



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
DE SERGIPE - FANESSE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GLAUBER PEREIRA CORREIA

**REFLEXOS DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE COMBATE
ÀS INCRUSTAÇÕES INORGÂNICAS, NO ESCOAMENTO DA
PRODUÇÃO PETROLÍFERA TRANSPORTADA POR MEIO
DE DUTOS, EM UM CAMPO TERRESTRE DE SERGIPE.**

**Aracaju - SE
2016.2**

GLAUBER PEREIRA CORREIA

**REFLEXOS DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE COMBATE
ÀS INCRUSTAÇÕES INORGÂNICAS, NO ESCOAMENTO DA
PRODUÇÃO PETROLÍFERA TRANSPORTADA POR MEIO
DE DUTOS, EM UM CAMPO TERRESTRE DE SERGIPE.**

**Monografia apresentada à Coordenação
do Curso de Engenharia de Produção
da Faculdade de Administração e
Negócios de Sergipe - FANESE, como
requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de
Produção.**

**Orientador: Prof. Me. Fábio Augusto R.
da Nóbrega**

**Coordenador do Curso: Prof. Me.
Alcides Araújo Filho.**

**Aracaju - SE
2016.2**

C824r CORREIA, Glauber Pereira.

Reflexos da Aplicação de Técnicas de Combate às Incrustações Inorgânicas, no Escoamento da Produção Petrolífera Transportada por Meio de Dutos, em um Campo Terrestre de Sergipe / Glauber Pereira Correia. Aracaju, 2016. 58 f.

Monografia (Graduação) – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe. Coordenação de Engenharia de produção

Orientador: Prof. Me. Fábio Augusto Rodrigues da Nóbrega

1. Incrustações Inorgânicas 2. Dutos 3. PIG Raspador 4. Inibidor Químico I. TÍTULO.

CDU 658.512 (813.7)

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da FANESE

GLAUBER PEREIRA CORREIA

**REFLEXOS DA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE COMBATE
ÀS INCRUSTAÇÕES INORGÂNICAS, NO ESCOAMENTO DA
PRODUÇÃO PETROLÍFERA TRANSPORTADA POR MEIO
DE DUTOS, EM UM CAMPO TERRESTRE DE SERGIPE.**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2016.2.



Prof. Me. Fábio Augusto Rodrigues da Nobrega (Orientador)



Prof. Dra. Fabiane Santos Serpa (1º Examinador)

Aprovado com média: 9,0

Aracaju - SE, 09 de dezembro de 2016.

Dedico aos meus pais que são minhas referências de dignidade, dedicação e honestidade.

À minha companheira, que com sua delicadeza e amor a mim dedicados, deram o toque especial em minha vida, possibilitando suportar as adversidades e a pressão da reta final deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela graça de estar apto a ascender mais um grau acadêmico e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente: Ao coordenador Alcides Araújo, pela dedicação com que rege o curso e abraça a formação de cada um dos graduandos e ao ilustre professor e orientador Fábio Nobrega, por ter empregado indispensável colaboração com suas instruções e “puxões de orelha”, influenciando decisivamente no êxito deste trabalho.

Aos meus pais, Messias e Cacilda, pela dedicação ao longo dos anos que perduraram este curso. Sempre que necessitei, ou em momentos que não imaginava contar com eles, estiveram atentos às minhas necessidades, o que me permitiu sobreviver aos inúmeros obstáculos naturais da vida acadêmica.

À minha companheira Lidiane Xavier, por ter colaborado de maneira decisiva, não só na realização das atividades do currículo, já que também foi contemporânea desta graduação, mas sobretudo, por ter se dedicado a cuidar de mim, trazendo assim, o alento motivacional que faltava para vencer este degrau acadêmico.

Aos grandes amigos, Antônio Carlos, Jorge Sousa, Luís Carlos, Moacir Neto, Carlos Alves e Marcelo Alves, seres humanos do mais alto gabarito, que sempre me socorreram quando precisei, foram para mim, importante pilar intelectual e moral.

Aos colegas que estiveram ao meu lado ao longo do curso, que contribuíram com seus testemunhos e experiências profissionais e de vida, tornando minha aprendizagem cada vez mais sólida e diversificada.

Aos companheiros da Petrobras UO-SEAL, pelos debates instrutivos e pela colaboração na labuta diária, onde por vezes vos sobrecarreguei para atender as demandas da graduação. Com destaque ao Eng. Thiago Albuquerque, pela decisiva colaboração técnica empreendida muitas vezes fora de sua jornada de trabalho.

Aos meus familiares, que ao longo de minha árdua trajetória de vida, cumpriram o importante papel de “ombro amigo”, fazendo perceber o quão é importante a sociabilização para o homem.

Não poderia deixar de agradecer ao Pequeno Grupo - Renascer, que adicionou em mim o aporte espiritual indispensável a um filho de Deus, capaz de avolumar em mim, a chama do amor ao próximo e assim, dotar-me da sensibilidade e da capacidade, de ajudar aos irmãos mais necessitados.

RESUMO

O escoamento da produção de petróleo consiste em uma etapa fundamental para a geração de energia no mundo. O petróleo oriundo de um reservatório natural é constituído de água, óleo, resíduos sólidos e gás natural. Sua condução entre os campos produtores e as unidades de tratamento, refino e distribuição é de maneira mais rotineira, realizada por meio de tubulações industriais de transporte ou dutos, embora outros veículos, a exemplo dos navios-petroleiros, caminhões tanque, também sejam utilizados. Neste trabalho, considerando as várias formas de escoar esta importante fonte energética e seus respectivos agentes opositores, dar-se-á ênfase aos impactos causados pelas incrustações inorgânicas no transporte realizado por meio de dutos. Esses depósitos de matéria inorgânica, contribuem para altos custos de produção, devido à restrição parcial ou total que causam no interior dos dutos, comprometendo inclusive a garantia de escoamento e por isso, se torna relevante a realização desse estudo. Neste contexto, serão apresentados os reflexos da aplicação das técnicas de combate às incrustações inorgânicas - inibidor químico e PIG raspador - em um trecho da malha de dutos de um campo petrolífero de Sergipe.

Palavras-chave: Incrustações Inorgânicas, Dutos, PIG Raspador, Inibidor Químico.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Incrustações mais comuns nos campos de petróleo	24
Quadro 2 - Solubilidade das principais incrustações em água pura a 25° C	25
Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa	44
Quadro 4 - Dados de todo o sistema analisado quanto à aplicação das técnicas de combate à incrustação: PIG e inibidor químico	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação quanto ao emprego das tubulações industriais	14
Figura 2 - Aplicações conceituais diferentes para as tubulações industriais integrantes de uma dutovia	15
Figura 3 - escoamento por duto com utilização de propulsão por bombas	16
Figura 4 - escoamento por duto, sem utilização de propulsão	16
Figura 5 - Satélite centralizador da produção petrolífera sendo interligado.....	20
Figura 6 - Satélite de Injeção de água produzida	21
Figura 7 - Configuração ilustrativa de um sistema terrestre de escoamento de petróleo por meio de dutos.....	21
Figura 8 - Tubulação de petróleo com elevado grau de incrustação	22
Figura 9 - Elementos do sistema de produção e transporte de petróleo com incrustação inorgânica	23
Figura 10 - Estágios da cristalização.....	27
Figura 11 - PIG de limpeza se deslocando em um duto terrestre - simulação....	34
Figura 12 - Inserção e retirada do PIG após atravessar e limpar um duto	34
Figura 13 - PIG <i>Multi-Size WCK3</i>	35
Figura 14 - Modelos de PIG de limpeza	36
Figura 15 - Disposição da malha de dutos analisada	46
Figura 16 - PIG raspador monolítico, fabricado em poliuretano de alta resistência e flexibilidade, utilizado nos dutos LC-1 e LC-2	48
Figura 17 - Introdução do PIG na câmara do LC-1 localizada no satélite 1.....	48
Figura 18 - PIG chegando na câmara de recebimento do LC-1 dentro da estação coletora	49
Figura 19 - Conjunto de aplicação de inibidor de químico de incrustação inorgânica (circundado em branco)	50

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE QUADROS

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Situação Problema.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Justificativa.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Conceito de Dutos.....	14
2.2 Breve Histórico do Modal Dutoviário no Brasil	17
2.3 Aplicações, Vantagens e Desvantagens do Modal Dutoviário	18
2.4 escoamento da Produção Petrolífera por Meio de Dutos Terrestres	19
2.5 Incrustação Inorgânica em Dutos de Transporte de Petróleo.....	22
2.5.1 Tipos de incrustação inorgânica mais comuns em sistemas petrolíferos e suas respectivas causas	24
2.5.2 Mecanismos de cristalização e incrustação de sais inorgânicos	26
2.5.3 Prevenção e controle dos processos incrustantes.....	27
2.5.4 Impactos das incrustações no escoamento da produção petrolífera por meio de dutos	28
2.5.5 Utilização de inibidores químicos de incrustação inorgânica	29
2.5.6 Utilização de PIG raspador na limpeza mecânica de dutos de transporte de petróleo	33
3 METODOLOGIA	38
3.1 Abordagem Metodológica	38
3.2 Caracterização da Pesquisa	39
3.2.1 Quanto aos objetivos ou fins	39
3.2.2 Quanto ao objeto ou meios	40
3.2.3 Quanto ao tratamento dos dados	41
3.3 Instrumentos de Pesquisa.....	42
3.4 Unidade, Universo e Amostra da Pesquisa.....	43
3.5 Definição das Variáveis e Indicadores da Pesquisa	43
3.6 Plano de Registro e Análise dos Dados	44
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	45
4.1 Identificação e Caracterização do Trecho da Malha de Dutos com potencial de Ocorrer Incrustação Inorgânica.....	45
4.2 Identificação das Técnicas de Combate às Incrustações em Dutos	47
4.2.1 PIG raspador.....	47
4.2.2 Inibidor químico de incrustação	49
4.3 Resultados obtidos com a aplicação associada, das técnicas de combate à incrustação inorgânica - inibidor químico e PIG raspador - no trecho da malha de dutos analisado.....	51

5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
APÊNDICE A	58

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico desencadeou o fenômeno da globalização, possibilitando dentre outros fatores, a diversificação da economia por todas as partes do mundo. Esta mudança de cenário na econômica mundial fez surgir, dentre outros e diversos aspectos, a urgente necessidade da ampliação e miscigenação dos meios de transporte utilizados na movimentação da produção industrial, tornando imprescindível o desenvolvimento de uma logística de transporte cada vez mais pluralizada e concatenada.

Em face a essa nova perspectiva e, não obstante, à referida dinâmica mercadológica, a logística do escoamento da produção de petróleo sofreu ao longo do tempo diversas adaptações, seja devido às opções de tecnologia de transportes disponíveis em determinada região a época, seja em virtude das peculiaridades geográficas ou até mesmo políticas de momento, na busca de um novo enquadramento mercadológico, visando atender à demanda cada vez mais crescente deste insumo energético tão importante.

Escoar petróleo consiste em uma etapa fundamental para a geração de energia e desenvolvimento econômico no mundo. O petróleo oriundo de um reservatório natural é constituído de maneira geral por: água, óleo, resíduos sólidos e gás natural. Sua movimentação dentro das unidades operacionais de produção e seu transporte, entre estas unidades e os demais integrantes da cadeia logística é realizado por meio de tubulações industriais, dutos, ferrovias, caminhões tanque, dentre outras opções menos usuais, a exemplo do transporte aeroviário.

Dentre as várias formas de escoar esta importante fonte energética e seus agentes opositores, dar-se-á ênfase, neste trabalho, aos impactos causados pelas incrustações inorgânicas no transporte realizado por meio de dutos. Estes depósitos de matéria inorgânica que acometem o modal dutoviário, podem ser formados devido a diversos fatores: evaporação da água, aumento da temperatura, despressurização, reação química ou microbiológica e incompatibilidade entre as águas de injeção e da formação.

São responsáveis pelos altos custos de produção, já que provocam restrição parcial ou total da passagem do fluido, gerando inclusive, riscos à garantia de escoamento e prejuízo ao clima organizacional, devido aos transtornos criados narcotina operacional, o que eleva o nível de tensão e desgaste dos profissionais envolvidos na operacionalização do sistema de escoamento.

Neste contexto o presente trabalho, após vasta pesquisa e coleta de dados, embora ainda sejam necessários estudos mais aprofundados sobre a temática, apresenta por meio de seus resultados, os reflexos da aplicação das técnicas de combate às incrustações - inibidor químico e PIG raspador - em um trecho da malha de dutos de um dos campos petrolíferos de Sergipe, com o intuito de disponibilizar à companhia exploradora do campo pesquisado e demais interessados, portfólio informativo, capaz de contribuir para o fomento de novas estratégias cada vez mais eficientes e econômicas de enfrentamento a este oneroso agente intrínseco do modal dutoviário.

1.1 Situação Problema

Os campos terrestres de produção de petróleo dativo Sergipe/Terra, parte integrante da Unidade de Operações Sergipe Alagoas (UO-SEAL), da empresa petrolífera analisada, ao longo de sua história produtiva, têm se defrontado com diversos problemas, associados ao transporte e à distribuição física de sua produção de petróleo.

Dentre os diversos fatores que impactam o referido escoamento, o fenômeno de formação das incrustações inorgânicas, tem sido um fator intrínseco ao processo, que mais tem aflorado e, desta forma, chamado a atenção dos diversos setores da companhia, que não tem medido esforços para combatê-las, afim de garantir o atendimento às suas demandas.

Este acúmulo de depósitos inorgânicos é responsável pela redução e em alguns casos, até mesmo pela interrupção do escoamento da produção petrolífera transportada por meio de dutos nos campos terrestres de Sergipe, o que induz à necessidade da aplicação de técnicas cada vez mais eficientes e específicas, para combater este fenômeno.

