

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
HELDER ANTÔNIO BARBOSA DA SILVA

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**A UTILIZAÇÃO DE DUTOS NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E OS MEIOS
EFICAZES DE ESCOAMENTO**

Varginha
2014

FEPESMIG

HELDER ANTÔNIO BARBOSA DA SILVA

**A UTILIZAÇÃO DE DUTOS NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E OS MEIOS
EFICAZES DE ESCOAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas-Unis/MG como pré-requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica sob a orientação do Prof. Me Alexandre de Oliveira Lopes e o co-orientador Prof. Marcelo Pereira.

**Varginha
2014**

Grupo Educacional UNIS

HELDER ANTÔNIO BARBOSA DA SILVA

**A UTILIZAÇÃO DE DUTOS NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E OS MEIOS
EFICAZES DE ESCOAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas-Unis/MG como pré-requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica sob avaliação da banca.

Aprovado em / /

Prof. Eng. Civil Gilson Gomes da Silva

Prof. Thairone Conti Serafini Aguiar

Prof. Me José Roberto Vicente

OBS:

Dedico este trabalho primeiro a Deus, depois a minha família em especial a minha mãe e aos amigos. Pelo carinho, confiança e paciência para vencer mais esta etapa na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram a construir este trabalho. Deus é o autor de tudo isto, minha família e amigos, obrigados pela confiança e o carinho de todos.

“Conquistas sem riscos são sonhos sem méritos. Ninguém é digno dos sonhos se não usar suas derrotas para cultivá-los”.

Augusto Cury

RESUMO

O petróleo hoje é considerado o principal combustível na geração de energia no planeta. A sua exploração vem cada vez mais em ritmo acelerado. Os historiadores, nos leva a crer que o petróleo já era conhecido do homem há 4 mil anos a.C. É uma substância oleosa menos densa que a água. Sabemos que o primeiro poço aberto, foi nos Estados Unidos, na cidade de Tittusville, com uma profundidade de 21 metros. O sistema de exploração e escoamento do petróleo há muitos séculos atrás na civilização chinesa, o petróleo era retirado e canalizado por tubos de bambu, com uma profundidade de até 4 mil metros, fato surpreendente durante a dinastia de Shu Han, século II a.C. Hoje o setor petrolífero está bem avançado, com algumas tecnologias e desenvolvimento de equipamentos. A utilização de dutos na exploração de petróleo e os meios eficazes de escoamento têm sido cada vez mais explorados por grandes empresas petrolíferas. O primeiro oleoduto foi construído nos Estados Unidos. Pois o transporte nos primeiros tempos da indústria petrolífera era feito por barris de madeira sobre carroças, barcaças e trens. Hoje o nome barril é empregado como medida oficial de venda do petróleo. Depois da descoberta do Pré-sal, o Brasil passou a ser um país mais visto, mas ainda com pouca tecnologia. Como será feita esta utilização dos dutos, para um processo viável de escoamento na exploração do petróleo? Estudos e fabricação de novas ligas ferrosas e não-ferrosas proporcionam em desenvolver novos produtos, que possam ser utilizado dentro da indústria petrolífera, como a fibra de vidro de carbono, epóxi e entre outros, que visam maior leveza e resistência a corrosão. Sabemos que a corrosão e a temperatura é um dos fatores que mais afeta os dutos de petróleo. Os materiais que melhor se identifica em trabalhar neste processo de melhoria serão buscados através de pesquisas e conceitos, onde identificar a melhor maneira de utilizar os dutos com novas tecnologias, buscando sempre a melhoria na exploração e escoamento. Um campo petrolífero antes de colocar em produção passa por vários estágios: primeiro faz um estudo da área, reconhecendo o local, utilizando tecnologias avançadas para encontrar petróleo no mar, e o método mais utilizado é o método sísmico. A comprovação do petróleo em um poço, só é comprovada depois que o poço é perfurado. Tendo comprovação de petróleo no poço, faz um estudo de capacidade econômica no poço. Tudo isto envolvem Geólogos, Geofísicos, Engenheiros, Economistas, Maquinários e Equipamentos necessários para a produção. Os dutos é o meio mais econômico e seguro para transportar o petróleo.

Palavras-chave: Dutos de petróleo. Exploração. Escoamento e Transporte.

ABSTRACT

Oil is now considered the main fuel for power generation on the planet. The his exploration is increasingly fast-paced. Historians, leads us to believe that oil was already known the man for 4000 years BC. Is an oily substance is less dense than water. We know that the first well open, was in the United States, in the city of Tittusville, with a depth of 21 meters. The exploration system and runoff the oil many centuries ago the Chinese civilization, oil was removed and channeled by bamboo tubes, with a depth of 4000 meters, amazing fact during the Shu Han dynasty, second century BC. Today the oil sector is well advanced, with some technology and equipment development. The utilization of ducts in oil exploration and the effective means of runoff have been increasingly explored by big oil companies. The first pipeline was built in the United States. For the transportation in the first days of the oil industry was made by wooden barrels in cars, boats and trains. Today's name barrel is used as a measure of the official sales oil. After the discovery of pre-salt, Brazil became a country seen more, but still with little technology. How will be done the uses this ducts for a runoff viable process on oil? New studies and manufacturing ferrous and non-ferrous alloys provide in developing new products which can be used within the oil industry, such as carbon fiber glass, epoxy and among others, aimed lightness and corrosion resistance. We know that corrosion and temperature is one of the factors that affect oil ducts. The materials that best identifies this work in improvement process will be sought through researchs and concepts, where identifying the best way to use the ducts with new technologies, seeking always improvement in exploration and runoff. An oil field before putting into production goes through several stages: first makes a study of the area, recognizing the site, using advanced technologies to find oil on the sea and the most used method is the seismic method. The comprovation the oil in a well is proven only after the well drilled. Having comprovation of oil in the well, makes a study of economic capacity in the well. All this involve geologists, geophysicists, engineers, economists, machinery and equipment necessary for production. The ducts is the through most economic and safe to transport the oil.

Keywords: *Oil of ducts. Exploration. Runoff and Transportation.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01- Duto Flexível	19
Figura 02- Duto Rígido	20
Figura 03- Sistema de Escoamento do Petróleo	21
Figura 04- Área do Pré-sal.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PLET – *Pipeline End Termination*

OFFSHORE – Trabalho no Mar

GÁS LIFT – Método de elevação artificial que utiliza a energia de um gás pressurizado para elevar fluidos até a superfície.

