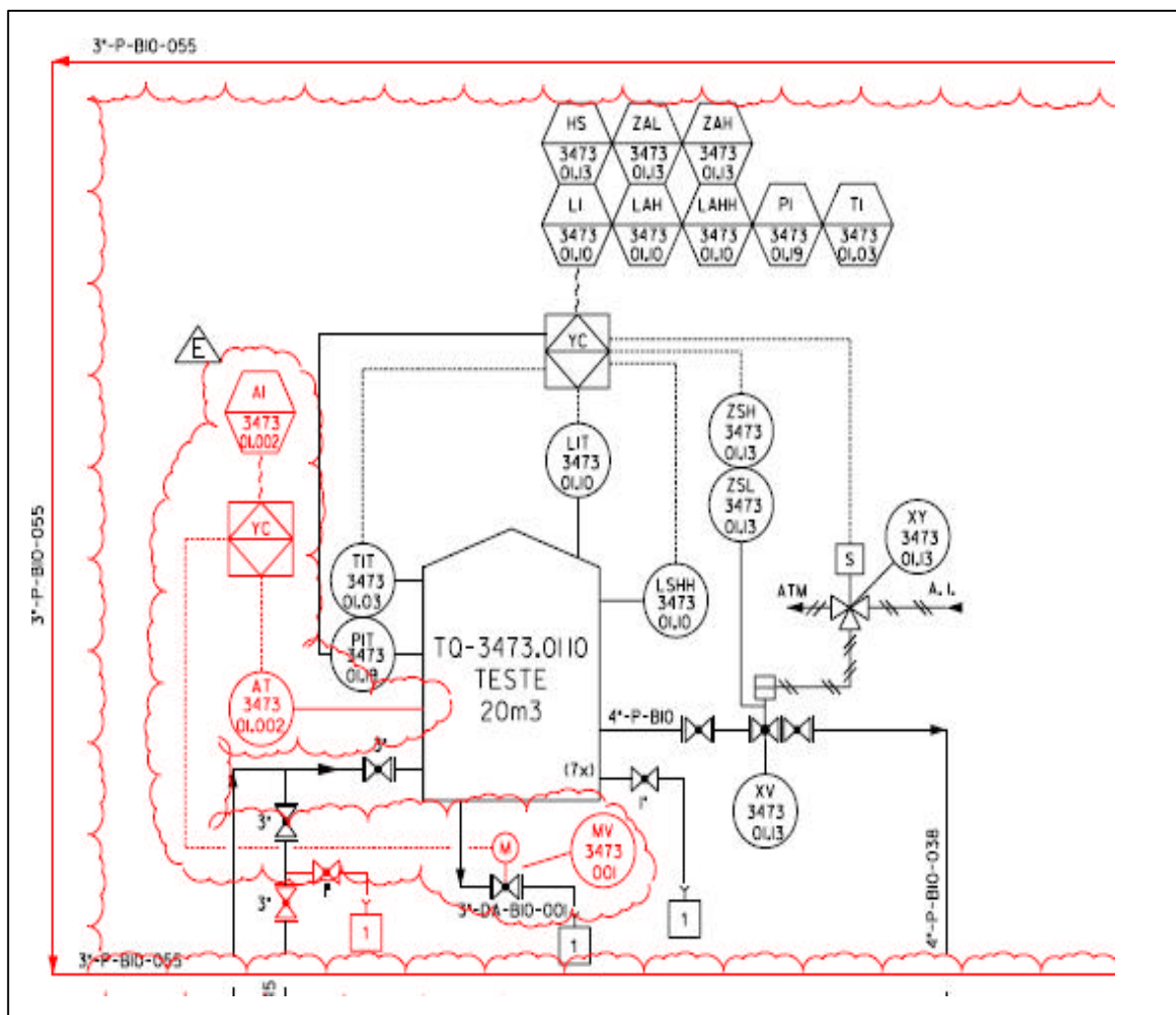


Figura 7 - Fluxograma do tanque TQ-3473.0110

A figura 7 mostra que o tanque tem um sistema de medição de nível automático tipo radar LIT 3473.01.10, transmissor de temperatura TIT 3473.01.03 e controlador programável, que serão usados para compor a proposta de controle do dreno. Em destaque está o sensor de interface AI 3473.01.002, que será montado no costado do tanque, e para isto será muito importante fazer a verificação da interferência com a escotilha de medição e outros dispositivos instalados no costado do tanque antes da instalação do mesmo.

4.3 – Cálculo da vazão de drenagem

A produção dos poços é acompanhada através dos testes em sistema de medição adequado sob norma, que atende a uma variedade de poços com diferentes percentuais de

água. Na literatura normativa é recomendada a retirada da água, para então processar a medição da fase óleo com menor possibilidade de erro, [10]. Então, no caso deste tipo de teste de produção em tanque, a drenagem é o processo fundamental para definição da qualidade da medição do óleo produzido. Assim, segue um estudo do comportamento da velocidade do fluido na tubulação de drenagem, [11].

4.3.1 - Cálculo do perfil de descarga do tanque

Observar no tanque de teste, figura 8, que existe um ponto de drenagem de 3” na parte inferior do tanque.

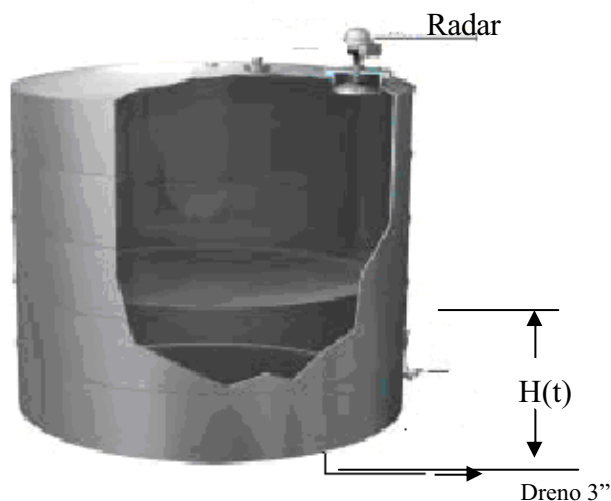


Figura 8 - Corte do tanque vertical

Aplicando-se a equação de Torricelli² temos o seguinte:

$$v^2(t) = v_o^2 + 2gh(t) \quad (6)$$

$v(t)$ = Velocidade no orifício;

v_o = Velocidade inicial;

g = Aceleração da gravidade;

$h(t)$ = Altura do fluido no tanque;

O estudo de J.C. Borda introduziu um fator de contração em torno de 0,600 como adequado para ser aplicado ao cálculo de escoamento em grandes populações por passagens estreitas. Esta consideração aplica-se ao comportamento de fluidos em tanque de área de

² Evangelista Torricelli (1608-1647), físico italiano, seguidor e sucessor de Galileo Galilei (1564-1642) em Florença.

seção transversal constante. Desta forma adicionaremos uma variável “w”, para o caso de escoamento de fluido por um pequeno orifício, que se aproximará das condições particulares da drenagem.