Diante deste cenário pergunta-se: **até que ponto a aplicação de técnicas de combate às incrustações inorgânicas, tem contribuído para a confiabilidade do**

escoamento da produção de petróleo transportada por meio de dutos, no ativo Sergipe/Terra?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os resultados obtidos com a adoção das técnicas de combate às incrustações inorgânicas, que acometem os dutos petrolíferos dos campos terrestres explorados por uma empresa petrolífera de Sergipe.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os trechos da malha de dutos, com potencial de incrustação;
- Apresentar as técnicas de combate às incrustações aplicadas nos dutos indicados para análise, com seus respectivos parâmetros de aplicação e;
- Apresentar os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de combate às incrustações no sistema de transporte de petróleo analisado.

1.3 Justificativa

O desenvolvimento deste trabalho justifica-se pela necessidade de processar e disponibilizar os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de combate às incrustações, possibilitando à companhia e aos respectivos setores interessados, portfólio informativo, capaz de fomentar o aperfeiçoamento e/ou desenvolvimento de novas técnicas, cada vez mais específicas e eficientes para combater a formação de depósitos, nos dutos do ativo Sergipe/Terra.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

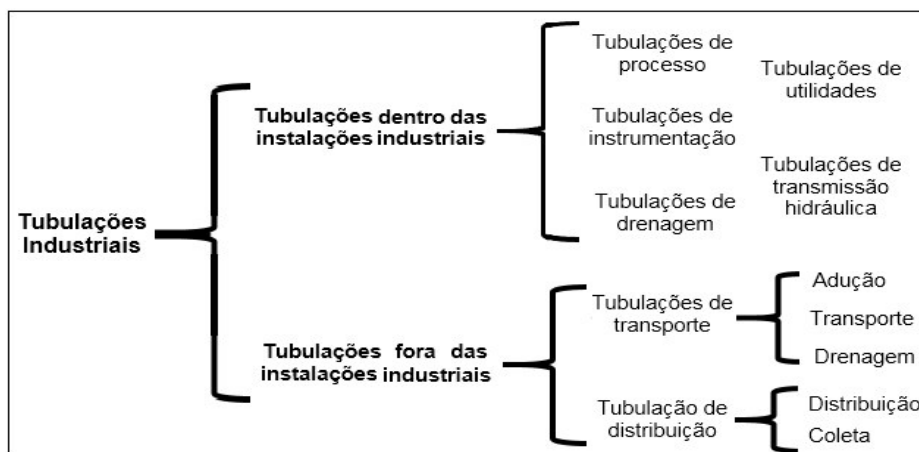
Ao longo deste capítulo, será apresentada a base bibliográfica utilizada como pilar deste estudo, que aborda os impactos da aplicação de duas técnicas de combate às incrustações na produção petrolífera transportada por meio de dutos.

2.1 Conceito de Dutos

O transporte de petróleo por meio do modal dutoviário, se utiliza de tubos interligados, fabricados em materiais diversos constituindo assim uma tubulação industrial.

De acordo com Telles (2001, p. 2), segue representada na Figura 1, a forma global de classificação das tubulações industriais quanto ao emprego.

Figura 1 - Classificação quanto ao emprego das tubulações industriais



Fonte: Telles (2001, p. 2)

De acordo com a Norma Petrobras N-2726 (2012, p. 20), tubulação é designada como sendo um conduto fechado, que se diferencia de duto, pelo fato de movimentar ou transferir fluido sob pressão dentro dos limites de uma planta industrial ou instalação de produção ou armazenamento de petróleo e seus derivados.

Ainda de acordo com a Norma Petrobras N-2726 (2012, p. 20), para quaisquer classes de tubulação dentro dos limites de uma instalação industrial, devem-se distinguir sempre dois casos gerais:

- Tubulações no interior das estações petrolíferas sejam áreas de trabalho ou de processamento;
- Tubulações externas às áreas de processo.

A distinção entre esses dois grupos gerais é importante porque em diversos casos, para um mesmo serviço, são completamente diferentes os critérios de construção, montagem, operação e manutenção das tubulações, pelo simples fato de estarem dentro ou fora das plantas industriais.

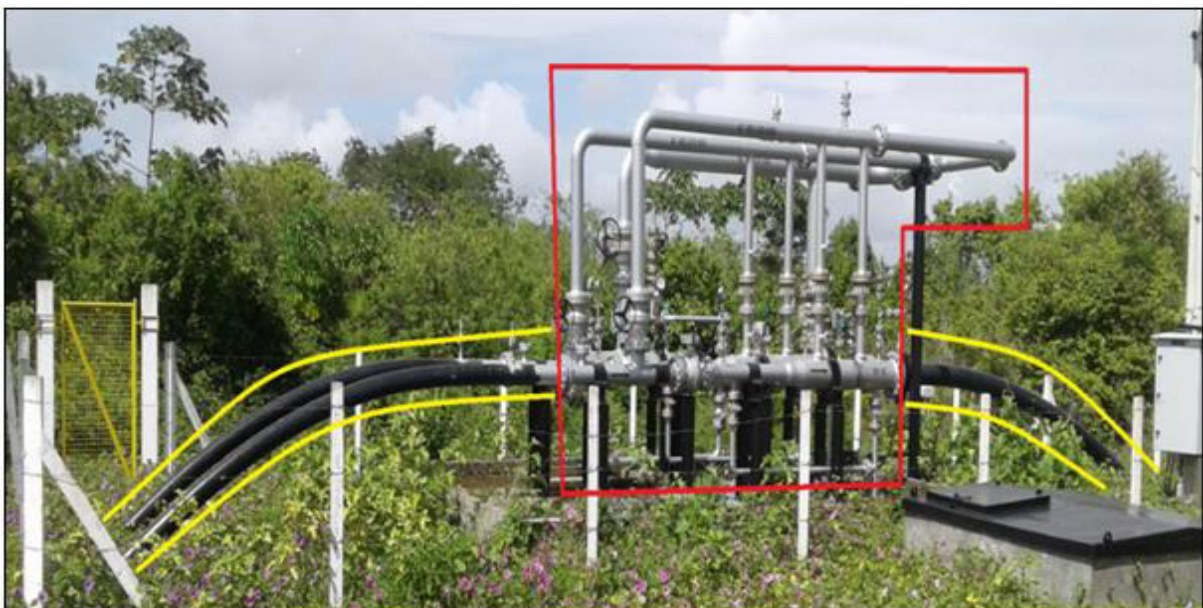
Essas peculiaridades motivaram o advento da terminologia, duto:

Designação genérica de instalação constituída por tubos ligados entre si, incluindo os Componentes e Complementos, destinada ao transporte ou transferência de fluidos, entre as fronteiras de Unidades Operacionais geograficamente distintas (ANP, 2011, p. 11).

Conforme descreve ANP (2011, p. 14), os dutos que movimentam hidrocarbonetos líquidos, óleo diesel, dentre outros combustíveis, são chamados de Oleodutos.

A seguir, na Figura 2, têm-se um trecho de um oleoduto, indo de fora dos limites de uma instalação industrial, o qual, está representado pelas marcações em amarelo, interligado a tubulações industriais de uma unidade de medição de variáveis físicas (pressão e vazão), integrante do sistema de transporte por meio de dutos (autovia), porém, contida dentro dos limites de uma instalação industrial, conforme trechos demarcados em vermelho.

Figura 2 - Aplicações conceituais diferentes para as tubulações industriais integrantes de uma autovia



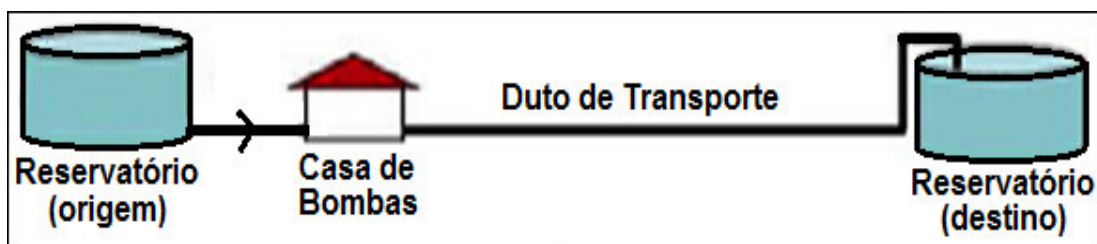
Fonte: Cedida e adaptada pelo autor, 2016

Conforme conceitua Filho (2012, p. 139), dutovias, são sistemas complexos de trechos de tubulações, bombas, equipamentos de controle e sistemas computacionais, utilizados para deslocar ou movimentar diferentes tipos de produtos entre cidades, refinarias, campos de petróleo, estações de tratamento e bases de distribuição.

Ainda conforme Filho (2012, p. 139), as operações de transporte através das dutovias podem ser realizadas através de um sistema de propulsão forçado, o qual utiliza um elemento de força (bomba) para movimentar o produto dentro do duto, ou através de um sistema por gravidade, a qual necessita apenas que haja uma diferença de nível para que assim força da gravitacional possa agir, ocorrendo então, a movimentação do produto dentro do duto.

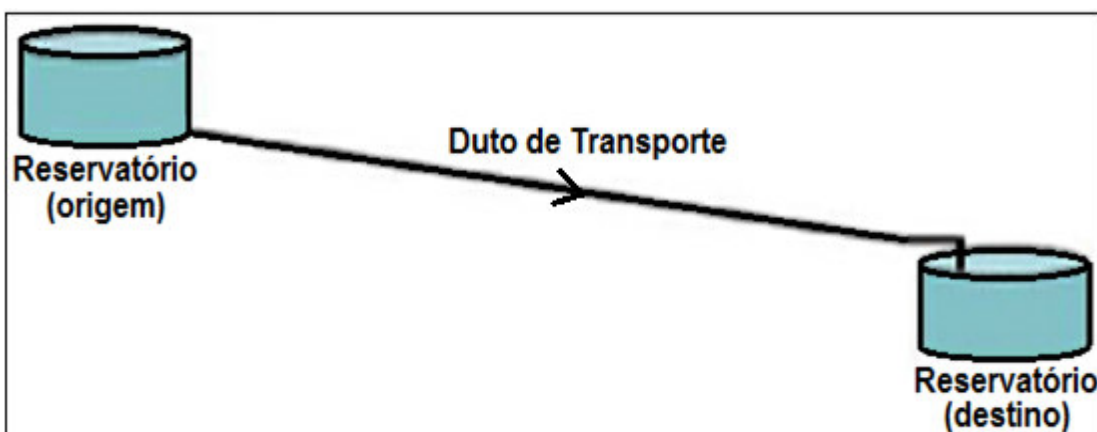
As Figuras 3 e 4 respectivamente, ilustram de maneira sintetizada os sistemas de propulsão forçada e por gravidade.

Figura 3 - escoamento por duto com utilização de propulsão por bombas



Fonte: Cedida pelo autor, 2016

Figura 4 - escoamento por duto, sem utilização de propulsão



Fonte: Cedida pelo autor, 2016

Segundo Silva (2004, p. 13), o transporte de petróleo no Brasil tem como função a importação, a exportação, o escoamento da produção dos campos petrolíferos e a distribuição dos produtos processados, o que torna quase que obrigatório o uso de propulsão forçada, já que as grandes distâncias e a irregularidade no relevo do trajeto por onde passam os dutos são fatores recorrentes.

2.2 Breve Histórico do Modal Dutoviário no Brasil

Conforme descreve Terzian (2005, p. 40), as tubulações de transportou dutos, já eram conhecidos como meio de transporte de líquidos desde a antiguidade, os chineses com bambus, os egípcios e astecas em material cerâmico e os gregos e romanos na utilização de tubos de chumbo.

O primeiro duto que se tem registro foi construído na Bahia, com diâmetro de duas polegadas e 1 km de extensão, ligando a Refinaria Experimental de Aratu ao Porto de Santa Luzia, que recebia o petróleo dos Saveiros-Tanques vindos dos campos de Itaparica e Joanes, com início de operação em maio de 1942 (CALDAS, 2006, p. 61).

Ainda de acordo com Terzian (2005, p. 40), a atividade petrolífera no Brasil teve o seu primeiro impulso com a criação do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), através do DL 395, de 29/04/38 que regulou a importação, a exportação, o transporte inclusive a construção de oleodutos, a distribuição e a comercialização de petróleo no território nacional, bem como a indústria de refinação. Entretanto, o primeiro oleoduto de maior porte construído no Brasil, que ligava Santos a São Paulo, foi inaugurado somente em 1951.

Conforme descrito em Caldas (2006, p. 61), com a criação da Petrobras (lei 2004 de 02/10/53), o transporte dutoviário foi intensificado com a construção dos oleodutos na Região de Produção da Bahia. Nesta época as obras de dutos eram executadas diretamente com pessoal e equipamentos do efetivo próprio.

Retomando os relatos de Terzian (2005, p. 42), entre as décadas de 60 e 80, a malha de oleodutos e principalmente de gasodutos foi bastante ampliada, porém foi a partir dos anos 90, com a evolução da informática, que os sistemas de acompanhamento controladas operações tomaram grande impulso. São exemplos destes sistemas, o *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), o *Global Positioning System* (GPS) e o *Geographic Information System* (GIS), que promoveram uma significativa evolução dos mecanismos de aquisição de dados dos oleodutos e gasodutos.

Terzian (2005, p. 42), continua seus relatos reafirmando a importância da informática, que permitiu o advento da plataforma CAD (*Computer Aided Design*) possibilitando a digitalização e redução drástica do tempo de elaboração dos desenhos utilizados na construção dos dutos. Viabilizou também o desenvolvimento de simuladores, o que permitiu antever algumas das condições operacionais, concorrendo

não só para uma melhor qualidade do projeto, mas também para a redução dos prazos de execução e operacionalização da malha dutoviária.