API – *American Petroleum Institute*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

ASME – *American Society for Mechanical Engineers*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 EXPLORAÇÃO OFFSHORE.....	14
2.1 Fatores Considerados ao Colocar um Campo em Produção.....	15
2.2 Processos de Extração do Petróleo.....	15
2.3 Redes de Coleta do Petróleo	16
2.4 Dutos e os Meios de Transportes.....	17
3 DUTOS	19
3.1 Dutos Flexíveis	19
3.2 Dutos Rígidos	19
4 CLASSIFICAÇÃO	21
4.1 Flowlines.....	21
4.2 Infield Flowlines.....	21
4.3 Export Pipelines.....	22
5 NOVAS TECNOLOGIAS DE DUTOS.....	23
6 PRÉ-SAL	24
7 PROJETO DE PESQUISA DO DUTO	25
7.1 Materiais Utilizados.....	25
7.1.1 Aço-carbono	25
7.1.2 Epóxi.....	26
7.1.3 Armaflex NH.....	26
7.2 Construção	26
7.1.1 Tubos	26
7.1.2 Revestimento contra Corrosão.....	27
7.1.3 Isolante Térmico	28
7.3 Cálculo da Pressão no Fundo do Mar.....	28
8 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS	30
ANEXO.....	32

1 INTRODUÇÃO

O Petróleo é uma substância oleosa menos densa do que a água, constituída essencialmente pela mistura de milhares de compostos orgânicos, formado pela combinação de moléculas de carbonos e hidrogênio, chamados de hidrocarbonetos. Os antigos já conheciam o petróleo e alguns derivados como o asfalto e o betume. Não se sabe exatamente quando despertaram a atenção do homem. Na fase pré-histórica da utilização do petróleo, nos levam a crer que era conhecido do homem há 4 mil anos a.C. Plínio na sua história natural, segundo Heródoto, grande historiador do século V a.C., Nabucodonosor usou o betume como material de liga na construção dos célebres jardins da Babilônia. Na Bíblia está escrito em (Gênesis-cap. 6, versículo 14), asfalto foi usado para impermeabilização na Torre de Babel e na Arca de Noé. No Oriente Médio, onde atualmente as maiores jazidas petrolíferas do mundo, o imperador Alexandre o grande da Macedônia, numa de suas famosas expedições, observou, na zona asiática de Bactriana, a presença de chamas surgidas no seio da terra e de uma fonte de combustíveis, que chegava a formar um lago. Os egípcios utilizavam o petróleo para embalsamento de mortos ilustres e como elemento de liga nas suas seculares pirâmides, ao passo que os romanos e gregos usavam para fins bélicos. No século XVIII iniciou-se nova fase do petróleo, o comercial, com as eras farmacêuticas e da iluminação. O Petróleo foi minerado pela primeira vez, na Alsácia, em 1742, mas desde 1498 recolhiam-se exsudações espontâneas que eram queimadas em lamparinas. Esses primeiros poços foram perfurados à mão, tendo uma profundidade de 10 a 30 metros. Mas foi na segunda metade do século XIX que o petróleo começou a ser aproveitado industrialmente.

Em 1859 foi aberto o primeiro poço nos Estados Unidos na cidade de Tittusville, pelo Coronel Edwin L. Drake. Tinha uma profundidade de 21 metros e foi perfurado por uma broca que funcionava pelo sistema de percussão, à semelhança de um bate estaca. Com uma produção diária de 19 barris, cerca de 3m³/dia. Após a perfuração é que podemos confirmar ou não a existência de petróleo em determinada área. A extração do produto data de muitos séculos, pois a civilização chinesa também conhecia e obtinha petróleo de poços feito, principalmente, com o fim de obter o sal. O óleo e o gás eram empregados para conseguir luz e calor, sendo retirado dos poços e canalizado por tubos de bambu. Alguns desses poços alcançavam mil metros de profundidade, fato surpreendente, considerando-se primitivo dos meios utilizados, tendo em vista que isso ocorria muitos séculos antes do aparecimento do primeiro poço no hemisfério ocidental, durante a dinastia de Shu Han, século II a.C.

Hoje diante das tecnologias e desenvolvimento no setor petrolífero, a utilização dos dutos na exploração de petróleo e os meios eficazes de escoamento, vem sofrendo modificações e melhoramentos, onde tem um papel fundamental que é o transporte de petróleo e gás natural. Os dutos usados na indústria petrolífera como meio mais seguro, econômico e rápido de movimentar fluidos, é um sistema integrado que faz a movimentação desses produtos dos campos de produção para as refinarias e quando se trata do petróleo produzido no Brasil, ou a transferência do petróleo importado, descarregado nos terminais marítimos para as unidades de refino. Os dutos foram utilizados na indústria do petróleo, pela primeira vez, nos Estados Unidos, em 1865. Desde os primeiros tempos da indústria do petróleo o transporte era feito por barris de madeira sobre carroças, barcaças e trens. Hoje o nome barril é empregado como medida de venda do petróleo, antes era utilizado como meio de transporte, devido ser o primeiro meio de transporte do petróleo. Os dutos são os meios mais seguro e econômico para transportar petróleo.

O setor petrolífero é a grande fonte de energia mundial, descoberto á pouco mais de um século, o petróleo vem cada vez mais sendo explorado no mundo todo. O grande desafio na exploração do petróleo está ligado ao desenvolvimento de novas máquinas, ferramentas, mão de obra qualificada e novos produtos, que são utilizados no processo. Um deles são os dutos de petróleo e como será feita esta utilização dos dutos para um processo viável de escoamento na exploração de petróleo? A melhor maneira de utilizar os dutos com suas novas tecnologias, buscando sempre uma melhoria na exploração, transporte e escoamento, reduzindo as perdas, tempo de escoamento, tempo de custo e garantindo segurança no processo. Com isso podemos monitorar todo processo de exploração e escoamento, tentar diminuir os riscos de acidentes e vazamentos, manter os dutos a uma temperatura adequada, para que não possa prejudicar todo transporte, estudar o processo de entupimento, monitorar as deformidades e a corrosão que são causadas nos dutos. A compreensão de todo o processo de exploração e escoamento do petróleo, a troca de materiais na fabricação dos dutos, melhorando o processo de escoamento e a vida útil do material. Dos conceitos sobre os dutos de petróleo na exploração e escoamento, o trabalho seguirá um método de pesquisa bibliográfica, coletas de dados, levantamento de toda informação para o desenvolvimento de toda pesquisa, podendo nos mostrar novos caminhos.