Assim, trabalhando a equação (6), encontramos:

$$v(t) = w\sqrt{2gh(t)} \quad (7)$$

Analisando num pequeno espaço de tempo que o volume drenado no orifício é igual à redução do volume no tanque, onde a área do orifício é representada pela letra A , e ΔV é igual à variação do volume no tanque, temos:

$$\Delta V = Av\Delta t \quad (8)$$

Considerando pequena a variação na área da superfície do fluido definida no certificado de arqueação, então a área da superfície representada pela letra B será tratada como constante. A variação do volume no tanque é dada por:

$$\Delta V = -B\Delta h \quad (9)$$

Então, igualando as equações (8) e (9); encontramos:

$$-B\Delta h = Av\Delta t \quad (10)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = -\frac{Av}{B} \quad (11)$$

Então, utilizando a lei de Torricelli substituindo a equação (7) na (11), temos:

$$\frac{dh}{dt} = -\left(\frac{A}{B}\right)w\sqrt{2gh(t)} \quad (12)$$

Assim, integrando a ODE de primeira ordem:

$$2\sqrt{h} = \left[\left(\frac{A}{B}\right)w\sqrt{2g}t + C^* \right] \quad (13)$$

Onde C^* é uma constante de integração. Então, dividindo por dois e resolvendo a raiz quadrada na equação (13), temos:

$$h(t) = \left[-\left(\frac{A}{B}\right)w\frac{\sqrt{2g}}{2}t + C^* \right]^2 \quad (14)$$

Sabendo que $h = H$ (altura inicial do tanque) quando $t = 0$ s na equação (14); substituído os valores chegamos à definição de C^* :

Assim, $C^* = \sqrt{H}$ (a raiz quadrada da altura inicial de fluido no tanque).

Substituindo o valor de C^* na equação (14), temos:

$$h(t) = \left[-\left(\frac{A}{B}\right)w\frac{\sqrt{2g}}{2}t + \sqrt{H} \right]^2 \quad (15)$$

4.3.2 - Solução particular

O tanque de teste, TQ 3473.0110, considerado no cálculo é vertical cilíndrico de capacidade de 20 m^3 , altura nominal de $500,00 \text{ cm}$, devidamente arqueado. A altura efetiva (H) de fluido no tanque é $480,00 \text{ cm}$, para $t = 0$ s. Fazendo a gravidade $g_\phi = 978,07 \text{ cm/s}^2$, conforme cálculo do Apêndice B.

Conforme o certificado de arqueação o volume aos 480 cm é $19.875,6 \text{ dm}^3$. Calculando a área média do tanque, temos: $B = 41.407,50 \text{ cm}^2$.

Sabendo que o tudo do dreno de 3 in corresponde a um de diâmetro externo de $76,2 \text{ mm}$, [10], e espessura de $2,0 \text{ mm}$, temos: $A = 40,94 \text{ cm}^2$.

Através de teste de campo obtemos o fator de contração w igual a $0,6203$. Então, substituindo estes valores na equação (15), temos:

$$h(t) = [21,90890 - 0,01356t]^2 \quad (16)$$

Para $h = 0$ o tempo será de $1615,7 \text{ s}$, isto é, em torno de 27 minutos.

Utilizando a equação (16) para construir a figura 9 com base no método de Torricelli, aplicando-se às condições e dimensões do tanque de teste de 20 m^3 , temos:

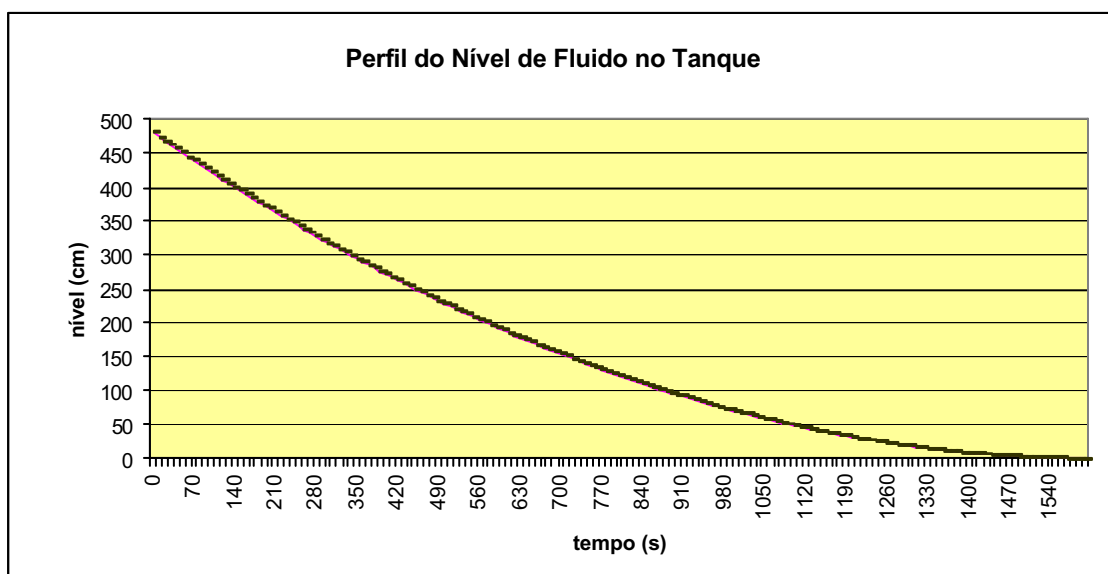


Figura 9 – Curva da queda do nível de fluido durante a drenagem

4.3.3 - Resultado do cálculo

A memória de cálculo mostra que o tanque de 20 m³ é esvaziado em aproximadamente 27 minutos, para w igual a 0,6203, usando o método por estimativa de Torricelli. Então, verificamos que ao realizar a drenagem com abertura plena o tanque com 480 cm de nível inicial atinge os 15 cm em 1330 s, pela tabela de arqueação a variação volumétrica é de 19,2 m³, apresentado uma vazão média de 52 m³/h que favorece a formação de vórtice, que foi comprovada em teste de campo. Mostrando que o procedimento da adoção da abertura plena durante a drenagem da água livre implicará numa maior atenção, para minimizar as diversas possibilidades de erro.