2.3 Aplicações, Vantagens e Desvantagens do Modal Dutoviário

De acordo com Filho (2012, p. 136), o transporte dutoviário utiliza-se de dutos, ou tubulações, para realizar a movimentação de fluidos em grandes volumes e em algumas situações, também podem realizar o transporte de alguns sólidos que possam ficar suspensos em meio líquido. Quando submetidos a escoar petróleo e derivados os dutos podem ser chamados de oleodutos, gasodutos ou poli dutos, de acordo com o fluido transportado.

Conforme descrito por Vaz *et al.* (2005, p. 2), os dutos possuem restrições de funcionamento apenas durante manutenção e mudança de produto transportado. Diferente dos demais modais de transporte, não existe um veículo vazio a retornar uma vez que, dos quatro elementos inerentes ao transporte – a via, a unidade de transporte, a unidade de propulsão e o terminal – a dutovia em si combina três deles, excetuando-se apenas o terminal (tanque de armazenagem, por exemplo) que é separado.

Ribeiro (2002, p. 4), relata que os direitos de acesso às áreas onde serão instalados os dutos, sua construção, os requisitos para controle das estações e capacidade de bombeamento, fazem com que o transporte dutoviário apresente o custo fixo mais elevado. Em contrapartida, o seu custo variável é o mais baixo, já que o custo com mão-de-obra para operá-lo é relativamente baixo.

Conforme descrito por Vaz *et al.* (2005, p. 2), o modal dutoviário apresenta as seguintes vantagens em relação aos demais modais:

- Não há necessidade de se usar embalagens de transporte, por ser a dutovia a própria unidade de carregamento;
- Não existe o problema da viagem de retorno para equacionar, bem como o processo não sofre influência do congestionamento ou dificuldades físicas a transpor, como por exemplo longas zonas áridas ou congeladas;
- É um meio de transporte que demanda pouca mão de obra, para operá-lo;
- Em geral a segurança nas dutovias é superior à de outros modais, sendo assim indicada para o transporte de produtos perigosos como etileno ou GLP;
- Independência em relação às condições do tempo na sua operação;

- Função de armazenagem em consequência do seu longo tempo total de trânsito.

Ainda de acordo com Vaz *et al.* (2005, p. 2), o modal dutoviário apresenta as seguintes desvantagens em relação aos demais modais:

- Necessidade de grandes investimentos em capital;
- Inflexibilidade quanto à rota de distribuição, pois uma vez fixados os dutos, sua posição não é fácil de alterar e por este motivo é adequado a produtos que mantenham sua demanda restrita a pontos fixos;
- Não é adequado ao transporte de mercadorias que estejam sujeitas a mudanças de padrão de carregamento;
- Seu uso só pode ser estendido a certos grupos de mercadorias dentro de um mesmo duto, embora seja tecnicamente possível separar um produto de outro sem que eles se misturem durante o transporte.

2.4 Escoamento da Produção Petrolífera por Meio de Dutos Terrestres

Conforme descreve Filho (2013, p. 11), o petróleo se acumula em uma rocha porosa, geralmente cercada por uma rocha impermeável, chamada de rocha selante ou capeadora, que aprisiona o petróleo em seu interior, formando uma jazida, possibilitando a sua extração. Assim, dependendo da pressão, da profundidade e da localização desse reservatório, encontram-se, o gás natural ocupando a região superior, por ser mais leve, o petróleo na região intermediária e a água salgada ocupando a parte inferior, em função da diferença de densidade entre as fases.

De acordo com Machado (2006, p. 5), a produção de petróleo tem início com a prospecção nos poços instalados no reservatório ou formação, onde o fluido emergido (composto de resquícios sedimentares, água salgada, gás natural e petróleo bruto) é transportado através de dutos para equipamentos denominados satélites. Estes mecanismos, tem a função de centralizar a produção oriunda dos poços ou de outros satélites de menor produção, permitindo inclusive a realização de testes e, em seguida, realizam o envio do fluido petrolífero acumulado, para uma estação coletora, onde ocorrem as etapas de separação primária das fases.

Na Figura 5 é apresentado um satélite recém construído, sendo interligado aos dutos dos poços e da estação coletora, possibilitando a ampliação da produção petrolífera de campos terrestres em Sergipe.

Figura 5 - Satélite centralizador da produção petrolífera sendo interligado



Fonte: Petrobras, 2016

Segundo Machado (2006, p. 5), após o processo de separação das fases ainda na estação coletora, o petróleo é enquadrado no teor de *Basic Sediment sand Water* (BS&W), que é o percentual de água e sedimentos presente no petróleo, até atingir os limites fixados pelo *American Petroleum Institute* (API). O teor de BS&W é o quociente entre a vazão de água mais os sedimentos que estão sendo produzidos e a vazão total de líquidos sedimentos.

Ainda de acordo com Machado (2006, p. 5), o gás natural produzido junto com o óleo e a água pode ser queimado na própria estação, ou direcionado para um gasoduto e conduzido para uma Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN), onde é especificado e direcionado a um distribuidor para ser comercializado com o consumidor final, que pode ser uma indústria, condomínio, proprietários de veículos, dentre outros.

Continuando com os relatos de Machado (2006, p. 5), parte da água produzida nos poços junto ao petróleo é separada na estação coletora, o restante é bombeado inicialmente pelas tubulações instaladas no interior da estação e em sequência, através de oleodutos juntamente com o petróleo, para a estação de tratamento de óleo. A água extraída é tratada e direcionada por meio de um satélite de injeção, onde é reinjetada nos poços designados, atuando como mantenedora da pressão da jazida, ou descartada através de emissário submarino, atendendo às normas ambientais, que rejeitam o seu despejo a céu aberto.

Na Figura 6 é apresentado um satélite de injeção de água produzida, instalado em um campo petrolífero da Petrobras em Sergipe.

Figura 6 - Satélite de Injeção de água produzida

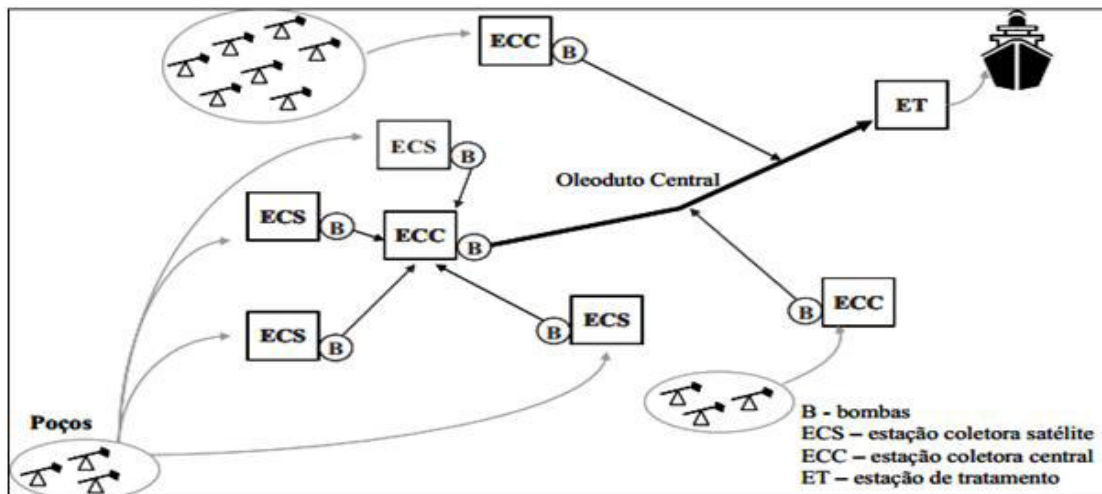


Fonte: Petrobras, 2016

A reutilização da água produzida para a reinjeção como método de recuperação secundária, evita o seu descarte na natureza, ao tempo em que, se houver viabilidade, se têm altos ganhos financeiros por recuperar poços “maduros”, que perderam a sua energia natural. Dessa forma, ganha-se, não poluindo o ambiente e ganha-se recuperando poços viáveis economicamente, com um produto que seria descartado, sem que houvesse outra finalidade (FILHO, 2013, p. 21).

Na Figura 7, conforme descreve Machado (2006, p. 5), segue uma ilustração da configuração típica de um sistema de escoamento de petróleo em campos terrestres e sua possível interligação ao transporte aquaviário. As estações coletoras que recebem produção apenas de poços são denominadas estações coletoras satélites (ECS), enquanto as que recebem, além dos poços, produção de outras estações, são denominadas estações coletoras centrais (ECC).

Figura 7 - Configuração ilustrativa de um sistema terrestre de escoamento de petróleo por meio de dutos



Fonte: Brasileiro (2005 apud MACHADO 2006, p. 6)

De acordo com Rodrigues (2011, p. 38), nos casos onde a produção petrolífera tiver que ser escoada por grandes distâncias, deve-se considerar como um dos limitantes do projeto da dutovia, a garantia de escoamento.

A garantia de escoamento compreende as atividades relacionadas à previsão, prevenção, mitigação e remoção dos depósitos orgânicos (parafinas, hidratos, asfaltenos e naftenatos), inorgânicos (incrustações) e de outros fenômenos, tais como corrosão, produção de areia, formação de emulsões e espuma e intermitência severa, que podem diminuir ou interromper a capacidade de escoamento de um sistema de produção Spinelli (2010 apud RODRIGUES, 2011, p. 38).

2.5 Incrustação Inorgânica em Dutos de Transporte de Petróleo

De acordo com Marques (2006) *et al.* apud Moreira (2006, p. 6), incrustações podem ser definidas como compostos químicos de natureza inorgânica, inicialmente insolúvel em soluções salinas, e que precipitam podendo acumular nos diversos elementos do sistema petrolífero.

De acordo com Arai; Duarte (2010, p. 2), as incrustações inorgânicas, também conhecidas pelo termo *scale* em inglês, são formadas por sais de baixa solubilidade em água, que, quando precipitam, podem aglomerar-se em diferentes pontos do sistema de produção, causando perda parcial ou até mesmo total da vazão das tubulações ou dutos de produção, conforme mostra a Figura 8, acarretando em elevados custos operacionais empregados na intervenção e limpeza de todo o sistema ou da parte acometida.

Figura 8 - Tubulação de petróleo com elevado grau de incrustação



Fonte:Gomes; Costa (2009 apud ARAI; DUARTE, 2010, p. 2)

Ainda de acordo com Arai; Duarte (2010, p. 3), a solubilidade do sal, ou seja, a capacidade que um dado solvente tem de dissolvê-lo é de extrema importância para o conhecimento do potencial de incrustação, já que a deposição de sais inorgânicos só ocorrerá em salmouras cuja solubilidade é baixa para alguma espécie de sal. Alguns sais são poucos solúveis em água, como é o caso dos sulfatos de bário e estrôncio. Já no caso do carbonato de cálcio, a solubilidade depende fortemente das variáveis termodinâmicas temperatura, pressão, concentração e pH.

Vidal (2015, p. 3), relata que as incrustações podem ocorrer na formação, no canhoneado, no anular de telas de contenção de areia (*gravel pack*), nas colunas de produção, nos equipamentos de subsuperfície (válvulas e bombas), de superfície (vasos separadores, tanques, bombas, etc.), nos sistemas de reinjeção de água e nos dutos de transporte.

Na Figura 9 são apresentadas incrustações aderidas em alguns dos elementos do sistema de produção e transporte de petróleo em campos terrestres: A - Tela de *gravel pack*; B - Coluna de produção e; C - Duto de transporte.

Figura 9 - Elementos do sistema de produção e transporte de petróleo com incrustação inorgânica



Fonte: Adaptada de Rosa (2007, p. 2)

Conforme relatos de Arai; Duarte (2010, p. 6), uma das principais causas de incrustação são as reações químicas decorrentes da mistura de águas quimicamente incompatíveis entre si, resultante da reinjeção de água produzida no incremento da produção do reservatório.

De acordo com Arai; Duarte (2010, p. 6-7), além da reação química decorrente de águas incompatíveis, as incrustações inorgânicas em sistemas petrolíferos podem ter as demais seguintes causas:

- Uma fração de gás dissolvido (CO_2 , por exemplo) se separa da fase óleo/água na pressão de bolha, durante o fluxo ascendente dos fluidos desde

o reservatório. Como consequência disso o sistema se desloca para um novo ponto de equilíbrio (mudança de pH) mediante a precipitação de sais supersaturados na fase aquosa;

- Evaporação de água;
- Reações químicas microbiológicas: no qual as bactérias sulfato-redutoras liberam o gás sulfídrico como resultado de sua metabolização. Este gás ataca os equipamentos e produzem a deposição de sulfeto de ferro;
- Troca catiônica entre os cátions da água de injeção e os cátions das argilas. Neste caso, a água se tornará rica em cálcio, resultando na precipitação de carbonato ou, eventualmente, sulfato de cálcio.

2.5.1 Tipos de incrustação inorgânica mais comuns em sistemas petrolíferos e suas respectivas causas

De acordo com Soares (2014, p. 7), dentre os diversos tipos de incrustação inorgânica presentes nos sistemas petrolíferos, os mais comuns são: os de sulfatos de cálcio (CaSO_4), bário (BaSO_4) e estrôncio (SrSO_4) e, os carbonatos de cálcio (CaCO_3) e ferro (FeCO_3).

No Quadro 1, estão listados os principais tipos de incrustações inorgânicas associados aos sistemas petrolíferos, classificadas por tipo de solvente e no Quadro 2 são apresentados os coeficientes de solubilidade das principais incrustações.