2 EXPLORAÇÃO OFFSHORE

Para chegar ao processo de extração e transporte do petróleo, o poço a ser encontrado, passa por várias etapas. Estudos são feitos em determinadas áreas, por geólogos e geofísicos, para determinar que tipos de rochas existam em um determinado local, onde tem o indício de encontrar petróleo, utilizando as tecnologias. As tecnologias mais utilizadas são os métodos potências, gravimetria e magnetometria, e o método sísmico de refração e reflexão. O método sísmico de reflexão é o mais utilizado atualmente na indústria petrolífera *offshore*, destacando pelo alto grau de eficiência e pelo custo relativamente baixo. Depois de todas as informações capitadas, com base na interpretação de sismogramas e nos levantamentos geológicos, determina-se a perfuração. Somente depois da perfuração é que podemos confirmar, ou não, a existência de petróleo em determinada área. No processo de perfuração consistem em uma estrutura de aço 45 metros de altura, sustenta um tubo vertical e a coluna de perfuração, se afunda em movimentos intensos, cadenciados, múltiplos. Depois do poço a ser praticamente perfurado, do fundo do poço sobe pelo espaço anular, a lama, que é automaticamente peneirada. Os detritos são retirados e levados para o laboratório, onde são submetidos a análises por um geólogo. Desta análise pode retirar informações exatas sobre a natureza da rocha, a profundidade em que foi retirada a amostra, e outras informações que determinam o seu conteúdo. Contudo, da descoberta e desenvolvimento do campo, à extração do petróleo contam-se tempo, dinheiro e esforços de um contingente de homens, que envolve geólogos, geofísicos, engenheiro de perfuração e de produção e suas equipes. Uma jazida de petróleo pode ser muito interessante sob o ponto de vista financeiro caso situada próximo a um porto ou uma refinaria. Mais, distante deles, às vezes, sua exploração pode tornar-se não viável do ponto de vista econômico.

Os estudos que tratam dos processos de inovações tecnológicas voltados à exploração e à produção de petróleo em águas profundas evidenciam as complexidades envolvidas na geração e na aplicação de tecnologias naquelas atividades. A complexidade de altos custos na produção de petróleo, longa distância da costa marítima, que intensificam as dificuldades no desenvolvimento tecnológico de equipamentos e sistemas para atividade petrolífera no mar. (MORAIS, 2013, p. 83).

Ao longo das explorações *offshore*, as empresas petroleiras com altos custos, adotaram ações por meio de esforços conjuntos de pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias. (MORAIS, 2013).

2.1 Fatores Considerados ao Colocar um Campo em Produção

Os fatores que consideram ao colocar um campo em produção, muitas vezes são dados sobre a natureza, as percentagens e as propriedades físicas dos fluídos contido na jazida, bem como a pressão e a temperatura existente no reservatório. Já imaginou dimensionar um oleoduto de diâmetro pequeno para um petróleo viscoso? Ou então determinar a instalação de um terminal inadequado ao escoamento deste petróleo? Para tanto se faz necessária a obtenção de numerosos dados que permitam estimar a reserva e planejar o regime de produção da jazida. À medida que os poços de extensão vão surgindo e sendo postos em produção estes dados vão sendo conhecidos. Todo óleo extraído é enviado para a separação do gás, depois disto é tratado, para a retirada da água salgada porventura contenha, e enviado para refinaria, ou um terminal ou um petroleiro.

O processo de extração de petróleo *offshore*, deriva em três características fortemente exigidas de inovações tecnológicas, que as especificidades, resultam em alto grau de dificuldade técnicas na exploração e produção do petróleo, são:

- I. As condições prevaletentes no clima, no ambiente marinho e nas rochas abaixo do leito oceânico;
 - II. As grandes distâncias entre as plataformas e os poços no fundo do oceano, e entre as plataformas e o continente;
 - III. A invisibilidade das operações no mar;
- (MORAIS, 2013, p. 85).

2.2 Processos de Extração do Petróleo

O processo de extração do petróleo, quando é aberto o poço, muitas vezes o petróleo sobe para a superfície sob a influência de pressão e quando o gás se acumula na parte alta da jazida (capa de gás), o gás sob forte pressão vai se expandindo, empurrando o petróleo para o poço, diluído o gás reage no fundo do poço, ocorrendo uma descompressão, provocando a liberação. Assim a extração de petróleo varia segundo um jogo de forças, compelido pela água, empurrado pelo gás livre e pela expansão do gás emulsionado. O petróleo viscoso reage contra seu escoamento com uma resistência que varia conforme as interligações dos poros da rocha. A temperatura também interfere no escoamento do óleo dentro do reservatório. Nas jazidas muito profundas, seu efeito é muito sensível, pois a temperatura pode causar a diminuição da viscosidade do óleo, o que facilita a sua drenagem.

Segundo Bordalo e Oliveira (2007), petróleo é uma mistura de hidrocarboneto, dentre os quais se encontram os alcanos, que compreendem cadeias lineares, ramificadas e cíclicas

com ligações covalentes simples. As parafinas são alcanos de cadeia linear, que possuem desde unidades de átomos até uma centena deles.

A deposição de parafinas em dutos submarinos é um sério problema para a produção marítima de petróleo. As parafinas precipitam-se de soluções oleosas quando há redução de temperaturas, e ao longo do tempo a parafina sólida depositada nas paredes internas dos dutos obstruindo o fluxo e promovendo o aumento de perda de carga nas linhas de produção. (BORDALO; OLIVEIRA, 2007, p. 1-10).