Com este resultado, recomendamos realizar a amostragem da emulsão com dreno fechado e em pontos fixos através das tomadas no costado do tanque ou garrafas de amostragem, podemos desmistificar uma prática operacional, usada com certa frequência. Como o comportamento do nível no tanque durante a drenagem é exponencial, a coleta de amostras para determinação do *BS&W* em intervalos de tempo iguais durante a drenagem do tanque não é representativa. Assim, o procedimento de amostragem da fase óleo no tanque deve ser tomado com base no nível das camadas de fluido como recomendado, e não em intervalos de tempo.

4.4 – Procedimento de teste com dreno automatizado

O dispositivo de medição no teste de produção convencional é o tanque cilíndrico vertical. Neste caso o tanque está equipado com radar para medição de nível e deverá ser usado um sensor instalado na lateral do tanque, para permitir o controle do tipo de fluido quando da drenagem do tanque, através de uma válvula de controle nesta saída de fluido com acionamento remoto. O programa do supervisor tem três níveis de controle: fase de condicionamento, válvula de controle aberta; fase de enchimento e decantação, válvula de controle fechada; fase de drenagem, válvula sujeita ao programa de controle desta proposta. Então, o teste com dreno automatizado seguirá basicamente os passos abaixo:

- Alinhar poço para tanque (o *manifold* é automatizado para alinhamento remoto). O programa do supervisor, [13], coleta os dados de densidade e BS&W do teste anterior deste poço, para definição dos parâmetros para a execução do teste atual;
 - Manter o poço alinhado por pelo menos uma hora para condicionamento, mantendo a válvula de dreno aberta durante este período;
 - Fechar válvula de entrada do tanque, após condicionamento, e verificar nível do tanque, dando como encerrado o condicionamento, preferencialmente quando a leitura do nível for igual a zero; fechar dreno remotamente;
 - Registrar volume remanescente e tempo inicial do fluxo;
 - Iniciar fluxo de pelo menos quatro horas, conforme exigência da legislação;
 - Após o fluxo, fechar a válvula de entrada do tanque, e deixar decantando;
 - Registrar tempo final do fluxo;
 - Após a decantação é realizado o cálculo do encolhimento, fazer a leitura do nível do tanque;
 - Acionar a válvula de drenagem, para iniciar retirada da água livre;
 - No instante que a interface atingir o sensor, automaticamente o sistema aciona a válvula do dreno, que gradativamente será fechada, e emite um aviso;
 - Fazer verificação da drenagem usando válvula menor. Fazer a leitura do nível de líquido final no tanque;
 - Após o informe de que o tanque está pronto para amostrar, a operação realizará a verificação e ajuste do fluido drenado, então retirará a amostragem do fluido remanescente no tanque, anotando a temperatura do fluido.
 - O sistema usará a massa específica do último teste deste poço para as devidas correções até o laboratório disponibilizar a análise do óleo deste poço no sistema.
-

Registrar os valores dos volumes de óleo e água, temperatura, massa específica e *BS&W* de emulsão, *BS&We*;

- Registrar os valores no relatório de teste, conforme procedimento específico.

Todos os equipamentos deverão ter proteção de invólucro adequada de acordo com a classificação da área do local.

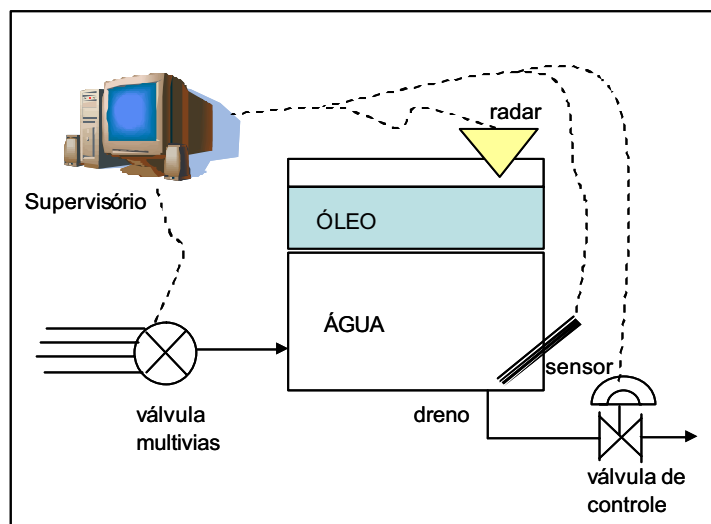


Figura 10 – Sistema de teste em tanque com drenagem automatizada

Observamos que a válvula multivias deverá estar aberta, quando do alinhamento do poço. Entretanto esta poderá fechar automaticamente se o nível de fluido apontado pelo radar atingir um nível crítico, para evitar derramamentos. Caso não tenha atingido 4 horas exigidas pelo padrão, o teste será abortado e deverá ser realizado teste com dois tanques, trabalhando como vasos comunicantes, conforme procedimento específico para esta situação.

A válvula de controle também será acionada remotamente para abrir ou fechar por ação do operador, e será fechada quando iniciar o teste até o processo de drenagem, quando o sistema de controle do dreno assumirá a abertura e fechamento da válvula do dreno.

É recomendável que o *manifold* seja atualizado para um sistema de válvulas multivias, a fim de facilitar o alinhamento do poço a ser testado para determinado tanque através da Sala de Controle.

Por experiência, a melhor posição do dreno é o fundo do tanque, a fim de que seja obtido o nível zero e que a influência do poço testado anteriormente seja desprezível após o

condicionamento do tanque. No entanto, a montagem de uma plataforma no fundo do tanque, acima da boca do dreno, para evitar formação de vórtices quando da drenagem é de suma importância.

4.5 – Esquema simplificado do método proposto

A abertura do dreno determina a velocidade de queda no nível de fluido do tanque. Junto aos operadores verificamos a necessidade de trabalhar com o BS&W esperado do poço a ser testado, isto é, trabalhar com o nível de interface esperada, conforme figura 11.