Quadro 1 - Incrustações mais comuns nos campos de petróleo

Tipo de Incrustante	Fórmula Química	Nome de Mineral
Depósito solúvel em água		
Cloreto de Sódio	NaCl	Halita
Depósito solúvel em ácido		
Carbonato de Cálcio	CaCO_3	Carbonato de Cálcio
Carbonato de Ferro	FeCO_3	Siderita
Sulfeto de Ferro	FeS	Trolita
Óxido de Ferro	Fe_3O_4	Magnetita
Hidróxido de Magnésio	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Brucita
Depósito insolúvel em ácido		
Sulfato de Cálcio	CaSO_4	Anidrita
Sulfato de Bário	BaSO_4	Barita
Sulfato de Estrôncio	SrSO_4	Celestita
Sulfato de Bário Estrôncio	$\text{BaSr}(\text{SO}_4)_2$	Sulfato de Bário Estrôncio

Fonte: Adaptado de Beserra (2012 apud SOARES, 2014, p. 13)

Quadro 2 - Solubilidade das principais incrustações em água pura a 25° C

Incrustação	mg/L
BaSO ₄	2,3
CaCO ₃	53
SrSO ₄	114
CaSO ₄	2000

Adaptado de Beserra (2012 apud SOARES, 2014, p. 13)

Conforme descrito por Bezerra (2012) apud Soares (2014, p. 12), nos Quadros 1 e 2, fica evidente que os sulfatos não são solúveis em soluções ácidas e dentre eles o sulfato de bário é o que apresenta o menor índice de solubilidade em condições normais de temperatura e pressão o que remete a concluir que se trata de composto inorgânico com maior probabilidade de precipitar.

De acordo com Mackay; Sorbie (1999) apud Lima (2010, p. 9-10), uma das principais causas de incrustação inorgânica na indústria do petróleo são as reações químicas decorrentes da mistura de águas quimicamente incompatíveis entre si, sob condições físicas favoráveis. A água da formação encontra-se inicialmente em equilíbrio químico com a rocha e com os hidrocarbonetos presentes. Ao se injetar outra água não nativa, estranha ao reservatório, isto é, sem estar em equilíbrio químico com o referido ambiente, surgem as diversas reações que contribuem para a formação de depósitos inorgânicos.

De acordo com Thomas (2004) apud Lima (2010, p. 10), a água de injeção utilizada para manter a pressão do reservatório ou formação petrolífera, pode ter as seguintes origens:

- Água subterrânea, coletada em mananciais de subsuperfície por meio de poços perfurados para este fim;
- Água de superfície, coletada em rios, lagos etc.;
- Água do mar;
- Água produzida (água que vem junto ao óleo no poço produtor).

De acordo com Rosário; Beserra (2001) apud Lima (2010, p. 10), considerando a água produzida ou água do mar (ricas em sulfatos) na reinjeção em reservatórios, devido a ampla disponibilidade e abundância, e ao misturá-la com a água da formação que existe naturalmente dentro dos poros da rocha reservatório (rica em íons de bário e estrôncio), resultando em um sistema supersaturado, ocorrendo assim a precipitação e incrustação de sulfato de bário e/ou estrôncio.

Conforme Silva (2007) apud Lima (2010, p. 14), as incrustações por carbonatos apresentam mecanismo diferente, que envolve o desequilíbrio termodinâmico entre o dióxido de carbono (CO_2) e o bicarbonato (HCO_3), reduzindo o CO_2 e produzindo a desestabilização do carbonato de cálcio, formando a incrustação.

2.5.2 Mecanismos de cristalização e incrustação de sais inorgânicos

De acordo com Silva (2012, p. 60), termodinamicamente, a precipitação de sais se torna possível quando o produto das atividades dos íons em solução está acima do limite de solubilidade do sal e a solução está supersaturada. Além desta condição termodinâmica, a cinética da precipitação também é determinante na severidade da incrustação. Assim, os mecanismos da cristalização e formação de incrustação requerem a ocorrência de três fatores simultâneos: supersaturação, nucleação e tempo de contato para o crescimento dos cristais.

Conforme Vidal (2015, p. 4), uma solução é dita saturada se está em equilíbrio com os compostos dissolvidos. Quando uma solução contém concentrações mais elevadas de compostos dissolvidos que a concentração de equilíbrio, ocorre supersaturação.

Silva (2012, p. 61), descreve que uma solução supersaturada, como a que contém uma quantidade de soluto dissolvido maior que a da respectiva solução saturada, nas mesmas condições de temperatura, pressão e agitação. Além da pressão, temperatura, pH e agitação, contribuem para a supersaturação de uma solução, fatores como evaporação, concentração e incompatibilidade entre águas.

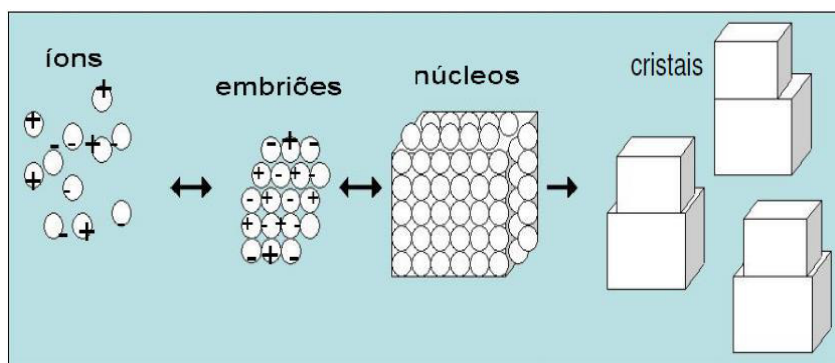
Silva (2012, p. 61), destaca ainda, que a termodinâmica relacionada à supersaturação é a força motriz primária da formação de uma nova fase através da precipitação de substâncias dissolvidas, a qual envolve duas etapas distintas: nucleação e crescimento dos cristais.

A nucleação, de acordo com Silva (2012, p. 61), é o mecanismo de formação inicial de precipitados ou cristais inorgânicos. Quando a supersaturação excede o valor crítico, em solução homogênea, a nucleação começa pela associação ocasional de moléculas do soluto, provocadas pelo movimento aleatório das moléculas na solução. Moléculas adicionais juntam-se ao pequeno aglomerado, que começam a assumir um espaçamento regular e a formar uma nova fase ou embrião.

Segundo Vidal (2015, p. 5), com o aumento da supersaturação e a adição de maior número de moléculas, ocorre o crescimento e estabilização do embrião formando o núcleo do cristal, que depende das condições de operação (temperatura, supersaturação, irregularidades, entre outros). Se um determinado grupo de embriões não atinge a estabilidade necessária ele se dissolve.

Na Figura 10 são apresentados os estágios da formação de cristais inorgânicos.

Figura 10 – Estágios da cristalização



Darton (1997 apud SILVA, 2012, p. 61)

Ainda de acordo com Vidal (2015, p. 5), mesmo que ocorra a cristalização num sistema supersaturado, pode ser que não haja a formação de incrustações, pois para que ocorra a adesão do depósito inorgânico nas paredes de um duto petrolífero por exemplo, se faz necessário que haja tempo de contato suficiente para que ocorra o crescimento dos cristais e esse tempo depende grau de supersaturação, tipo de mineral, temperatura, pressão e agitação.

2.5.3 Prevenção e controle dos processos incrustantes

De acordo com Salvador (2010, p. 117), a solução no controle e prevenção dos processos incrustantes passa pelo estudo de como ocorrem estes processos. Para isso se faz necessário, analisar o potencial incrustante dos sais presentes no meio, bem como conhecer as variáveis operacionais envolvidas.

Ainda de acordo com Salvador (2010, p. 11-12), controlar a supersaturação é de suma importância na prevenção da incrustação e, para tanto, é preciso atentar para alguns procedimentos, tais como:

- a) Controle das condições - O desequilíbrio químico provocado pelas mudanças termodinâmicas (pH, pressão, temperatura, composição, agitação),

bem como a mistura de poços com diferentes composições de água produzida farão com que espécies insolúveis (CaCO_3 , CaSO_4 , SrSO_4 , BaSO_4) apareçam potencializando a precipitação. Conhecendo o potencial de formação de incrustação (termodinâmico) torna-se possível determinar a massa a precipitar na mistura de águas incompatíveis. Desta forma, o controle da ocorrência de incrustações pode ser realizado, pois será possível identificar os poços mais críticos e aplicar os tratamentos corretivos e preventivos mais adequados;

b) Remoção de elementos potencialmente incrustantes - Em campos de petróleo com grande potencial de precipitação de sais de bário ou estrôncio, causada pela mistura da água de injeção com a água existente na formação (mistura de águas incompatíveis), uma opção bastante empregada é a instalação de membranas para remoção de sulfato da água do mar. Essas membranas são seletivas deixando passar íons menores (Na^+ , Cl^- , etc.) e retendo os maiores (Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^-), prevenindo desta forma a formação de incrustações de sais de sulfato;

c) Aplicação de inibidores de incrustação - Os inibidores são produtos químicos bastante utilizados em campos terrestres de produção de petróleo. Interferem na formação de incrustações, podendo agir na precipitação, impedindo completamente ou reduzindo a extensão deste fenômeno. O mecanismo de atuação destes produtos é determinado pela natureza química, bem como, pelas propriedades da solução a ser tratada. As classes químicas dos inibidores mais utilizados na indústria do petróleo são os polímeros, fosfonatos, e mais recentemente os poliaminoácidos e polissacarídeos carboxilados, que apresentam caráter menos agressivo ao meio ambiente. As classes químicas contendo grupos funcionais diferentes, molécula com peso molecular e constantes de equilíbrio específicos fazem com que cada produto tenha um desempenho único em soluções com diferentes atividades iônicas, saturações e pH.

2.5.4 Impactos das incrustações no escoamento da produção petrolífera por meio de dutos

Soares (2014, p. 11), a atividade da exploração de petróleo por si só já representa um negócio de risco elevado, principalmente quando se trata da extração em águas profundas. Além disso, quando uma rede de dutos de transporte é obstruída por consequência de incrustações formadas durante a atividade produtiva do poço, aumentam de forma considerável os prejuízos realizados pela diminuição da produção que havia sido projetada.

De acordo com Arai; Duarte (2010, p. 1), a formação de depósitos inorgânicos em dutos, bombas, válvulas, dentre outros elementos, utilizados na produção de petróleo ou gás, resulta em vários problemas técnicos (restrição e/ou interrupção do escoamento, necessitando intervenções de manutenção), econômicos (custos provocados pelas perdas de produção e interrupções do escoamento) e ambientais (contaminação do solo, vegetação e intoxicação de animais devido aos vazamentos causados pelo excesso de pressão nos dutos). São responsáveis inclusive por representar risco ao clima organizacional, devido aos transtornos criados na rotina operacional, o que eleva o nível de tensão e desgaste dos profissionais envolvidos na operacionalização do sistema de escoamento.

Para os casos onde a produção petrolífera tiver que ser escoada por grandes distâncias e, portanto, em grandes volumes, de acordo com Rodrigues (2011, p. 38), deve-se considerar a garantia de escoamento como um dos limitantes do projeto de uma dutovia, já que a redução do fluxo e/ou a interrupção da carga transportada causará impactos em toda cadeia logística podendo inclusive vir a causar desabastecimento.

Almeida *et al.* (2013, p. 8), apontam que o impacto econômico causado pela incrustação é enorme, chegando a mais de 1,4 bilhões de dólares todo ano, podendo aumentar de acordo com a qualidade do petróleo e das condições de operação.

2.5.5 Utilização de inibidores químicos de incrustação inorgânica

A indústria petrolífera, em face ao desafio de vencer o duelo contra às incrustações inorgânicas e contribuir para a garantia do escoamento, vem buscando o desenvolvimento de inibidores químicos cada vez mais adequados às diversas necessidades.

De acordo com Rosa *et al.* (2015, p. 515), atualmente, o uso destes elementos, é considerado relativamente dispendioso, entretanto, levando-se em consideração

todos os custos e as perdas de produção oriundas da redução interrupção do escoamento devido à incrustação, é possível observar que há significativa vantagem econômica envolvida.”

Os tratamentos de inibição devem ser planejados e geridos adequadamente, de forma a se evitar a sub ou superdosagem.

A superdosagem pode causar precipitações, biocolmatação e complexos formados com íons de dureza, considerando o carbono orgânico presente como fonte de alimentação aos micro-organismos. Além disso, a superdosagem representa desperdício ou custos adicionais sem necessidade, já que não melhora o desempenho do produto. Neste sentido, alguns fornecedores informam aos seus clientes sobre a importância de utilizar um software de otimização de dosagem para controlar o limite superior de saturação de agentes colmatantes com anti-incrustantes (SILVA, 2012, p. 99).

Quanto à atuação, existe uma grande variedade de inibidores químicos. A seguir são descritas três dessas possibilidades:

- 1- Interferindo com o processo de nucleação: este tipo de produto difunde no líquido para atingir aglomerados de íons. Os íons do inibidor são suficientemente grandes em tamanho e são capazes de perturbar a incrustação e impedir o crescimento do tamanho crítico onde cristais iriam se formar. Quando cristais são impedidos de formarem incrustação não ocorrerá. Estes íons de inibidor de nucleação têm que ser de um tamanho crítico e capaz de se difundir em água a uma taxa aceitável;
- 2- Interferindo com o crescimento do cristal: o crescimento de cristais ocorre em sítios ativos que ocupam uma pequena percentagem das superfícies de cristal. Os inibidores que interferem no crescimento de cristais têm uma forte afinidade para esses locais ativos e são capazes de se difundir sobre uma superfície a outros locais ativos. Para fazer isso, esses produtos devem ser pequenos, mas também grandes o suficiente para não serem absorvidos pelo crescimento dos cristais;
- 3- Modificando superfícies cristalinas: moléculas que não são nem nucleação nem modificadores de crescimento de cristais são capazes de absorver a superfícies de cristal e impedir fixação de outros cristais. Isto é similar à ação de dispersantes sobre depósitos orgânicos (VIDAL, 2015, p. 20-21).