Somente depois de um maior conhecimento sobre o campo através de pesquisas e dados obtidos é que se pode pensar em instalar a infraestrutura definitiva. Como os oleodutos, gasodutos e estações de tratamento. A completação é a fase onde o poço é preparado para produzir. Uma tubulação de aço, chamada de coluna de revestimento, é introduzida no poço, e em torno dela é colocada uma camada de cimento, para impedir a penetração de fluidos indesejáveis e o desmoronamento das paredes do poço. A operação seguinte é o canhoneio, que é um canhão especial que desce pelo interior do revestimento e acionado da superfície, provoca perfurações no aço e no cimento, abrindo furos nas zonas portadoras de óleo ou gás, permitindo o escoamento do fluido para o interior do poço e por último introduz uma tubulação de diâmetro menor, para levar o petróleo até a superfície. Na cabeça do poço é instalada a árvore de natal, que é um conjunto de válvulas destinadas a controlar a produção.

Mais nem sempre as pressões no fundo do poço são suficientes para fazer subir o petróleo e neste caso surgem alguns equipamentos como: o cavalo de pau, sistema de gás *lift*, ou bombeio hidráulico ou as bombas centrífugas de fundo.

2.3 Redes de Coleta do Petróleo

Num campo em produção todo o petróleo extraído é enviado a uma rede de coleta, oleoduto de pequeno diâmetro, seguindo para o armazenamento através de um conjunto de tubulações, munidas de válvulas e as diversas cargas de óleo vão sendo separado o petróleo e o gás. O óleo e a água, caso exista, seguem para um tratador, separando-se a água do petróleo. Depois de tratado, o óleo é estocado em tanques, aí aguardando o seu destino, tanto uma refinaria, terminal ou um petroleiro. O gás natural é recolhido às plantas de gasolina natural, que são líquidos ainda contidos no gás sobre forma de partículas, onde é retirada certa quantidade, o restante chamado de gás seco é destinado para um depósito subterrâneo, ou então para fazer gás *lift* e também para rejeição nos reservatórios em produção, combustível industrial e serve como matéria prima para indústria petroquímica. O gás natural pode ser

considerado irmão gêmeo do petróleo. É uma porção do petróleo que se encontra na natureza em forma gasosa. (GAUTO, 2011).

2.4 Dutos e os Meios de Transportes

O setor de transporte ocupa um lugar de relevo, pois suas atividades tem por objetivo escoar a produção do petróleo de seus campos produtores, prover as refinarias de óleo e distribuir de modo seguro, econômico e rápido. Nos primeiros anos, após o início do processamento do petróleo e produção de seus derivados, transporta-lo até o local de refino era tão difícil, quanto retirá-lo do solo. O óleo extraído era depositado em barris de madeira e transportado por carroças, barcaças e vias férreas. Às vezes seguiam rio abaixo em chatas, mas nem sempre chegavam ao seu destino, devido o percurso, acabavam tendo perdas enormes. Com tantas dificuldades, os proprietários das carroças aumentavam seus preços, dificultando ainda mais as companhias petrolíferas. A ideia inicial foi de construir linhas de tubulações para ligar os campos às refinarias. O primeiro oleoduto surgiu em 1865, construído por Samuel Van Syckel. O sucesso foi total, demonstrou ser uma das formas mais econômicas de transportes, sobretudo de petróleo e derivados. Hoje já existem oleodutos com milhares de quilômetros de extensão e diâmetros que possam facilitar todo escoamento.

Para conduzir petróleo através do oleoduto, há um sistema de estação, utilizam bombas que são normalmente centrífugas ou alternativas no caso de se necessitar de altas pressões. Contudo para estender estas linhas de tubos, que cortam montanhas, vales, rios, mares e até mesmo continentes, ligando país de um extremo a outro, é necessário um trabalho bem complexo e caro. Cada metro de terreno que o tubo atravessa, quer no solo ou no mar, é examinado cuidadosamente. Um grande exemplo é o gasoduto que o Brasil importa da Bolívia, que é uma via de gás natural entre os dois países, com 3150 quilômetros de extensão.

O sistema de escoamento do petróleo nos dutos vem sendo utilizado desde os tempos da descoberta do petróleo. E ao passar do tempo vem sendo modificado com novas tecnologias e testado.

Dutos de petróleo são conhecidos como tubulação de perfuração. Tem variadas formas, tamanhos e pesos para facilitar o processo de extração e normalmente é de 9 a 10 metros de comprimento. Tem o seu interior oco que permite a passagem do fluido da extração que é bombeado até o reservatório. (SANTOS, GOMES e NOGUEIRA, 2012, p. 243-239).

Segundo Ribeiro e Ferreira (2002), a utilização do transporte dutoviário é ainda muito limitada, destina-se principalmente ao transporte de líquidos e gás de grandes volumes.

A movimentação via dutos é bastante lenta, tendo um equilíbrio pelo fato de que o transporte opera 24 hs por dia e sete dias da semana. Em contrapartida, seu custo variável é o mais baixo, ficando atrás do transporte hidroviário. As suas vantagens, é que apresentam como o mais confiável de todos, pois existem poucas interrupções para causar variabilidade nos tempos e os fatores meteorológicos não são significativos, e, além disso, os danos e as perdas são baixos. A desvantagem está na lentidão na movimentação dos produtos, o que inviabiliza seu uso no transporte de perecíveis. (RIBEIRO; FERREIRA, 2002, p. 1-8).

No princípio, o petróleo era condicionado a bordo de navios em barris, ou em caixas metálicas. Apesar de bem protegidos, esses recipientes muitas vezes vazavam e provocavam incêndios e explosões em alto mar ou mesmo em portos. Porém, o aumento da produção do petróleo e do mercado consumidor mundial levou os construtores navais a projetarem navios de maior capacidade de carga ocupando para isso quase todo o seu casco. No entanto, problemas de ordem técnica e de segurança, obrigaram a tomar novas medidas. Navios especiais foram projetados e construídos, possibilitando reduzir custo do transporte marítimo através da combinação da movimentação de diferentes cargas. Os navios chamados petroleiros, transportam petróleo e seus derivados e os navios propaneiros ou metaneiros, transportam gases sob pressão ou a baixíssimas temperaturas.