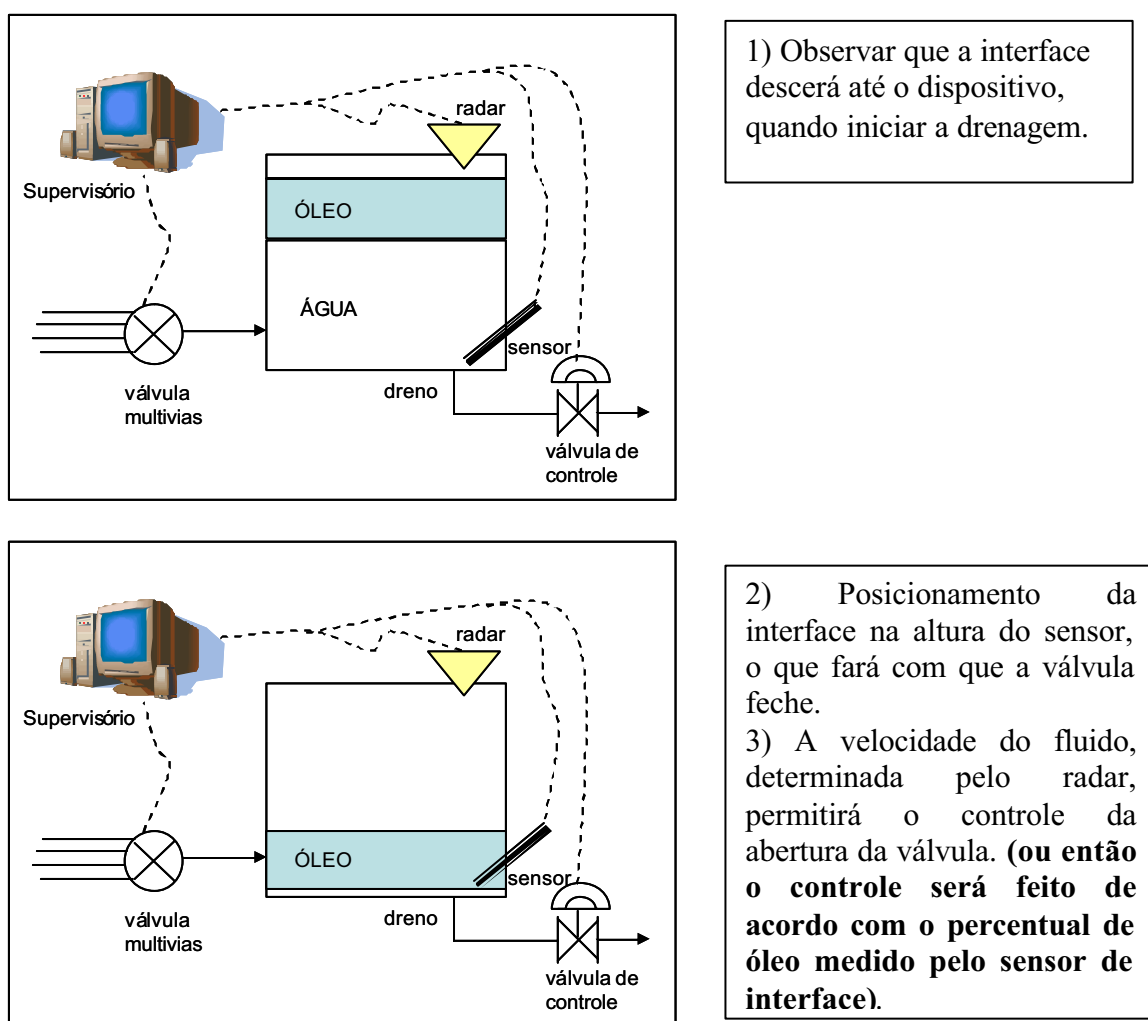


Figura 11 – Procedimento de teste em tanque com drenagem automatizada

Esclarecemos que todo processo pode ser realizado remotamente através do supervisor, instalado na sala de controle, exceto a coleta da amostra final.

4.6 – Controle do método proposto

O sistema de controle proposto neste trabalho é de primeira ordem sem perturbação. O controle do nível da interface do tanque tem por objetivo controlar a vazão de drenagem até a retirada da água livre por completo.

Para a apresentação do processo de controle desta proposta, segue:

- Sistema de Automação;
- Programa de Controle.

4.6.1 - Sistema de automação

A seleção do poço é feita remotamente através de acionamento automático da válvula *multivias* montada no *manifold* da Estação. No momento do alinhamento é iniciado o período de uma hora para condicionamento do poço, no qual o dreno deverá estar aberto.

A medição de nível do tanque é realizada através de transmissor tipo radar.

A medição da temperatura é feita por um transmissor e servirá para correção do produto líquido @ 20° Celsius.

Será instalada uma válvula controladora de três polegadas na saída do dreno de fundo, e também um sensor de interface no costado do tanque próximo ao dreno. Ambos serão monitorados remotamente.

O tanque tem um sistema de chave eletrônica de nível, instalado por questões de segurança, a fim de evitar derramamentos.

Todos os instrumentos são interligados a um programa de supervisão, que calcula e controla as variáveis do processo de teste, figura 11.

Após o enchimento do tanque de teste, o volume existente no tanque é submetido a um processo de decantação, para favorecer a separação das fases. Posteriormente, é iniciada a drenagem da água livre através de acionamento automático. As medições de nível antes e depois da drenagem são registradas e monitoradas remotamente. O operador, após a drenagem, iniciará o processo de amostragem do produto remanescente, para então finalizar o teste, e enviar as amostras para o laboratório.

4.6.2 - Programa de controle

Será aproveitado o programa de supervisão e controle existente que executa as tarefas de entrada de dados, controle das válvulas e cálculo dos volumes produzidos de óleo e água, vide figura 12.

O programa atual já utiliza os dados de densidade anterior para a correção dos volumes, [14]. Então, será necessário adicionar ao programa atual a entrada do BS&W esperado com base no teste anterior deste poço, para cálculo do nível de interface esperado, a fim de subsidiar o sistema de controle da drenagem, vide figura 13.