O uso de técnicas de inibição química pode variar desde métodos de diluição de fácil manipulação, até os mais avançados como inibidores de baixa dosagem (*threshold*).

Diluição é comumente empregado para controle de precipitação de halita em poços de alta salinidade. A diluição reduz a saturação no poço por estar sempre enviando água a todo o sistema de produção, inclusive para dentro da formação, e este é o método mais simples utilizado para prevenção de incrustação na coluna de produção. Além da diluição, existem milhares de inibidores para diversas aplicações. A maioria destes bloqueia o crescimento da incrustação por meio de envenenamento do núcleo. Alguns inibidores têm ação quelante ou

mantém os reagentes numa forma solúvel. Esses inibidores possuem agentes complexantes que bloqueiam a precipitação ou o crescimento da incrustação, mas apenas por certo limite de supersaturação. Como os agentes quelantes consomem os íons de incrustação em proporção estequiométrica, a eficiência e o custo-benefício são baixos (ARAI; DUARTE 2010, p. 25).

Ainda de acordo com Arai; Duarte (2010, p. 25), por outro lado, os inibidores do tipo modificadores de superfície (*threshold* ou de baixa dosagem) interagem quimicamente com os locais de nucleação dos cristais reduzindo substancialmente suas taxas de crescimento. Inibidores *threshold* inibem efetivamente a formação de incrustação mineral a concentrações da ordem de 1000 vezes menor que a razão de balanço estequiométrico. Isto reduz consideravelmente o custo do tratamento, o que o torna o método mais utilizado.

Conforme relata Rosa *et al.* (2015, p. 515), os inibidores de incrustação podem pertencer às diversas classes químicas e apresentar diferentes mecanismos de inibição, podendo atuar, principalmente, por quelação ou modificação dos cristais.

Um inibidor com propriedades quelantes realiza uma ligação de complexação com o cátion que forma a incrustação e, deste modo, o cátion permanece complexado no inibidor em solução e, portanto, não disponível para a formar uma incrustação. Já na modificação do crescimento de cristais, o inibidor forma uma ligação no sítio ativo de crescimento dos cristais, impedindo o crescimento ordenado e alterando a forma dos cristais que, assim, tendem a não se aderir sobre as superfícies, permanecendo dispersos na fase líquida (ROSA *et al.* 2015, p. 515).

Os inibidores atuam através de dois mecanismos diferentes, um deles impede a nucleação e o outro impede o crescimento dos cristais de matéria inorgânica. Os inibidores de massa molecular mais baixa são mais eficientes na inibição da nucleação pela maior facilidade de adsorção na estrutura dos núcleos. Ao passo que os de massa molecular mais alta são mais eficientes na inibição do crescimento devido à maior área recoberta dos cristais pela adsorção do inibidor, o que faz diminuir o número de sítios de crescimento.

Vidal (2015, p. 21-22), descreve que, quanto ao tipo, os inibidores de incrustação podem ser divididos em três grupos diferentes:

- 1) Ésteres de fosfato - geralmente eficaz em dosagens baixas em todos os tipos de incrustação de níveis elevados de salmoura. A desvantagem deste grupo é a limitação de temperatura (98°C). Acima destas temperaturas, a hidrólise do éster começa a fazer com que a ligação carbono-oxigênio seja

quebrada. Se isto ocorre, o produto perde a sua eficácia e a precipitação de ortofosfatos pode ocorrer. São de um modo geral a classe de inibidor de incrustações menos caros e têm sido utilizados no campo por muitos anos. Geralmente demonstram mecanismo de inibição de nucleação. Eles são também facilmente controlados e dão bons resultados em tratamentos caracterizados por adsorção forte e injeção contínua;

2) Fosfonatos - Estes produtos têm larga aplicação em operações de petróleo e gás e são geralmente estáveis até cerca de 160°C. Alguns fosfonatos têm uma tendência de precipitar a pH elevado na presença de elevados níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Isto também depende da temperatura, pH, concentração de fosfonato, e a concentração de cátions divalentes, tais como Ca^{2+} . Fosfonatos especiais foram projetados para eliminar este problema. Assim como os inibidores citados acima, demonstram mecanismos de inibição de nucleação. Eles são também facilmente controlados e dão bons resultados em tratamentos caracterizados por adsorção forte e injeção contínua;

3) Polímeros - Há um certo número de inibidores poliméricos produzidos sobre acrilatos, metacrilatos, maleatos, sulfonatos de vinilo e copolímeros destes. O fósforo é muitas vezes incluído na estrutura do polímero e pode simplificar a determinação da concentração de polímero (através de resíduos) em solução. Os polímeros têm normalmente a maior estabilidade térmica de inibidores e tipicamente funcionarão eficazmente a temperaturas elevadas. Semelhante ao fosfonato, polímeros são prejudicados na presença da precipitação de sais de cálcio e de magnésio. A desvantagem está no maior dispêndio destes produtos embora sejam de mais fácil monitoramento. O mecanismo de inibição dos polímeros é principalmente a modificação do crescimento cristalino. Polímeros proporcionam proteção contra a maioria dos tipos de escalas com exceção de pobre desempenho contra o carbonato de cálcio. Considerando isso, polímeros são raramente aplicados para tratar apenas incrustações de carbonato de cálcio. Características de alta termoestabilidade fazem polímeros mais úteis do que a maioria dos fosfonatos em condições de temperatura maiores que 120°C. Melhores propriedades ambientais dos polímeros também os tornam os candidatos preferenciais para uma maior utilização. Infelizmente polímeros tendem a ser difícil de monitorar e muito mais caro do que fosfonatos.

2.5.6 Utilização de PIG raspador na limpeza mecânica de dutos de transporte de petróleo

Diaz (2008, p. 15), a origem do nome PIG que significa porco em inglês, nunca foi satisfatoriamente explicada. A versão mais aceita é a de que o som produzido pelos antigos *pigs* quando lançados nos dutos e sua aparência quando da sua retirada, se assemelhavam de várias formas aos porcos dentro de um chiqueiro.

Segundo Moraes (2014, p. 1865), PIG é uma denominação genérica dos dispositivos que passam pelo interior dos dutos, impulsionados pelo fluido transportado ou eventualmente por um sistema tracionador, sendo conforme a finalidade: separador, raspador, calibrador, de limpeza interna, de remoção de fluidos, de inspeção, de mapeamento, de verificação do perfil de pressão e temperatura, entre outros.

Segundo Diaz (2008, p. 15), a história com relação ao uso de *pigs* é um tanto quanto incerta. Estima-se que a primeira utilização desta técnica em dutos de petróleo aconteceu por volta do ano de 1870.

Com o advento da produção petrolífera, de acordo com Diaz (2008, p.19), percebeu-se que após algum tempo do início do transporte do fluido, a vazão dos dutos começava a decrescer e a pressão nas bombas a aumentar, indicando que depósitos estariam se formando nas paredes dos condutos do sistema de escoamento. Muitos artifícios foram testados para remover depósitos, mas por um longo tempo eles não surtiram efeito. Surgiu a ideia de se bombear algo por dentro do duto, como um feixe de trapos, e os resultados foram positivos. Mais tarde, os trapos foram substituídos por couro.

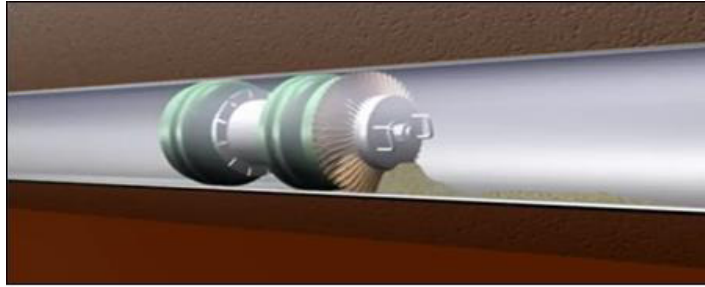
A partir daí vários outros objetos, de diversas formas e materiais, começaram a ser lançados experimentalmente com o intuito de verificar a causa de restrições na vazão dos dutos, entre os utensílios lançados há relatos de bola de borracha, toras de madeira, entre outros.

De acordo com Sarti *et al.* (2011, p. 6), a técnica de utilização dos *pigs* é considerada, atualmente, o procedimento mais seguro e mais utilizado nas indústrias, em especial, a indústria petrolífera. Diversas tecnologias rodeiam o procedimento com PIG, dessa maneira, encontra-se dificuldade na hora de categorizar essas tecnologias

em classes, devido, principalmente, a falta de acervo técnico disponibilizado abertamente.

Esse dispositivo tem geometria e estrutura física que varia de acordo com a função que ele irá exercer, há vários tipos de PIG com diversas finalidades. A Figura 11 mostra uma simulação de um PIG de limpeza se deslocando em um duto terrestre

Figura 11 - PIG de limpeza se deslocando em um duto terrestre - simulação



Fonte: Produção do autor, 2016

Na Figura 12 é mostrado o procedimento de lançamento de um PIG de limpeza em um duto de petróleo: À esquerda é mostrado o operador inserindo o PIG, já na imagem da direita é mostrado o PIG em uma bacia de contenção, após seu deslocamento no interior do duto petrolífero.

Figura 12 - Inserção e retirada do PIG após atravessar e limpar um duto



Fonte: Produção do autor, 2016

Retomando os relatos de Diaz (2008, p. 15), o desenvolvimento e aprimoramento dos diversos tipos de *pigs* é um processo contínuo e se mantém até o presente momento. Até 2008, já existiam registros de mais de 350 tipos diferentes para as diversas necessidades e demandas das operadoras de dutos.

Os *pigs* de limpeza tendem a ser os mais simples, feitos geralmente de material polimérico. Esse tipo de PIG deve ser utilizado apenas em tubulações industriais de diâmetro constante e fabricadas em material não metálico. Existem, porém,

tecnologias que permitem a limpeza de tubulações de diferentes tamanhos, sendo adaptável à diferença de circunferência presente em algumas tubulações, são os chamados *Multi-Size* PIG, ou *Dual* PIG. Este PIG, por ser dotado de escovas metálicas só pode ser aplicado em dutos de aço, conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13 - PIG Multi-Size WCK3



Fonte: Souza (2003, p.15)

Entretanto os PIG são utilizados para outras funções além de limpeza de tubulações. Os *pigs* também são utilizados no tratamento de tubulações, no monitoramento, na inspeção de falhas e corrosão, entre outras funções, algumas bastante complexas, como o tratamento de incrustações que é a função do PIG que iremos discutir no decorrer desse trabalho.

De acordo com Souza (2003, p. 16), no combate às incrustações utilizam-se os *pigs* instrumentados, eles são as únicas ferramentas eficientes para a inspeção geral de dutos com longa extensão que transportam óleo e seus derivados. Esse método de inspeção, não implica no comprometimento da continuidade operacional do duto.

As principais vantagens do seu uso são localizar e possibilitar o reparo e realizar o acompanhamento da evolução dos defeitos nos dutos. Isto representa uma ação preventiva quanto a evitar perdas por vazamentos e também quanto a impactos ambientais.

Desde sua primeira utilização industrial na Petrobras em 1984, seus técnicos identificaram a necessidade de desenvolver e nacionalizar esta tecnologia. A Petrobrás possui mais de 8 mil km de dutos e está incorporando novas instalações desde a década de 90. Considerando o volume de linhas a serem inspecionadas e que os custos de inspeção estão acima de US\$ 2500/Km, concluiu-se que os benefícios resultantes do controle desta tecnologia são evidentes principalmente quanto aos aspectos econômicos e a disponibilidade do equipamento em âmbito nacional evitando as morosas e dispendiosas contratações, 2006, p. 32).

A empresa Tuboscope foi pioneira no desenvolvimento de um PIG baseado na fuga de campo magnético (MFL - *Magnetic Flux Leakage*) em 1964. No trabalho de Souza (2003, p. 11), encontra-se um breve histórico do desenvolvimento dos principais tipos de *pigs* instrumentados:

- 1964 - A Tuboscope apresenta o primeiro PIG do tipo MFL para inspecionar a parte inferior de dutos;
- 1966 - A Tuboscope constrói o primeiro PIG do tipo MFL capaz de inspecionar toda a circunferência de um duto;
- 1971 - Outras empresas introduzem no mercado o PIG do tipo MFL de baixa resolução;
- 1978 - A *British Gas* desenvolve o primeiro PIG de alta resolução;
- 1986 - Primeiro PIG ultra-sônico para linha de líquidos;
- 1986 a 1996 - Outras empresas disponibilizam o PIG de alta resolução para o mercado;
- 1992 - Protótipo do PIG ultra-sônico para detecção de trinca;
- 1997 - A empresa *Pipetronix* desenvolve um PIG de detecção de trinca de cabeçote angular;
- 1998 - Primeiro PIG de fluxo magnético transversal;
- 1998 - Protótipo do EMAT (*Electro Magnetic Acoustic Transducers*) PIG ultrassônico sem necessidade de líquido acoplante.

Os diversos tipos de PIG, conforme ilustrado na Figura 14, podem ser construídos de diferentes materiais (espuma, aço, poliuretano, plástico), porém nos casos em que o fluido transportado pelo duto for água potável, geralmente se utiliza o silício *foodgrade*.