3 DUTOS

São tubulações especialmente desenvolvidas e construídas de acordo com as normas internacionais de segurança, para transportar minério, petróleo e seus derivados, álcool, gás e produtos químicos diversos, por distâncias especialmente longas, sendo então denominados como oleodutos, gasodutos, minerodutos ou polidutos. Segundo Telles (2001, p. 18), os tubos e tubulações são “destinado principalmente ao transporte de fluidos, seção circular, apresentando-se como cilindros ocos”. No Brasil os dutos já superam os 22000 km entre dutos aéreos, terrestres e submarinos. Existem dois tipos de dutos, os dutos flexíveis e os dutos rígidos. Na indústria do petróleo falaremos um pouco dos dois. Pois a sua utilização vem ganhando uma grande importância na exploração e o transporte do petróleo.

3.1 Dutos Flexíveis

São constituídos por diferentes camadas, contendo camadas metálicas e camadas plásticas sobrepostas. A grande possibilidade que este duto tem é que possa atingir grandes curvaturas, dependendo muito do trabalho a ser feito. A sua utilização são em estruturas marítimas para transporte de fluídos ou instrumentalizar sistemas em plataformas marítimas.

Os dutos flexíveis são estruturas complexas com múltiplas camadas que utilizam armaduras helicoidais de fios ou fitas, combinadas com camadas concêntricas de polímeros, têxteis, fitas adesivas e lubrificantes para a produção de uma estrutura compatível, capaz de suportar consideráveis cargas estruturais, bem como as pressões internas e externas. (OLIVEIRA; SOUZA LUZ, 2013, p. 2).

Figura 01- Duto Flexível



Fonte: (APOSTILA DE EQUIPAMENTOS SUBMARINOS, 2008 p. 15)

3.2 Dutos Rígidos

São constituídos por tubos de aço carbono e a depender do fluido que irá ser transportado, podendo ser de ligas especiais, inibindo a corrosão, abrasão ou erosão. Seu revestimento externo pode ter a finalidade de manter a temperatura do fluido transportado, evitando assim atingir a temperatura de formação de hidratos ou depósitos orgânicos, garantindo o escoamento da produção de forma segura e eficaz.

Figura 02- Duto Rígido

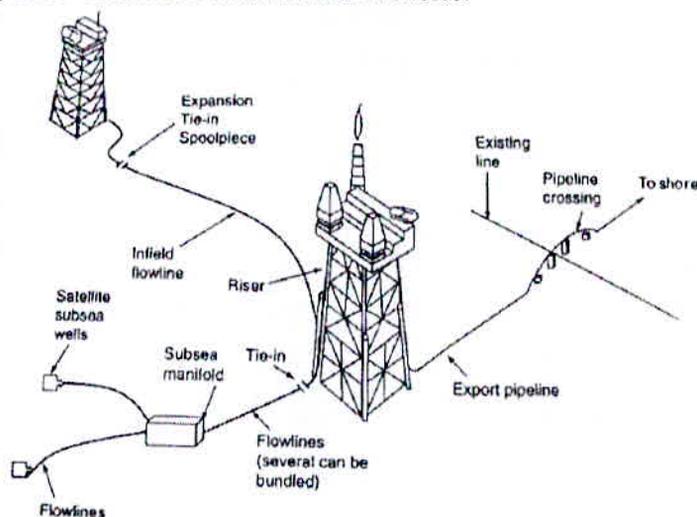


Fonte: (APOSTILA DE EQUIPAMENTOS SUBMARINOS, 2008 p. 15).

4 CLASSIFICAÇÃO DOS DUTOS

De acordo com os dutos submarinos, podem ser chamados de sistema de escoamento, sendo definido com um conjunto de equipamentos (dutos flexíveis, rígidos e PLET¹), cuja função principal é escoar fluidos de um ponto de partida até um ponto de chegada. Mais de 90% dos tubos utilizados nas refinarias de petróleo são de fabricação de aço carbono. (TELLES, 2001). A classificação dos dutos submarinos é de acordo com sua função.

Figura 03- Sistema de escoamento do Petróleo.



Fonte: (APOSTILA DE EQUIPAMENTOS SUBMARINOS, 2008 p. 28).

4.1 Flowlines

São dutos apoiados sobre o leito marinho que se conectam as unidades flutuantes ou fixas por meio de dutos verticais ou catenária, chamado de *risers*.

- a) Transportam óleo ou gás até os manifolds².

4.2 Infield Flowlines ou Dutos de importação

¹ PLET – São equipamentos projetados e desenvolvidos para possibilitar a conexão entre os dutos rígidos e as linhas flexíveis.

² Manifold – Equipamento utilizado para interligar vários poços a uma Plataforma; Transportam óleo ou gás dos manifolds até a plataforma; Transportam água e outras substâncias das plataformas de produção, através de manifolds de injeção, até a cabeça de poços de injeção.

- a) Transportam óleo ou gás entre plataformas.

4.3 *Export Pipelines* ou Dutos de Exportação

- a) Transportam óleo ou gás das plataformas de produção até a costa.

O trecho de duto que fica suspenso é denominado de *Riser*³ e o trecho que fica em contato com o solo marinho é denominado de duto submarino.

³ **Riser** – Trecho suspenso de um duto submarino cuja função é conduzir os fluidos oriundos dos poços ou manifolds até as Unidades Estacionária de Produção (UEP).

5 NOVAS TECNOLOGIAS DE DUTOS

De acordo com Santos, Gomes e Nogueira (2012), a maioria dos dutos é fabricado de aço caro endurecido para suportar as rochas dos túneis a partir da retirada do petróleo, e seu interior tem um revestimento que visa garantir a integridade, mesmo sendo observado o desgaste rápido deste revestimento. Este desgaste muitas vezes é causado pelo contato do cabo que leva as ferramentas até o fundo do poço e a parede interna do duto de perfuração e também é causada nos revestimentos que não pode ser evitado, mas podem ser reduzidos com técnicas de ensaios. Uma das tecnologias que a Petrobrás pretende fazer é substituir todos os dutos de aço pela fibra de vidro de carbono, visando reduzir os custos de produção. O grande problema na indústria petrolífera que afeta muitos equipamentos e estruturas é a corrosão eletroquímica, devido á influência dos constituintes dos fluídos de perfuração e da água de produção e entre outros componentes.

Segundo Santos etc (2013, p. 2) “[...] a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos [...]”. Depois que o Pré-sal foi descoberto, descobriu que o petróleo tem um elevado nível de carbono que, associado à água salgada acelera mais a corrosão metálica.