O BS&W esperado será atualizado automaticamente no instante que o poço for alinhado, então, o programa calculará a altura da interface esperada, conforme equação (17).

$$H_{esperado} = H_{radar} \left(\frac{BSW}{100} \right) \quad (17)$$

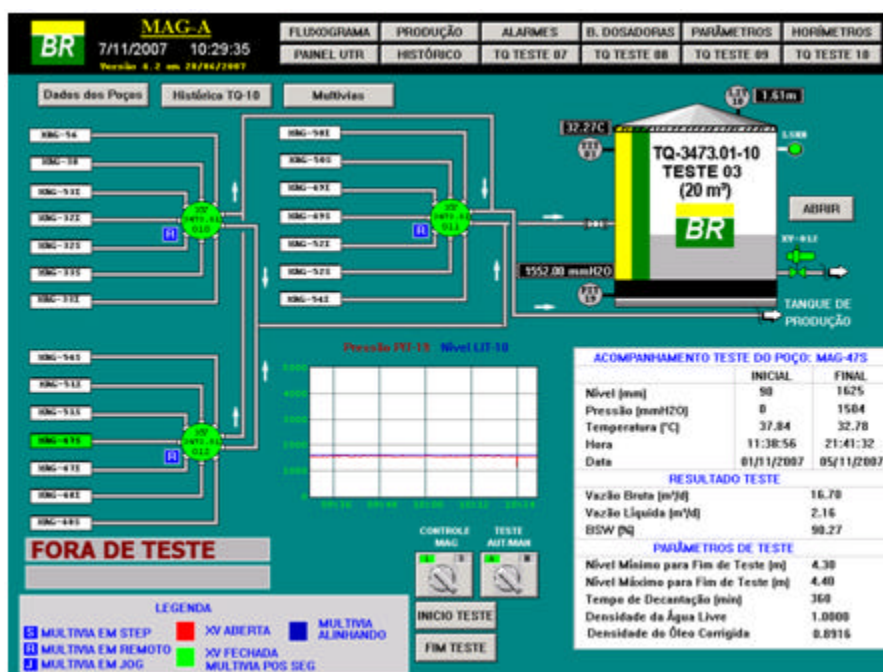


Figura 12 – Tela do supervisório existente que será adequada

A lógica em blocos de abertura da válvula do dreno do tanque após a decantação está mostrada a seguir. No fluxograma, figura 13, os níveis de abertura seguem os desdobramentos dos experimentos quanto aos acionamentos da válvula em níveis múltiplos de 15 cm de altura da interface, representados pelas variáveis auxiliares D, E, F. A fase final do fechamento da válvula neste programa apresenta dois pontos de abertura, cinco e um por cento de abertura, conforme a altura da interface, 10 e 7 cm respectivamente. Entretanto, estes poderão ser desdobrados em mais percentuais de abertura da válvula de controle.

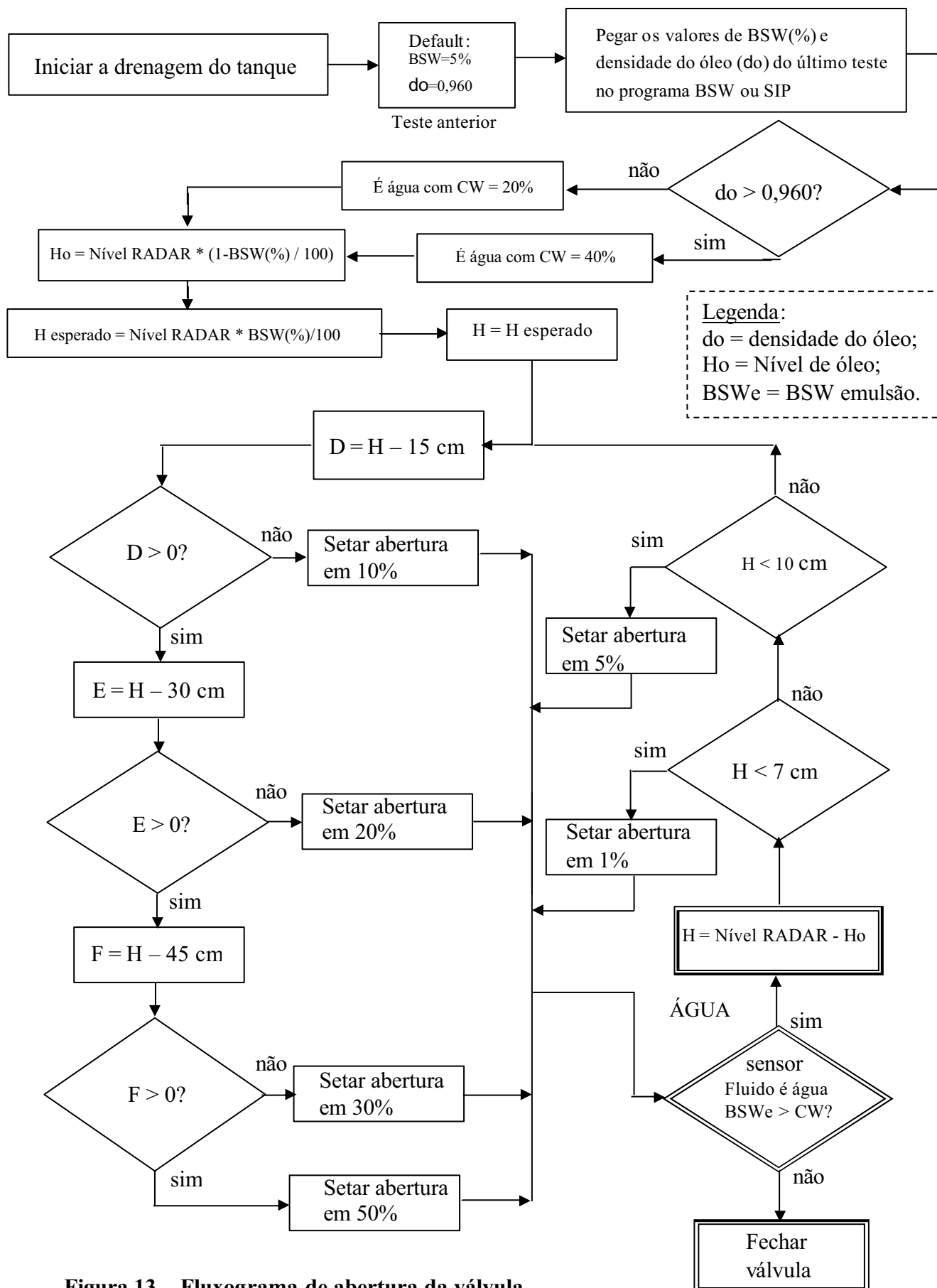


Figura 13 – Fluxograma de abertura da válvula

No programa anterior temos três itens importantes para o controle: o radar, o sensor de interface e a válvula de controle no dreno. A correlação entre a densidade e o BS&W da emulsão (BS&We) é um parâmetro que observamos após o acompanhamento de alguns testes de produção e este deve ser o item mais difícil de ajustar, tendo em vista as incertezas que o processo de teste está sujeito.