Figura 14 - Modelos de PIG de limpeza



Fonte: Souza (2003, p. 15)

Diante do exposto, um plano de passagem de PIG bem planejado, com base no histórico fidedigno das condições e variáveis do processo, possibilita ganhos significativos por evitar acúmulo de resíduos ao aplicar *pigs* de limpeza e viabiliza inspeções da superfície interna dos dutos ou tubulações por meio de *pigs* instrumentados.

A aplicação de *pigs* de limpeza e de inspeção no momento ideal evitam perdas por restrição do fluxo podendo inclusive ocasionar paradas de produção, aumentando a vida útil dos condutos o que traz benefícios ambientais e financeiros. Ambientais por que reduz a quantidade de dutos, tubulações, equipamentos e acessórios descartados. E financeiros, por que evita a parada ou redução da produção.

3 METODOLOGIA

Esta seção objetiva discorrer todo o arcabouço metodológico que permeou a elaboração e o desenvolvimento da pesquisa.

Segundo Houaiss (2009, p. 1991), metodologia “[...] é o ramo da lógica que se ocupa dos métodos de diferentes ciências.”

De acordo com Ubirajara (2014, p. 125), na metodologia, são utilizadas ferramentas como técnicas, instrumentos, métodos e procedimentos que auxiliam a resolução dos problemas que foram indicados após discussões e análise de dados coletados dos entrevistados baseado em citações de vários autores que foram apontados no andamento do relatório.

3.1 Abordagem Metodológica

Conforme descrito em Lakatos; Marconi (2009, p. 223),

[...] método é caracterizado por uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado, dos fenômenos da natureza e da sociedade. É, portanto, denominado método de abordagem, que engloba o indutivo, o dedutivo, o hipotético e o dialético.

Com base no que descreve Ubirajara (2014, p. 10), o método científico utilizado, enquanto modelo de abordagem do trabalho, foi o do estudo de caso, por se tratar de um estudo realizado em um local e sobre um problema particular.

O referido estudo foi desenvolvido, em uma empresa do ramo petrolífero, mais precisamente, em uma unidade integrante de seu ativo de produção terrestre de Sergipe e tratou de um problema peculiar ao transporte de petróleo por meio de dutos, a aplicação de técnicas de combate às incrustações inorgânicas.

Ao longo do tempo, esta modalidade de pesquisa foi julgada como um método pouco rígido, e que somente poderia ser utilizado em estudos e pesquisas exploratórias.

Conforme descreve Yin (2015, p. 36), nos dias atuais é encarada como o delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo

dentro do seu contexto real, onde os limites entre fenômeno e o contexto não são claramente percebidos.

3.2 Caracterização da Pesquisa

Para Gil (2010, p. 1), pesquisa define-se “[...] como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos.”

Um conjunto de procedimentos que permite a distinção entre aparência e essência dos fenômenos menos perceptíveis pela inteligência humana. As peculiaridades de seu método diferenciam a ciência das muitas formas de conhecimento humano. (MEDEIROS, 2010, p. 29)

Uma pesquisa é desenvolvida ao longo de um período onde as etapas que envolvem várias fases, que vão da adequada formulação do problema a ser pesquisado até a definição e exposição dos resultados encontrados.

A adequada escolha do método a ser utilizado na pesquisa é fundamental, já que servirá como elemento norteador ao pesquisador durante a etapa de planejamento e no momento da análise dos dados coletados. A definição do método é decisiva para que a pesquisa passe a ter um caráter científico, e nessa perspectiva, Medeiros (2010, p. 30), afirma que, só é considerada pesquisa científica “[...] se sua realização for objeto de investigação planejada, desenvolvida e redigida conforme normas metodológicas consagradas pela ciência. ”

Logo, o método científico pode ser definido como um conjunto de etapas planejadamente arquitetadas e que são implementadas no curso do processo de investigação do fenômeno que se destina a estudar. Nessa concepção pode-se classificar pesquisa, da seguinte forma: quanto aos seus objetivos ou fins, quanto ao objeto ou meios e, quanto ao tratamento dos dados.

3.2.1 Quanto aos objetivos ou fins

De acordo com o apontado em Gil (2010, p. 27), “[...] a pesquisa tem seus objetivos, que tendem, naturalmente, a ser diferentes dos objetivos de qualquer outra.”

Já quanto aos objetivos ou fins, a pesquisa pode ser classificada como: exploratórias, descritivas e explicativas.

Conforme Gil (2010, p. 27), a pesquisa exploratória tem por objetivo:

[...] proporcionar maior familiaridade com problemas, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado.

É possível afirmar, de acordo com Gil (2010, p. 27), no que diz respeito aos estudos acadêmicos, que ao menos em um dado momento, a pesquisa tem como principal característica o caráter exploratório, já que não se tem uma percepção clara no que exatamente irá ser investigado.

Ainda de acordo com Gil (2010, p. 27), as pesquisas descritivas têm por finalidade “[...] identificar possíveis relações entre variáveis [...]”, buscando entender, de maneira mais aprofundada e dar sentido, para as relações dentro do tema pesquisado. Basicamente, consiste na coleta de dados através de um levantamento.

As pesquisas de caráter explicativo, para Gil (2010, p. 28), tem como propósito: “[...] identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Estas pesquisas são as que mais aprofundam o conhecimento da realidade, pois têm como finalidade explicar a razão, o porquê das coisas.

Desta forma, esta pesquisa quanto aos objetivos ou fins, possui caráter explicativo, por possuir base na utilização de métodos científicos, conforme define Medeiros (2010, p. 30), que caracteriza a pesquisa científica “[...] procedimento racional e sistemático que objetiva alcançar respostas para problemas que o pesquisador se coloca. ”

3.2.2 quanto ao objeto ou meios

Gil (2010, p. 29), descreve que, quanto aos meios, este pode ser delineado em 13 tipos de pesquisas, sendo algumas delas: Pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, levantamento de campo, estudo de caso, dentre outras citadas pelo mesmo.

Para Ubirajara (2014, p. 49), a pesquisa bibliográfica é realizada baseada em dados formados anteriormente, podendo estas fontes de dados ser artigos, livros e periódicos. Esta afirmação é complementada por Medeiros (2010, p. 36), quando descreve que esse tipo de pesquisa “[...] significa o levantamento da bibliografia referente ao assunto que se deseja estudar.”

Quanto à forma documental, Gil (2010, p. 30), informa que esta é utilizada em todas as ciências sociais e de modo análogo à pesquisa bibliográfica tem como base, a utilização de dados já existentes, sendo que, neste caso, não se limita apenas ao acesso de livros, artigos ou periódicos, mas também se utiliza de matérias diversos como documentação destinada a comunicação, relatórios, boletins e demais documentos.

Segundo Gil (2010, p. 31), para uma diferenciação entre uma fonte documental e bibliográfica, considera-se como sendo uma fonte documental, quando o material consultado é interno à organização. Quando a informação for obtida em consulta em biblioteca ou base de dados, considera-se como sendo uma fonte bibliográfica.

A pesquisa ou levantamento de campo, caracteriza-se pela coleta de dados, feita através das observações no ambiente pesquisado. Segundo Ubirajara (2014, p. 46), esse tipo de pesquisa pode ser de dois tipos: direta, quando se está presente e anota-se o que observa ou indireta, quando os dados são coletados através de questionários, formulários, entrevistas, dentre outros.

Após análise desse vasto portfólio de possibilidades de coleta e utilização de dados, e associando-as aos elementos que compõem a pesquisa, ficou ratificado, o que havia sido previamente idealizado, ou seja, quanto aos objetivos e meios, foram utilizadas pesquisa de campo e a bibliográfica.

A pesquisa de campo, foi desenvolvida em uma das malhas de transporte dutoviário de petróleo, integrante do ativo Sergipe/Terra. Já para o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica, o material de referência (artigos, livros, manuais, catálogos, dissertações, teses) foi obtido no acervo da companhia e em sites especializados no segmento alvo do estudo.

3.2.3 quanto ao tratamento dos dados

De acordo com Ubirajara (2014, p. 128), uma pesquisa realizada com tratamento de dados, pode ser qualitativa, quantitativa ou as duas coisas. De acordo com a quantidade de elementos a pesquisar, pode-se sintetizar os dados, quantitativamente, em números, enquanto que, diante de pequenos universos ou amostras, melhor fazer abordagens em forma de entrevistas ou de observações diretas, realizando-se em seguida o devido registro das descobertas.

Conforme Ubirajara (2014, p. 43), a pesquisa qualitativa é caracterizada por apresentar uma análise de compreensão, de interpretação, do problema ou do fenômeno. Já a pesquisa quantitativa, caracteriza-se por apresentar, dados mensuráveis, perfis estatísticos, com ou sem cruzamentos de variáveis.

Na pesquisa empreendida neste trabalho, embora tenham sido coletados valores de quantidade e periodicidade referentes à aplicação das técnicas de combate às incrustações que acometem os dutos de petróleo do campo terrestre alvo desta análise, a abordagem ou tratamento dos dados da pesquisa, foi qualitativa, já que nos dados quantitativos não foram empregados nenhum tratamento estatístico.

3.3 Instrumentos de Pesquisa

O instrumento de pesquisa é ferramenta essencial para o desenvolvimento do trabalho acadêmico. A análise dos instrumentos mostra-se necessária para que se possa realizar a escolha do mais apropriado mecanismo de coleta de dados em relação ao estudo a ser executado.

De acordo com Ubirajara (2014, p. 118), existem vários meios ou instrumentos de coleta de dados: questionário, entrevista, formulário, observação, entre outros.

Por questionário entende-se um conjunto de questões que são respondidas por escrito pelo pesquisado. Entrevista, por sua vez, pode ser entendida como a técnica que envolve duas pessoas numa situação “face a face” e em que uma delas formula questões e a outra responde. Formulário, por fim, pode ser definido como a técnica de coleta de dados em que o pesquisador formula questões previamente elaboradas e anota as respostas (GIL, 2010, p. 115).

Lakatos; Marconi (2006, p. 190), definem observação como “[...] uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em ver e ouvir, mas também em examinar fatos ou fenômenos que se desejam estudar. ”

Segundo Lakatos; Marconi (2006, p. 191-192), e Gil (2010, p. 111), a observação apresenta as seguintes vantagens e limitações:

- Vantagens: possibilita meios diretos e satisfatórios para estudar uma ampla variedade de fenômenos; propicia a coleta de dados sobre um conjunto de atitudes comportamentais; permite obter dados não contemplados em questionários e entrevistas.

- Limitações: a presença do pesquisador pode provocar alterações no comportamento dos observados; os acontecimentos podem ocorrer simultaneamente, dificultando a coleta dos dados; fatores imprevistos podem interferir na tarefa do pesquisador; algumas informações podem não ser acessíveis ao pesquisador.

Além da observação pessoal ocorrida durante as visitas às instalações da empresa, devido à quantidade insipiente de registros e da pouca disponibilidade de acesso à bibliografia de cunho científico, acerca dos resultados recentes da aplicação das técnicas de combate à incrustação, neste trabalho, foi aplicado como principal instrumento de acesso a esses resultados, uma entrevista.

3.4 Unidade, Universo e Amostra da Pesquisa

Uma unidade de pesquisa corresponde ao local onde a pesquisa foi realizada. Nesse estudo, a unidade de pesquisa foi o ativo Sergipe/Terra, integrante da Unidade de Operações Sergipe/Alagoas (UO-SEAL), a qual, tem sede situada na Avenida 31 de Março, S/Nº, Carmópolis-SE.

De acordo com Vergara (2009, p. 50), apud Ubirajara (2014, p.119), “[...] universo é um conjunto de elementos (empresas, produtos, pessoas, dentre outros elementos) que possuem características que serão objeto de estudo.”

Embora tenha sido possível definir com precisão o número de colaboradores do ativo, em virtude de está em curso um programa de demissão voluntária, associado à chegada de novos colaboradores, o universo do setor pesquisado é de aproximadamente 1200 colaboradores.

3.5 Definição das Variáveis e Indicadores da Pesquisa

Segundo Lakatos; Marconi (2009, p. 139), pode-se definir uma variável como “[...] uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspectos, propriedades [...]”

Entende-se por variável um valor ou uma propriedade (característica), que pode ser medida através de diferentes mecanismos operacionais que permitem verificar a relação/conexão entre estas características ou fatores.

Baseando-se nos objetivos específicos deste trabalho, as variáveis e respectivos indicadores estão apontadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa

Variáveis	Indicadores
Apresentar o trecho da malha de dutos com potencial de incrustar	Detalhamento do trecho da malha de dutos suscetível à incrustação
Apresentar as técnicas de combate às incrustações aplicadas	Detalhamento das técnicas de combate às incrustações, aplicadas no trecho da malha dutoviária suscetível à incrustação
Apresentar os resultados do combate às incrustações	Detalhamento dos resultados obtidos com a aplicação das técnicas de combate às incrustações na malha de dutos analisada

Fonte: Produção do autor, 2016.

3.6 Plano de Registro e Análise dos Dados

A coleta de dados na empresa, ocorreu no período de 04 de abril a 13 de maio de 2016, onde foram realizadas diversas visitas às instalações alvo do estudo (poços, satélite centralizador, faixa de dutos, estação coletora, dentre outros ambientes).

Em seguida, foi realizada a análise do ambiente das informações coletadas durante a pesquisa de campo, associando-as em seguida às demais informações obtidas por meio da entrevista como engenheiro, responsável pela gestão da aplicação de técnicas de combate à incrustação, no campo petrolífero analisado.

E por fim, foi realizada a análise interpretativa dos resultados obtidos, com respaldo no referencial teórico, norteando-se nas premissas determinadas nos objetivos traçados.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

O referido estudo foi realizado em campos de petróleo terrestres de Sergipe, explorados pela Petrobras. Nesta seção serão abordadas as etapas desenvolvidas para se chegar aos resultados deste trabalho acadêmico.