A corrosão é uma das principais causas de falhas em equipamentos e tubulações de plataformas de produção de petróleo. Essas falhas prejudicam o processo, atrasam o cronograma operacional de produção, geram altos custos de manutenção, além de gerar riscos à saúde e ao meio ambiente. (MAINIER; TERZI, 2012, p. 14-21).

Os fenômenos relacionados com a corrosão são muito complexos, envolvendo sempre numerosos fatores, alguns dos quais difíceis de caracterizar. A corrosão-erosão é um dos tipos de corrosão eletroquímica que acontece na indústria petrolífera, e está associado ao movimento turbulento intenso. A intensidade do ataque é em geral proporcional ao cubo da velocidade do fluido, agravada quando existem partículas sólidas em suspensão. (TELLES, 1979). Outro tipo mais comum de corrosão é a alveolar, que agravada em meios corrosivos parados ou em velocidades muito baixa e, também, em regiões de pouca oxigenação.

6 PRÉ-SAL

O Pré-sal é uma grande descoberta para a indústria petrolífera Brasileira. Depois da sua descoberta, surgiram inúmeras perguntas. Algumas delas são: Como será retirado este óleo há mais de 7000 mil metros de profundidade? Quais as tecnologias que serão utilizadas? Como será feito este escoamento? Boa parte desta tecnologia o Brasil tem para explorar, mais o grande desafio é saber em que tipo de rocha esta armazenada o petróleo e a profundidade. A sua área de localização é no oceano atlântico, que abrange desde o norte do estado de Santa Catarina até o estado do Espírito Santo, uma área de 800 km de comprimento. Estima-se que as reservas de petróleo encontradas podem chegar há 13 milhões de barris de óleo. Com tantos desafios que irão surgir, os sistema de escoamento e exploração terá um papel fundamental.

De acordo com a característica geológica do local, de onde é extraído o petróleo bruto pode variar quanto à sua composição química e ao seu aspecto. Há aqueles que possuem alto teor de enxofre, outros apresentam grandes concentrações de gás sulfídrico. Quanto ao aspecto, existem petróleos pesados e viscosos, e outros leves e voláteis, segundo o número de átomos de carbono existentes na sua composição. O petróleo encontrado no Pré-sal é do tipo leve e seu grau de API é de 28°, onde permite uma maior quantidade de gasolina, GLP e naftas, que são produtos leves.

Figura 04- Área do Pré-sal



Fonte: Revista escola, 2014.

7 PROJETO DE PESQUISA DO DUTO

O projeto de pesquisa do duto é estudar os dados obtidos através de artigos, livros e outras fontes de informações. Os dutos de que possam suportar a temperatura depois que o óleo entra em contato com a parede interna, que se encontra no fundo do mar, onde a parte externa do duto está submetida a uma temperatura em torno de 4 °C a 5 °C. Na subida do óleo do poço até a superfície, o óleo tem um longo caminho a percorrer.

A elevada diferença entre a temperatura do óleo nos reservatórios do Pré-sal e a que ele atinge ao chegar aos dutos, a 2000 m de profundidade embaixo do mar. A temperatura cai de repente de, pelo menos, 140°C para cerca de 4°C. Essa queda brusca faz com que se forme um tipo de parafina no óleo, que pode entupir e prejudicar esses equipamentos. (BERTO, MENDES E NOGUEIRA, 2012, p. 41-47).

Com este grave problema de diferença de temperatura, podemos desenvolver um novo tipo de duto que possa suportar esta diferença de temperatura. O desenvolvimento será através de pesquisa sobre alguns materiais que são utilizados para este tipo de serviço.

7.1 Materiais Utilizados

7.1.1 Aço-carbono

Entre todos os materiais industriais existentes, o aço carbono é o que apresenta menor relação custo/resistência mecânica, além de ser um material fácil de soldar e de conformar. Os aços de baixo carbono até 0,25% tem um limite de resistência de 310 a 370 Mpa e limite de escoamento de 150 a 220 Mpa, e para os aços de médio carbono até 0,35%, tem um limite de resistência 370 a 540 Mpa e limite de escoamento de 220 a 280 Mpa.

O aço-carbono possui uma baixa resistência à corrosão, usado para muitos meios, tanto para o setor industriário e construção, por esta razão é quase sempre necessário um acréscimo de uma sobreespessura em que estão em contato com os fluidos de processo ou com uma atmosfera, exceto se houver uma pintura ou outro revestimento adequado. De outro modo não são empregados a uma temperatura inferior a -45°C, mas sendo utilizado, deve ser exigido um aço de baixo carbono e alto manganês, grão fino, normalizado e submetido a testes de impacto.

A sobreessura para corrosão tem por finalidade proporcionar certa espessura de material de sacrifício, que será corroída no fim de certo tempo, sem prejudicar a resistência mecânica da peça. Nada mais é, um valor que se acrescenta à espessura calculada para a peça. (TELLES, 1979, p. 57).

A *American Petroleum Institute* (API) e a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), são órgãos americanos que especificam a utilização de materiais de todos os componentes de qualquer tubulação industrial. Neste projeto usaremos a norma API 5LX, que visa especificação para tubos com ou sem costura, de aço-carbono de alta resistência, especialmente para oleodutos e gasodutos.

A norma ASTM A53, cuja especificação para tubo de qualidade média, com ou sem costura de 1/8" a 26" de diâmetro nominal, para uso em geral. (TELLES, 2001). De acordo com a norma ASME B.31.3, os tubos desta especificação não devem ser empregados para temperatura acima de 200°C.

7.1.2 Epóxi

É um material termoestável de muito uso para equipamentos de processo, sendo empregado em tanques, vasos e tubos e dutos de grande diâmetro. Trabalha como revestimento anticorrosivo, tendo uma excelente adesão ao aço. Pode ser reforçado com fibra de vidro, incorporando a massa do material, em forma de laminados. Os tubos tem parede de construção laminada, em camadas sucessivas da resina plástica e de fibras de vidro enroladas, para melhorar a resistência mecânica. O epóxi é um plástico de muito boa resistência química, queima-se lentamente e pode ser empregado em temperaturas até 150°C. (TELLES, 2001).