O parâmetro chamado *cut water* (CW) definido no programa como 20 ou 40%, conforme a densidade do fluido, representa a capacidade do óleo emulsionado reter mais ou menos água. Este parâmetro poderá ser substituído por uma equação, que poderá ser objeto de estudo futuro. Quando o protótipo do projeto de automação do dreno estiver implantado na Estação de Monte Alegre, o estudo para o tipo de petróleo desta estação poderá ser implementado. Outra opção seria realizar testes acompanhados com outros tipos de óleo em outros campos para verificar o comportamento da relação entre a densidade e o BS&W da emulsão. Por enquanto o programa está considerando a característica CW entre dois pontos no fluxograma, para determinar o momento de fechar a válvula.

Tabela 1 – Comparativo da densidade x BS&We

Parâmetros	teste 1	teste 2	teste 3
Densidade	0,955	0,959	0,971
BS&We(%)	21	30	58

A abertura e o fechamento da válvula poderão seguir uma equação tipo rampa, $y = kt$, a fim de evitar fechamentos bruscos. Onde, y é o percentual de abertura e t o tempo em segundos.

Durante o processo de condicionamento, após o alinhamento do poço, o programa supervisorio permitirá a abertura e o fechamento da válvula de controle, conforme acionamento da operação, para permitir o descarte do fluido do fluxo de condicionamento. Findo este processo é iniciada a decantação, que pode variar de 8 a 20 horas. Na elaboração do programa discutiremos as vantagens de poder programar antecipadamente o tempo do início da drenagem, e este poderá ser realizado através de um “timer”. Entretanto, para isto será necessário estudar os limites do sistema de drenagem da Estação.

Capítulo 5

Conclusão

5. Conclusão

Concluimos que o método atual depende diretamente da influência de quem o executa. Analisando os dados de testes foi constatado que a mudança de operador está quase sempre relacionada com a mudança do histórico de teste.

Com a instalação do sistema de controle de dreno haverá uma melhoria na confiabilidade dos testes, devido a uma menor incerteza tendo em vista que a influência do homem na geração dos dados será minimizada. Conseqüentemente, o operador terá mais tempo de outras atividades operacionais. Outro ponto importante é que o boletim de teste de produção será elaborado diretamente no computador de vazão ou no supervisório, reduzindo a digitação dos dados, através da utilização de algoritmo para cálculo dos volumes produzidos, que comporão o relatório de teste de produção.

O procedimento de drenagem depende do tipo de óleo, visto que o óleo mais denso retém mais água, maior BS&W de emulsão, em comparação ao óleo mais leve.

Um dos grandes problemas do teste convencional é que durante a drenagem o operador fica submetido a esta tarefa e qualquer descuido ou desatenção poderá ocasionar a perda do teste de produção, pois pode aparecer óleo no dreno, e, se a válvula não for fechada a tempo, o teste apresentará resultado insatisfatório com perda de tempo e geração de mais trabalho.

Foi constatado que o grande percentual de testes falhos será reduzido com o controle automático da drenagem, visto que as falhas estão relacionadas com a ação humana na execução da finalização do processo de retirada da água livre do tanque. Resultando na redução da incerteza do processo, pois os parâmetros da identificação do que é óleo e água serão fixos.

Quanto à geração de vórtice durante o processo de drenagem, concluimos que é uma das grandes preocupações de quem vai executar este procedimento. Desta forma incluímos no programa de controle o limite de 15 cm de altura da interface ao fundo do tanque, para começar o fechamento da válvula do dreno. Este trabalho foi elaborado tendo como premissa o dreno do tanque instalado no fundo do tanque, quando o tanque tiver dreno no costado deverá ser adicionada aos cálculos a caracterização do volume morto do tanque (fluido entre a entrada do dreno e o fundo do tanque).

Na montagem do sistema piloto desta proposta deverá ser instalada uma válvula de controle no dreno do tanque, um dispositivo sensor na lateral do tanque e implementado um algoritmo no sistema supervisorio na sala de automação do campo. Para este fim já existe projeto aprovado na Unidade de Negócio da PETROBRAS no Rio Grande do Norte e Ceará, previsto para 2009, a fim de definir os parâmetros desta aplicação da técnica, para futura adoção nos diversos campos terrestres.

Referência

- [1] THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2 a. edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2001, p. 183.
- [2] SENAI, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; **O Futuro da Indústria, a Importância da Metrologia para o Desenvolvimento Industrial**. Brasília, 2005, capítulo 2, p. 29 – 43.
- [3] REGULAMENTO TÉCNICO DE MEDIÇÃO, RTM, editado pela Agência Nacional de Petróleo e Gás natural, ANP, através da Portaria Conjunta número 1 ANP/INMETRO de 19 de junho de 2000. Rio de Janeiro.
- [4] PORTARIA INPM Nº. 33/67 - Norma para Medição da Altura de Produtos de Petróleo Armazenados em Tanques. De 28 de abril de 1967.
- [5] PORTARIA INPM Nº. 15 – Norma para Determinação de Temperatura do Petróleo e seus Derivados Líquidos. De 02 de maio de 1967, (p.3).
- [6] SILVA FILHO, José Alberto Pinheiro; **Apostila "Medição de Petróleo e Gás Natural e Regulamento da ANP-INMETRO"**. Universidade Petrobras, Rio de Janeiro, Dez 2007.
- [7] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE – Manual of Petroleum Measurement Standard; **API – MPMS Chapter 12.1** – Calculation of Static Petroleum Quantities, Part 1, Upright Cylindrical Tanks and Marine Vessels. 2nd Edition, November, 2001.
- [8] KREYSZIG, Erwin. **Advanced Engineering Mathematics**. 9th Edition, Columbus, Ohio, 2006, WILEY, INC, p .16.
- [9] VENNARD, J.K. **Elementary Fluid Mechanics**. 4ª.Edição, Tokyo, Japan, 1961; John Wiley & Sons, Inc., p. 27 – 94.
- [10] LIRA, Francisco Adval de. **Metrologia na Indústria**. 2ª. Edição, São Paulo, Editora Érica LTDA, 2001, p. 108; 147 – 149.
- [11] DELMÉE, Gerald J. **Manual de Medição de Vazão**. 2ª.Edição, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1983, 4ª.Impressão, em 1999, p. 27 – 34.
- [12] SIMON, Luiz. **Instrumentação Básica**. AMBEV, Apostila, Escola SENAI, Jacareí, São Paulo, 2003.
-