Com este propósito, foram elaboradas as subseções 4.1 até 4.3, onde são apresentados os objetos desse estudo.

4.1 Identificação e Caracterização do Trecho da Malha de Dutos com potencial de Ocorrer Incrustação Inorgânica

Após estudos e diversos diálogos junto à gerência de operações do ativo Sergipe/Terra, foi realizado o detalhamento do trecho da malha de dutos com potencial de ocorrer incrustação, no campo petrolífero analisado, ficando definido como crítico e, portanto, objeto da análise, o trecho da malha de dutos, compreendido entre o satélite-1 e a estação coletora, ou seja, os dutos LC-1 e LC-2, conforme *layout* apresentado na Figura 15.

A definição do trecho com potencial para acumular depósitos inorgânicos, embora não tenha sido pautada em um aporte metodológico específico, foi guiada pelo fato de que já se conhecia de pesquisas anteriores realizadas pela empresa, o tipo predominante de incrustação a ser combatido (o Sulfato de Bário - BaSO₄). Esse tipo de depósito inorgânico é típico de campos onde é aplicado como método de elevação secundária, a injeção de água produzida, assim como o campo petrolífero analisado.

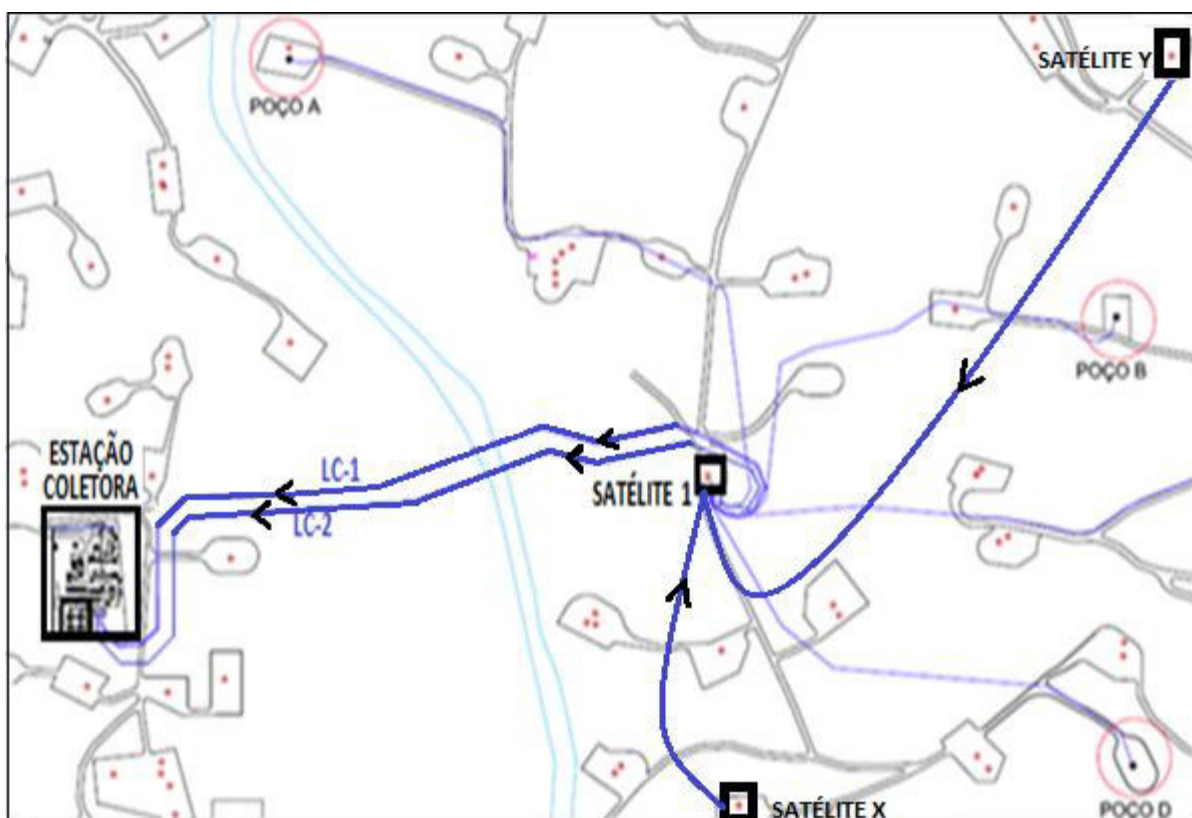
De acordo com Rosário; Beserra (2001) apud Lima (2010, p. 10), considerando a água produzida (rica em sulfato) na reinjeção em reservatórios, ao misturá-la com a água da formação (rica em íons de bário), resulta-se em um sistema supersaturado, ocorrendo assim a precipitação e incrustação de sulfato de bário.

Desta forma, o trecho da malha de dutos definido pelos técnicos da companhia para aplicar as técnicas de combate à incrustação foi o compreendido entre o satélite 1 e estação coletora (dutos LC-1 e LC-2), conforme ilustrado na Figura 15, por ter a

peculiaridade de receber fluido de outros dois satélites (X e Y). A mistura de fluidos petrolíferos de origens diferentes e, principalmente, o contato entre as águas que integram os fluidos petrolíferos de reservatórios diferentes é um dos principais elementos potencializadores da formação de depósitos inorgânicos.

Conforme afirma Lima (2012, p. 9-10), um dos principais causadores da incrustação é a mistura de águas incompatíveis sobre condições físicas favoráveis. A precipitação de sais, principalmente os menos solúveis, como sulfato de bário, decorre do fato de que tais sais se encontram em concentrações superiores ao seu limite de solubilidade na solução. Isso torna a solução supersaturada gerando assim as incrustações inorgânicas *scale*, que ocorrem em tubulações e equipamentos.

Figura 15 - Disposição da malha de dutos analisada



Fonte: Petrobras, adaptada pelo autor, 2016

O trecho da malha de dutos analisado, compreendido entre o satélite 1 e a estação coletora, foi fabricado com tubos especiais revestidos internamente com material de base epóxi, afim de reduzir, não só a adesão de incrustação, já que referido revestimento confere à superfície em que é aplicado uma rugosidade superficial relativamente baixa, mas também a ocorrência de corrosão, fator muito

comum nos antigos dutos de aço-carbono, em virtude da alta salinidade da água que compõe o fluido petrolífero.

4.2 Identificação das Técnicas de Combate às Incrustações em Dutos

Ainda como resultado dos estudos e diálogos interpostos junto à gerência de operações do ativo Sergipe/Terra, ficou definido, que embora existam outras técnicas de combate às incrustações inorgânicas em utilização no campo petrolífero analisado, em decorrência da limitação de tempo para realização da pesquisa e de documentos oficiais do acervo da empresa disponíveis para consulta, foram selecionadas e detalhadas as seguintes técnicas: PIG raspador e inibidor químico de incrustação.

A seguir no Quadro 4, são apresentados os principais dados dos processos de aplicação das técnicas de combate as incrustações, em cada um dos dutos do sistema de transporte de petróleo analisado.

Quadro 4 - Dados de todo o sistema analisado quanto à aplicação das técnicas de combate à incrustação: PIG e inibidor químico

Poço	Produção (m³/dia)	Satélite Centralizador	Dutos de transporte	PIG		INIBIDOR QUÍMICO	
				Aplicação (Qt/Mês)	Especificação	Aplicação (Qt/Mês)	Especificação
A	8,70	1	LC-01	12	Raspador Monolítico	375 litros	Anti-incrustante 20ppm
B	10,80						
C	13,30						
D	17,70						
E	18,20						
F	22,00						
G	22,20						
H	25,90						
I	32,10						
J	49,10						
L	56,90						
M	78,30						
N	82,50						
O	114,30						
P	123,70	LC-02	12	Raspador Monolítico	375 litros	Anti-incrustante 20ppm	
Q	133,30						
R	144,40						
S	181,50						
T	221,40						

Fonte: Produção do autor, 2016

4.2.1 PIG raspador

A passagem de PIG nos dutos LC-1 e LC-2, consiste na introdução do mesmo, na câmara de lançamento do satélite, a qual, após receber o PIG é devidamente fechada, e mediante a alinhamento do fluido petrolífero que é bombeado dos poços

para o satélite 1, recebe pressão suficiente para realizar seu deslocamento, onde durante o percurso, realiza a limpeza “raspagem” das paredes internas dos dutos. A seguir, na Figura 16, apresentada uma foto do PIG raspador utilizado nos dutos do campo petrolífero analisado.

Figura 16 - PIG raspador monolítico, fabricado em poliuretano de alta resistência e flexibilidade, utilizado nos dutos LC-1 e LC-2



Fonte: Produção do autor, 2016

A retirada do PIG junto com todo o material carreado das paredes e do interior do duto é direcionado para a câmara de recebimento, situada na extremidade localizada na estação coletora.

A seguir são apresentadas as Figuras 17 e 18, mostrando respectivamente, o lançamento do PIG através da câmara de lançamento do LC-1, localizada no satélite 01 e, a chegada do PIG na câmara de recebimento da estação coletora.

Figura 17 - Introdução do PIG na câmara do LC-1 localizada no satélite 1

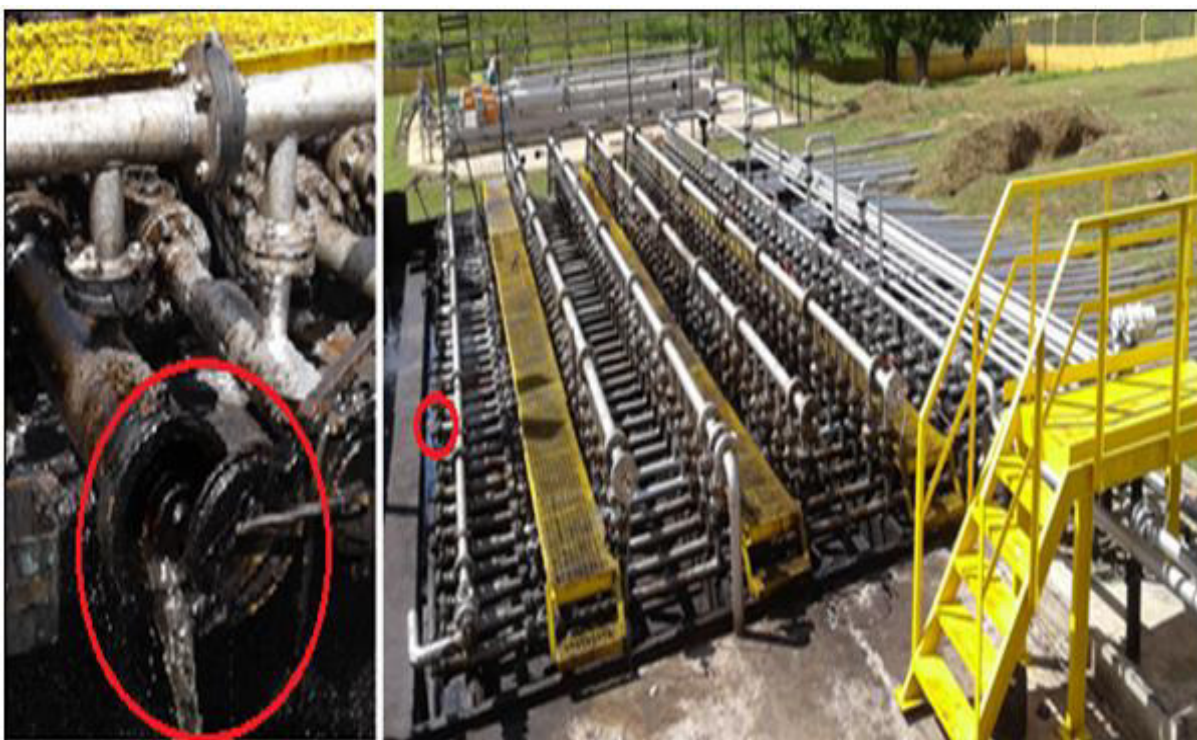


Fonte: Petrobras, adaptada pelo autor, 2016

O material carregado do interior do duto durante o deslocamento do PIG, pode ser confinado e coletado para realização de análises em sua chegada na bacia de contenção da câmara de recebimento de PIG, que fica alocada dentro das instalações da estação coletora, permitindo assim, após análises, identificar a presença dos diversos agentes que compõem o fluido petrolífero transportado, inclusive, os causadores de incrustação.

A seguir, na Figura 18, tem-se uma imagem adaptada, onde, à esquerda, visualiza-se a chegada de um PIG junto com o material carregado do interior do duto, em uma câmara de recebimento. À direita, mostra-se uma visão ampliada do conjunto de câmaras de recebimento de PIG, indicando em vermelho, a câmara de saída do PIG, apresentada na imagem à esquerda.

Figura 18 - PIG chegando na câmara de recebimento do LC-1 dentro da estação coletora



Fonte: Petrobras, adaptada pelo autor, 2016.

4.2.2 Inibidor químico de incrustação

Para evitar a adesão dos precipitados nas paredes dos tubos e equipamentos, a indústria de petróleo tem utilizado formulações conhecidas como inibidores.

Conforme apresentado a seguir na Figura 19, tem-se um conjunto de aplicação de inibidor químico de incrustação inorgânica (circundado em branco). Esse conjunto

é composto de: um tanque de armazenamento, duas bombas dosadoras e de tubos e conexões de aço-inoxidável, por onde se desloca o fluido inibidor, até chegar na tubulação de entrada no satélite (circundado em laranja).