7.1.3 Armaflex NH

É um isolante térmico flexível desenvolvido para aplicação na indústria naval e petroquímica. Utilizados em baixas temperaturas, de espuma elastomérica sintética com células fechadas e alta resistência à difusão do vapor d'água, que impede o fenômeno de condensação. Pode trabalhar com uma temperatura entre -50°C até 110°C.

7.2 Construção

O aço-carbono será utilizado como material principal do duto, e terá a função de suportar toda resistência mecânica. Suas medidas foram retiradas da tabela de classificação de tubos da empresa Tubos ABC, segundo a norma de classificação de aço carbono.

O epóxi é um material termoestável que tem a função de proteger o aço-carbono contra corrosão. O Armaflex NH será o isolante térmico.

7.2.1 Tubos

a) Tubo 01

Comprimento: 9 m

Diâmetro externo: 609,6 mm

Diâmetro interno: 574,64 mm

Espessura do tubo de aço-carbono: 17,48 mm

b) Tubo 2

Comprimento: 9 m

Diâmetro externo: 457,2 mm

Diâmetro interno: 438,16 mm

Espessura do tubo de aço-carbono: 9,52 mm

7.2.2 Revestimento contra corrosão

Será utilizado o epóxi, o comprimento e diâmetro acompanharão as medidas dos tubos. Materiais para tubulações para hidrocarbonetos, limite de temperatura e margem de corrosão. (TELLES, 2001, p. 97). Utilização do aço-carbono como material principal.

a) Hidrocarboneto com baixo teor de enxofre até 1%.

Temperatura limite de trabalho de 320°C, uma espessura de 1,2 mm.

Temperatura limite de trabalho de 400°C, uma espessura de 3 mm.

b) Hidrocarboneto com enxofre normal de 1% a 3%.

Temperatura limite de trabalho de 300°C, uma espessura de 1,2 mm.

- c) Hidrocarboneto com alto teor de enxofre acima de 3%.

Temperatura limite de trabalho de 280°C, uma espessura de 4 mm.

A corrosividade dos hidrocarbonetos pode ser solucionada com a seleção de materiais para tubulações em serviços com hidrocarbonetos, dependendo da temperatura e da presença de impurezas. Como o petróleo do Pré-sal é rico em alcanos com 28° de API, considerado leve, podemos utilizar as seguintes considerações citadas acima de acordo com a temperatura e o grau de enxofre.

7.2.3 Isolante térmico

O Armaflex NH será o isolante térmico, onde ficará entre o diâmetro externo do tubo 2 e o diâmetro interno do tubo 1. Terá uma espessura de 117,44 mm.

7.3 Cálculo da Pressão no Fundo do Mar

1. Densidade da água do mar
 $d=1030 \text{ kg/m}^3$
2. Aceleração da Gravidade
 $g= 9,81 \text{ m/s}^2$
3. Altura de profundidade do Pré-sal
 $h= 2500 \text{ m}$

Fórmula

$$P= d \cdot g \cdot h$$

Solução

$$P= 1030 \cdot 9,81 \cdot 2500$$

$$P= 25,26 \text{ Mpa}$$

8 CONCLUSÃO

Desde a descoberta do petróleo, o ouro negro como é chamado foi se tornando cada vez mais cobiçado por países em desenvolvimento. Foram surgindo novas tecnologias, desenvolvimentos de equipamentos, máquinas e profissionais como geólogos, geofísicos, engenheiros entre outros. Grandes tecnologias foram desenvolvidas na indústria petrolífera, na exploração, escoamento e transportes. No Brasil, a descoberta do Pré-sal veio impulsionar a indústria brasileira em desenvolvimento de novas tecnologias, pesquisas de novos produtos e grandes desafios. Sabemos que o Pré-sal tem uma grande reserva de petróleo, como algumas pesquisas diz que é no mínimo de 13 milhões de barris, podendo chegar até mais. Isto nos motiva e demonstra que precisamos buscar novas tecnologias e desenvolver novos produtos. A Petrobrás esta segura de explorar uma reserva tão grande de petróleo e ao mesmo tempo já tem experiência em águas profundas. O sistema de escoamento do petróleo é considerado um dos mais importantes no processo de extração e precisa ser bem desenvolvido, pois é o caminho que se faz desde o poço até as refinarias. Em alguns pontos podemos considerar críticos, pois se houver um descuido poderá acontecer um grande desastre. Os dutos são considerados as formas mais econômicas e segura para o transporte do petróleo e seus derivados.

REFERÊNCIAS

- ARMAFLEX NH. Tabela de Preços, [2012]. Disponível em: http://www.sultubos.pt/documentos/armacell_isolamento_e_revestimento_profissionais_2012-09-21.pdf. Acesso em: 06 out. 2014.
- APOLO11.COM. A Camada Pré-sal e os Desafios da Extração de Petróleo, [2014]. Disponível em: http://www.apolo11.com/curiosidades.php?posic=dat_20080903-102131.inc. Acesso em: 22 jun. 2014.
- BERTO, A. de S.; MENDES, B. L.; NOGUEIRA, M. B. As Complexidades da exploração do pré-sal no que se refere à indústria em engenharia e novos materiais, mão de obra e aspectos econômicos e geopolíticos. **Bolsista de Valor: Revista de Divulgação do Projeto universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 41-47, 2012.
- BORDALO, S.N; OLIVEIRA, R, C; Escoamento bifásico óleo-água com precipitação de parafinas em dutos submarinos de produção de petróleo. In: 4º PDPETRO, 2007, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: ABPG, 2007. p.1-11.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica Vol. III, Materiais de Construção Mecânica**. 2 ed. São Paulo: Ed. Pearson Educacion do Brasil, 1986.
- FRECHES-SANTOS, C; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ENCHERIA, A. A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos. **Revista virtual de Química**, UFRRJ, Departamento de Química, v. 06, n.2, p.293-309, mai./nov. 2013.
- GÁSEPETRO. Equipamentos submarinos, [2012]. Disponível em: <http://www.gasepetro.com.br>. Acesso em: 22 set. 2013.
- GAUTO, M. A. **Petróleo S.A.: Exploração, produção, refino e derivados**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna Ltda, 2011. 129 p.
- INOVAÇÃOUNICAMP. P&D do Pré-Sal, [2009]. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/destaques/custo-e-problema-principal-da-exploracao-de-petroleo-no-campo-detupi-rocha-e-profundidade-trazem-novos-desafios-para-engenharia>. Acesso em: 05 jul. 2014.
- INTERPIPE (ITP). Subsea Production Flowlines, [2014]. Disponível em: <http://www.itp-interpipe.com/products/subsea-production-flowlines/sub.php>. Acesso em: 01 out. 2014.
- MAINIER, F. B; TERZI, R. Monitoramento da corrosão interna em plataforma offshore. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 12, n. 1, p.14-21, jan./jun. 2008.
- MORAIS, J. M. de. Exploração, Completações e Avanços Tecnológicos na Produção de Petróleo Offshore. In: _____. **Petróleo em Águas Profundas: Uma História Tecnológica da Petrobrás na Exploração e Produção Offshore**. Brasília: IPEA: Petrobrás, 2013. P. 83-94.
- NOVA ESCOLA. Como será feita a exploração de Petróleo na camada Pré-sal, [2014]. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://revistaescola.abril.com.br/geografia/fundamentos/>