- [13] BEGA, Egídio Alberto. DELMÉE, Gerald Jean. COHN, Pedro Estéfano. BULGARELLI, Roberval. KOCH, Ricardo e FINKEL, Vitor Schmidt. **Instrumentação Industrial**. 2 a. edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2006, p. 534.
- [14] LIMA, Carlos Eduardo Guimarães. **Automação de Testes de Produção e Determinação de BS&W de poços produtores de petróleo**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- [15] ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL. Volume 10, Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações Ltda. São Paulo - SP, Brasil. 1977. Gravitação, p. 5428.
- [16] CONSELHO NACIONAL DE PETRÓLEO - CNP-06-70; Correção de Densidade e Volume, Tabelas API 2540 e ASTM D-1250. Edição do Conselho Nacional de Petróleo, Rio de Janeiro, 1970.
- [17] McCARTHY, Terry B. e MONSANTO, Jim Bridgett. Article **What's the Best Way to Control an Interface Level when an Emulsion Tends to Form Between Phases?** Agar Corporation, Houston, Texas, 1992.
- [18] KLEIN, Stanlei I.; **Apostila de Química Geral Experimental Dois**. Universidade Estadual Paulista-UNESP; CEPEU (comissão de pesquisa doscente) / Proex, Site: <[http://www // inorgan221.iq.unesp.br/quimgeral/respostas/eletrolitos.html](http://www.inorgan221.iq.unesp.br/quimgeral/respostas/eletrolitos.html)>. Acesso em 28/04/2008.
- [19] SILVA, Cláudio Barreiros da Costa e. **Estudo Teórico dos Princípios de Medição do Nível de Interface para Controle do Descarte de Água**. Relatório do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leonardo A. Miguez de Melo, Tecnologia de Processo Primário e Avaliação de Petróleo, RT TPAP 048/07. Rio de Janeiro, dezembro de 2007.
- [20] AMARAL, Maria Cristina L.M. do. **Medição de Interface no Tanque de lavagem a Frio – Projeto de Ampliação da Injeção de Água no Campo de Ubarana**. Relatório do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leonardo A. Miguez de Melo, Tecnologia de Instalação de Produção, RT IP 001/07. Rio de Janeiro, fevereiro de 2007.
-

Apêndice A

Cálculo da Aceleração da Gravidade Local

Apêndice A - Cálculo da Aceleração da Gravidade Local

a) Apresentação:

O cálculo da aceleração da gravidade aqui apresentado se faz necessário na minimização do erro no valor desta grandeza, detalhada nos experimentos do capítulo 3, e também no cálculo do perfil de velocidade do fluido drenado, capítulo 4, nos quais é usado o valor da aceleração da gravidade do local onde o tanque de teste está instalado. Assim este item fornece a aceleração da gravidade para que o cálculo do perfil seja o mais representativo possível, [15].

b) Cálculo da aceleração da gravidade

O cálculo da aceleração da gravidade teve como base os dados do local escolhido a Estação Coletora de Monte Alegre – A, vide figura 14, para a instalação do projeto: situada entre os municípios de Pendências e Alto do Rodrigues³ a 5° 17' 18" de latitude sul e 36° 45' 44" de longitude oeste. A altitude é de 13 m acima do nível do mar e a distância rodoviária de 204 km da cidade de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte.

Como o local está acima do nível do mar, para estimar g_ϕ :

$$g_\phi = 9,780318(1 + 0,0053024 \sin^2 \phi - 0,0000058 \sin^2 2\phi) - 3,086 \times 10^{-6} h \quad (19)$$

Onde: h = altura em metros, comparada ao nível do mar.

Fazendo, $\phi = (\pi * 5,33333/180)$, temos que a aceleração da gravidade calculada:

$g_\phi = 978,07$ Gal. Onde, o Gal, Galileu, é igual a (cm/s^2) .

³ O nome Alto do Rodrigues é uma homenagem à família do fundador da cidade, Joaquim Rodrigues Ferreira. Joaquim Rodrigues e seus descendentes se instalaram no Alto, quando este era apenas uma localidade do município de Pendências e deram início ao povoamento da região.



Figura 14 – Estação Coletora do campo de Monte Alegre – A

O campo de Monte Alegre foi descoberto em novembro de 1981, localizado na porção nordeste da Bacia Potiguar a 200 km da cidade de Natal. Tem em torno de 40 poços produtores com uma produção de 550 bpd de óleo, para um BS&W médio de 90,0% e uma RGO média de $10 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Apêndice B

Cálculo do Fator de Contração

Apêndice B - Cálculo do Fator de Contração

a) Apresentação:

Os dados obtidos em observação no tanque escolhido foram trabalhados nas tabelas abaixo, para estudo do fator de contração da drenagem do tanque.

b) Tabela de cálculo:

A tabela 2 teve como referência a equação de Torricelli, para definição do cálculo do fator “w”, coluna c10, que é o resultado da aplicação das equações de (20) a (24).

Tabela 2 – Planilha de dados do primeiro experimento

	Tempo (s)	Nível(cm)	Queda	Área Tanq	Área orif	Veloc_ I	g (cm/s ²)	_2*g*h	Veloc_ II	Fator w
Início	0,0	164,0	cm	cm ²	cm ²	cm/s	Gal	cm ² /s ²	cm/s	
1	360,0	53,0	111,0	41707,50	40,94	0,31	978,07	217131,54	465,97	0,6692
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10

Na tabela acima cada coluna de variável foi enumerada, para apresentação da base de cálculo da planilha, as colunas c1, c2, c4, c5 e c7 são entrada de dados definidas da seguinte forma:

- Coluna c1: tempo entre abertura e fechamento pleno do dreno;
- Coluna c2: leitura de nível de fluido no tanque em cm;
- Coluna c4: área transversal do tanque em cm²;
- Coluna c5: área transversal do orifício em cm²;
- Coluna c7: valor da aceleração da gravidade local em cm/s².

Observamos que as demais colunas são definidas conforme as fórmulas abaixo:

$$\text{Queda do fluido: } c3 = c2_{anterior} - c2_{atual} \quad (20)$$

$$\text{Velocidade média de queda: } c6 = \frac{c3}{c1} \quad (21)$$

$$\text{Teoria de Torricelli, quadrado da velocidade: } c8 = 2(c7)(c3) \quad (22)$$

$$\text{Velocidade cinemática: } c9 = \sqrt{c8} \quad (23)$$

$$\text{Fator de contração: } c10 = \frac{[(c6)(c4)]}{[(c5)(c9)]} \quad (24)$$

O experimento anterior tinha apenas um intervalo observado. Então, realizamos novo teste e definimos intervalos menores para observar o comportamento do referido fator, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Planilha dos dados do segundo experimento