como-sera-feita-exploracao-petroleo-camada-pre-sal-621953.shtml. Acesso em: 22 ago. 2014.

OLIVEIRA, I. P. G.; SOUZA LUZ, T. Estudo do Processo de Fabricação de Tubos Flexíveis de Aço inoxidável Duplex UNS 32304, utilizado na Indústria de Petróleo e Gás. UFES, Departamento de Engenharia Mecânica, Vitória, ES. **Soldag. Insp.** São Paulo, v. 18, n. 1, p. 2-11, Jan/Mar 2013.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRÁS. **O Mundo Fabuloso do Petróleo**. Rio de Janeiro: Editado pelo Serviço de Relações Públicas do Petróleo Brasileiro S.A.: Petrobrás, 1975. 47 p.

RIBEIRO, P. C. C; FERREIRA, K. A. Logística e Transporte: Uma Discussão sobre os Modais de Transporte e o Panorama Brasileiro. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23 a 25 de out. 2007, Curitiba, PR. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2002, p. 1-8.

SANTOS, L. A. de M.; GOMES, R. E. de S.; NOGUEIRA, S. G. da S. Tecnologia dos dutos de extração de Petróleo. **Bolsista de Valor: Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 239-243, 2012.

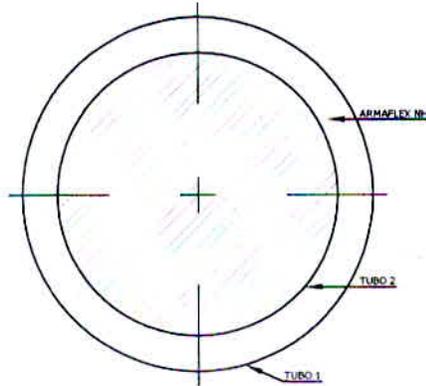
SEREBRENICK, S. **O Petróleo**. Rio de Janeiro: Ed. Bloch Editores S.A.: Brasil, 1971. (Coleção Brasil Hoje). 75 p.

TELLES, P.C. S de. **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto e Montagem**. 10 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2001.

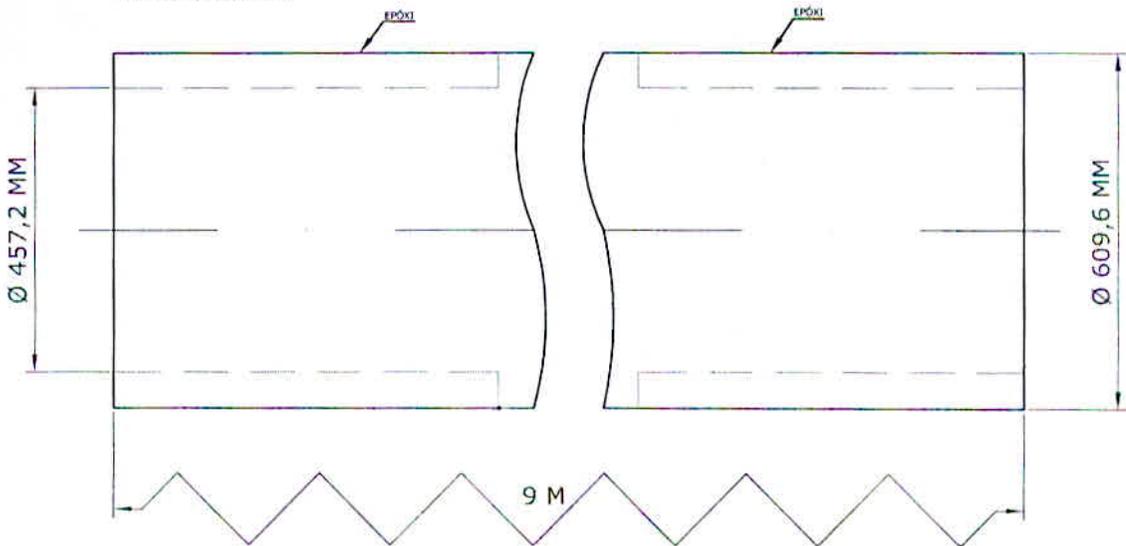
TELLES, P.C. S. **Materiais para Equipamentos de Processo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1979.

TUBOS ABC. Tabelas de Classificação dos Tubos, [2012]. Disponível em: <http://www.tubosabc.com.br/tubos/tabela-de-classificacao-de-tubos.pdf>. Acesso em: 09 out. 2014.

VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



PROJETO DO DUTO

TABELA DE MATERIAIS V.F. E V.S

TUBO 01	TUBO 02	EPÓXI	ARMAFLEX NH
Øe: 609,6 MM	Øe: 457,2 MM	INVESTIMENTO MATEMÁTICO/REV.	ISOLANTE TÉRMICO
Øi: 574,64 MM	Øi: 438,16 MM	ESPESSURA 400K	ESCALA: 1:1
ESPESSURA: 17,48 MM	ESPESSURA: 9,52 MM	DATA: 10/10/2014	NORMAS ABNT N.º 1 AB, N.º 2 E ABNT 603
MATERIAL: AÇO SAE 1030			FOLHA: A4

DUTO DE PETRÓLEO PARA TRABALHO DE ESCOAMENTO

PROJETISTA: HELDER ANTÔNIO