Ordem	Tempo (s)	Nivel(cm)	Queda	Área Tanq	Área orif	Veloc_I	g (cm/s ²)	_2*g*h	Veloc_II	Fator w
Início	0	429,0	cm	cm ²	cm ²	cm/s	Gal	cm ² /s ²	cm/s	
1	30	413,0	16,0	41407,50	40,94	0,53	978,07	807885,82	898,82	0,6001
2	30	396,0	17,0	41407,50	40,94	0,57	978,07	774631,44	880,13	0,6512
3	30	380,0	16,0	41407,50	40,94	0,53	978,07	743333,20	862,17	0,6257
4	30	364,0	16,0	41407,50	40,94	0,53	978,07	712034,96	843,82	0,6393
5	30	348,5	15,5	41407,50	40,94	0,52	978,07	681714,79	825,66	0,6329
6	30	333,0	15,5	41407,50	40,94	0,52	978,07	651394,62	807,09	0,6475
7	30	318,0	15,0	41407,50	40,94	0,50	978,07	622052,52	788,70	0,6412
8	30	303,0	15,0	41407,50	40,94	0,50	978,07	592710,42	769,88	0,6569
9	30	289,0	14,0	41407,50	40,94	0,47	978,07	565324,46	751,88	0,6278
10	30	274,0	15,0	41407,50	40,94	0,50	978,07	535982,36	732,11	0,6908
11	30	259,0	15,0	41407,50	40,94	0,50	978,07	506640,26	711,79	0,7105
12	30	245,0	14,0	41407,50	40,94	0,47	978,07	479254,30	692,28	0,6818
13	30	231,0	14,0	41407,50	40,94	0,47	978,07	451868,34	672,21	0,7022
14	30	217,0	14,0	41407,50	40,94	0,47	978,07	424482,38	651,52	0,7244
15	30	204,0	13,0	41407,50	40,94	0,43	978,07	399052,56	631,71	0,6938
16	30	191,0	13,0	41407,50	40,94	0,43	978,07	373622,74	611,25	0,7170
17	30	178,5	12,5	41407,50	40,94	0,42	978,07	349170,99	590,91	0,7132
18	30	166,5	12,0	41407,50	40,94	0,40	978,07	325697,31	570,70	0,7089
19	30	154,0	12,5	41407,50	40,94	0,42	978,07	301245,56	548,86	0,7678
20	30	142,0	12,0	41407,50	40,94	0,40	978,07	277771,88	527,04	0,7676
21	30	132,0	10,0	41407,50	40,94	0,33	978,07	258210,48	508,14	0,6635
22	30	121,0	11,0	41407,50	40,94	0,37	978,07	236692,94	486,51	0,7623
23	30	110,0	11,0	41407,50	40,94	0,37	978,07	215175,40	463,87	0,7995
24	30	99,5	10,5	41407,50	40,94	0,35	978,07	194635,93	441,18	0,8024
25	30	89,0	10,5	41407,50	40,94	0,35	978,07	174096,46	417,25	0,8484
26	30	79,5	9,5	41407,50	40,94	0,32	978,07	155513,13	394,35	0,8122
27	30	70,0	9,5	41407,50	40,94	0,32	978,07	136929,80	370,04	0,8655
28	30	61,5	8,5	41407,50	40,94	0,28	978,07	120302,61	346,85	0,8262
29	30	53,0	8,5	41407,50	40,94	0,28	978,07	103675,42	321,99	0,8900
30	30	44,5	8,5	41407,50	40,94	0,28	978,07	87048,23	295,04	0,9713
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10

Apêndice C

Questionário Aplicado aos Operadores

Apêndice C - Questionário Aplicado aos Operadores

a) Apresentação:

As questões abaixo foram elaboradas visando coletar o conhecimento e a experiência dos operadores na fase final da drenagem da água livre. Então, foi elaborado o questionário abaixo.

b) Questionário aplicado e análise:

Favor marcar a letra ou comentar, conforme vossa convicção e conhecimento.

1) Qual a função que exerce?

(a) Supervisão

(b) Operador

(c) Outra função. Citar: _____

2) Qual a(s) Estação(ões) que trabalha em teste de produção?

R - _____

3) Pela sua percepção. Quantos testes são falhos num mês?

(a) 10%

(b) 15%

(c) 20%

(d) Outro percentual, citar: _____%

4) Pela sua experiência. Quando está drenando, qual a altura de água que começa a ter geração de vórtice em centímetros no tanque?

(a) cinco cm

(b) dez cm

(c) quinze cm

(d) Outro, citar: _____%

5) Qual a melhor abertura para realização da drenagem do tanque em dreno de 3”?

Se o dreno for de outro diâmetro, citar: _____ polegadas.

(a) plena abertura, 100%.

(b) meia abertura, 50%.

(c) outro percentual, citar: _____%.

6) Qual o melhor momento para fechar o dreno?

(a) Quando o fluido parece óleo, isto é, muda a cor do fluido.

(b) Quando verifico com um objeto que a viscosidade mudou.

(c) Quando verifico manualmente que a viscosidade mudou.

(d) Outro, citar: _____

O questionário citado anteriormente neste apêndice foi distribuído entre os operadores, e foi respondido por um total de 17 operadores.

As respostas resultaram no quadro abaixo:

Tabela 4 – Quadro de resultado do questionário

Questão	Percentual	Descrição
Q1	100,00%	Todos eram operadores
Q2	29,41%	Trabalham em Fazenda Pocinho
	23,53%	Trabalham no Alto do Rodrigues
	47,06%	Trabalham no Estreito
Q3	Quanto aos testes falhos	
	47,06%	Apontaram que são 10%
	17,65%	Apontaram que são 15%
	5,88%	Apontaram que são 20%
	23,53%	Outros %, sendo dois 5%, um 3% e um 30%.
	5,88%	Não optaram
Q4	Quanto à geração de vórtice	
	5,88%	Apontaram que o 5 cm
	11,76%	Apontaram que o 10 cm
	23,53%	Apontaram que o 15 cm
	41,18%	Outros %, sendo quatro 20%, um 30%, um 25% e um 45%.
17,65%	Não optaram	
Q5	Quanto à abertura para drenar	
	64,71%	Abertura plena
	17,65%	Apontaram que o 50%
	11,76%	Outros %, sendo um 10%.
11,76%	Não optaram	
Q6	Melhor momento para fechar a válvula, quando aparece o óleo	
	82,35%	Quando o fluido parece óleo
	5,88%	Verificam com um objeto
11,76%	Outros restringem o máximo possível.	

Basta ler esta última resposta, onde a afirmativa “quando o fluido parece óleo” define a verdadeira subjetividade do padrão ora adotado. É neste ponto que a aplicação deste trabalho pretende mudar o procedimento de teste de produção vigente.