Neste ponto, o agente químico se mistura ao fluido petrolífero oriundo dos diversos poços centralizados no satélite 1, passando a ter contato com as paredes internas da tubulação, iniciando assim, sua ação, que se propaga no interior dos dutos de transporte LC-1 e LC-2, até que a carga deslocada chegue na estação coletora.

Figura 19 - Conjunto de aplicação de inibidor de químico de incrustação inorgânica (circundado em branco)



Fonte: Petrobras, adaptada pelo autor, 2016

Este ponto estratégico de lançamento do inibidor químico foi definido após diversos estudos do corpo técnico do Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES) em conjunto com o corpo de engenheiros responsáveis por operacionalizar e gerir a produção dos campos petrolíferos do ativo Sergipe/Terra, considerando dentre outros fatores, o histórico de incidência de incrustação nos dutos indicados para esse estudo,

permitindo assim otimizar o volume de inibidor aplicado sem comprometer os trechos do sistema de transporte do petróleo que não recebe aplicação.

Conforme relatos dos responsáveis pela operação e controle da produção, os resultados da aplicação do inibidor nos dutos LC-1 e LC-2, tem sido positivo, os quais tem sido, evidenciados através da manutenção das variáveis físicas do processo e consequentemente, da continuidade operacional do sistema de transporte analisado.

4.3 Resultados obtidos com a aplicação associada, das técnicas de combate à incrustação inorgânica - Inibidor Químico e PIG raspador - no trecho da malha de dutos analisado

A formação de incrustação inorgânica nos elementos que compõem o sistema dutoviário de transporte de petróleo do ativo Sergipe/Terra, sempre contribuiu para os altos custos de manutenção e, consequentemente, de produção, devido a promoverem restrição parcial ou total da passagem do fluido petrolífero no interior dos dutos, gerando inclusive, em casos extremos, a necessidade de abandono do duto incrustado.

Nesse sentido, as ações empregadas pelo corpo técnico da empresa, no que se refere, à aplicação das técnicas de combate às incrustações inorgânicas - inibidor químico e PIG raspador - no trecho da malha de dutos alvo desse estudo (vide Figura 16) tem surtido efeitos positivos.

Conforme relata Castro (2016, p. 1), a aplicação de maneira associada das técnicas, injeção de inibidor químico e passagem de PIG raspador, nos dutos LC-1 e LC-2, no momento da realização desse estudo perdurava aproximadamente dois anos. Tempo que embora seja relativamente pequeno é suficiente para comprovar a eficiência do trabalho, o que pode ser evidenciado pelo fato de que não houveram interrupções ou sequer redução, da capacidade de escoamento da produção transportada pelos referidos dutos, ao longo do período relatado.

Um fator que vem colaborando bastante para os bons resultados do emprego das técnicas de combate aos depósitos incrustantes, embora na perspectiva desse estudo seja apenas um coadjuvante, é a adoção dos dutos não-metálicos revestidos internamente com material de base epóxi, em substituição aos de aço-carbono tradicionalmente empregados.

Ainda de acordo com Castro (2016, p. 1), “[...] a remoção mecânica com uso de PIG raspador nos dutos revestidos internamente com material de base epóxi é mais fácil que nos dutos de aço-carbono, já que a rugosidade superficial do interior do duto protegido pelo epóxi é menor que a do duto de aço e isso dificulta a adesão dos cristais que formam a incrustação.”

Entretanto, mesmo com a eliminação do aço-carbono na construção dos dutos, alguns fatores são motivo de atenção:

“[...] quando há inconstância na aplicação do inibidor químico ou na realização da passagem do PIG raspador nos dutos, seja por falta de produto, ou pela ausência de um contrato de mão-de-obra para realizar o serviço de aplicação das referidas técnicas, pode-se perder o controle e assim permitir o acúmulo de incrustação.” (CASTRO, 2016, p. 1).

Desta forma, fica evidente a relevância de se empregar de maneira associada as referidas técnicas. O inibidor químico atuando na dissolução dos cristais já aderidos e contrapondo a formação de novos cristais incrustantes e, o PIG raspador, como elemento carreador dos depósitos dispostos no interior dos dutos no momento de sua passagem.

Por fim, diante do exposto, pôde-se comprovar através dos resultados obtidos com adoção das técnicas de combate às incrustações - PIG e inibidor químico - aplicadas no trecho da malha de dutos ilustrado na Figura 15, a convergência com o descrito a seguir:

Garantia de escoamento, mantendo assim o sistema de transporte de petróleo por meio de dutos do ativo Sergipe/Terra, funcionando de maneira confiável e atendendo a capacidade de projeto. Isso é extremamente importante, pois possibilita à Companhia, ter resultados alinhados com o planejamento estratégico definido pela alta direção e isso se reflete no nível de confiança (CASTRO, 2016, p. 1).

Tempo que embora seja relativamente pequeno é suficiente para comprovar a eficiência do trabalho, o que pode ser evidenciado pelo fato de que não houveram interrupções ou se quer redução, da capacidade escoamento da produção transportada pelos referidos dutos, ao longo do período relatado.

5 CONCLUSÃO

As etapas planejadas foram devidamente executadas, graças a disponibilidade e comprometimento dos diversos setores envolvidos. Desta forma, o objetivo geral de avaliar os resultados obtidos, através da aplicação das técnicas de combate às incrustações inorgânicas, em um trecho da malha de dutos do ativo Sergipe/Terra, pode ser alcançado.

Controlar ou até mesmo erradicar a incrustação inorgânica que acomete o modal dutoviário e suas interfaces, tem sido uma tarefa árdua e desafiadora para a indústria do petróleo mundial e, não obstante, para os responsáveis por tratar dessa temática, nos campos petrolíferos do ativo Sergipe/Terra, já que essa anomalia, além de onerar o valor final do produto, põe em risco a estabilidade do negócio, haja vista que compromete a garantia de escoamento.

Desta forma, pode ser visto que a forma de identificação dos trechos da malha de dutos com potencial de incrustar e a utilização de técnicas de combate adequadas às características do processo, convergiram para o bom resultado, inferidos durante as visitas realizadas ao campo e através do testemunho obtido durante a entrevista concedida pelo engenheiro responsável por gerir a aplicação de técnicas de combate à incrustação, no campo petrolífero analisado.

Com relação aos reflexos da aplicação de PIG raspador e inibidor químico, embora o tempo (dois anos) de implementação conjunta dessas técnicas, no trecho da malha de dutos alvo deste estudo seja relativamente pequeno, foram todos positivos. A principal evidência deste sucesso está associada ao fato de que não houveram interrupções ou se quer redução, da capacidade de escoamento dos dutos, ao longo do período relatado, o que confere confiabilidade ao sistema dutoviário.

Por fim, torna-se necessário, embora a garantia de escoamento no trecho da malha de dutos analisada esteja bem controlada, monitorar as ameaças que possam vir a prejudicar a contínua aplicação das técnicas anti-incrustação: PIG raspador e inibidor químico, a exemplo da possibilidade de inconstância na aplicação das referidas técnicas por falta de material ou de contratos de prestação de serviços, para que tanto investimento e pesquisas empregados, não venham a ser desperdiçados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELHAY, Ana Paula Furquim Werneck. **Programas de desenvolvimento tecnológico e logística na cadeia de petróleo e gás.** (Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção de título de especialista em logística empresarial) Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.avm.edu.br/monopdf/15/ANA%20PAULA%20FURQUIM%20WERNECK%20ABDELHAY.pdf>>. Acessado em: 02 set. 2016.

ALMEIDA, B. P. M. et al. **2º Trabalho de escoamento multifásico:** incrustações por sulfatos, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013.

ANP. **RTDT.** N°2, Rio de Janeiro 2011. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj3jN_dmYLNahVGgJAKHYIIAzMQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.anp.gov.br%2F%3Fdw%3D42266&usq=AFQjCNFeOyPzsqDE7hTIJDsJveg89Bq16Q&sig2=deCYihl82aDs586U2OD_rA&bvm=bv.123325700,d.Y2l>. Acessado em: 22 maio 2016.

ARAI A.; DUARTE L. R. **Estudo da formação de incrustações carbonáticas.** Projeto de graduação. Escola politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000123.pdf>>. Acessado em: 02 maio 2016.

CALDAS, Flaviana Venturim. **Estudos de impacto ambiental em empreendimentos dutoviários:** análise da elaboração, acompanhamento e monitoramento durante a fase de construção. (Dissertação para obter o título de Mestre em Sistemas de Gestão) Universidade Federal Fluminense, UFF. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.btdt.ndc.uff.br/tde_arquivos/14/TDE-2008-09-26T113306Z-1699/Publico/Dissertacao%20Flaviana%20Caldas.pdf>. Acessado em: 02 set. 2016.

CASTRO, Thiago de Albuquerque. **Entrevista concedida a Glauber Pereira Correia.** Carmópolis, 28 out. 2016. (A entrevista encontra-se transcrita no Apêndice “A” desta monografia).

DIAZ, Jonh Faber Archila. **Estudo e projeto conceitual de um robô para inspeção de linhas de serviço.** (Dissertação para obter o título de Mestre em Ciências e Engenharia mecânica) COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://w2.files.scire.net.br/atrio/ufrj-pem_upl/THESIS/143/pemufrj2008mscjohnfaberarchiladiaz.pdf>. Acessado em: 16 nov. 2016.

FILHO, Dermeval Inês da Silva. **Processo da reinjeção da água produzida na recuperação secundária dos poços de petróleo de Catu/BA, para reduzir os riscos ambientais.** (Monografia para obter o título de Especialista em Gestão Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Medianeira, 2013. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4518/1/MD_GAMUNI_2014_2_32.pdf>. Acessado em: 16 nov. 2015.

FILHO, Edelvino Razzolini. **Transporte e Modais**: com suporte de TI e SI. Curitiba: Inter Saberes, 2012. Disponível em: <<http://fanese.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788582121962/pages/5>>. Acessado em: 03 abr. 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. 5. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010.

HOUAISS; Antônio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Metodologia científica**. 5. ed., 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução....** São Paulo: Atlas, 2006.

LIMA, Daniel de Andrade. **Quantificação de Fases Cristalinas de Incrustações em Colunas de Produção de Petróleo pelo Método Rietveld**. (Dissertação para obter o título de Mestre Ciência e Engenharia de Petróleo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/12931/1/DanielAL_DISSERT.pdf>. Acessado em: 03 set. 2016.

MACHADO, Érica Cristine Medeiros Nobre. **Operação de redes de escoamento de petróleo utilizando algoritmo genético multi-objetivo**. (Dissertação para obter o título de Especialista em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/EricaCristine0/Publica%EF%BF%BD%EF%B F%BDdes/DissertacaoErica2006.pdf>>. Acessado em: 03 maio 2016.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação científica**: a prática de fichamentos, resumos, resenhas. 11. ed., 6. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010.

MORAES, Gionanni. **Normas regulamentadores comentadas e ilustradas: Legislação de segurança e saúde no trabalho**. Vol. 3, 8. ed. Rio de Janeiro: Gerenciamento verde, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=THj1KD3dfksC&lpg=PA1865&ots=n1cHG1GXQ_&dq=diferen%C3%A7a%20entre%20PIG%20e%20Raspador&hl=pt-BR&pg=PA1352#v=onepage&q=diferen%C3%A7a%20entre%20PIG%20e%20Raspador&f=false>. Acessado em: 21 out. 2016.

MOREIRA, Aline dos Santos. **Sistemas Laboratoriais para Estudos de Incrustação de Sulfato de Bário em Reservatórios de Petróleo**: Um Estado da Arte. (Projeto final de curso, para obter o título de bacharel em Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo) Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF. Macaé, 2006. Disponível em:

<http://www.anp.gov.br/CapitalHumano/Arquivos/PRH20/Alinne-dos-Santos-Moreira_PRH20_UENF_G.pdf>. Acessado em: 21 out. 2016.

Norma Regulamentadora Petrobras. **N-2726**: Dutos. rev. "A". Rio de Janeiro, 2012, p. 20.

RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; FERREIRA, Karine Araújo. **Logística e transportes**: Uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002. Disponível em: <<http://tecspace.com.br/paginas/aula/mdt/artigo01-MDL.pdf>>. Acessado em: 22 set. 2016.

RODRIGUES, Bruno Fontes. **Análise de processamento submarino na produção de óleo e gás**: as novas perspectivas sem o uso de plataformas. 2011. (Dissertação para obter o título de Mestre em Engenharia Mecânica). PUC-Rio. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?q=an%C3%A1lise+de+processamento+submarino+na+produ%C3%A7%C3%A3o&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5>. Acessado em: 27 set. 2016.

ROSA, C. M.; MENGER, R. K.; GOMES, M. T.; OLIVEIRA, C. **Comportamento de reagentes inibidores de incrustação aplicados na perfuração de poços de petróleo**. Revista Matéria, v.20, n.2, pp. 514 – 522, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v20n2/1517-7076-rmat-20-02-00514.pdf>>. Acessado em: 03 set. 2016.

ROSA, K. R. S. A. da. **Estudo de produtos não agressivos ao meio ambiente para atuar como inibidores de incrustação**. (Dissertação de Mestrado em Química Orgânica - Programa de Pós-Graduação em Química Orgânica) Universidade Federal Fluminense, UFF, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?q=estudo+de+produtos+n%C3%A3o+agressivos+ao+meio+ambiente&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5>. Acessado em: 03 out. 2016.

SALVADOR, Angélica Dias. **Apostila**: Noções de Corrosão e incrustação da Petrobras. Texto para uso didático - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SARTI, C.; ARAUJO, R. de; PINTO, S. **PIG Tecnologias para tubulações**. Trabalho Acadêmico, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAejFwAC/pig-tecnologia-tubulacoes>>. Acessado em: 03 abr. 2016.

SILVA, Priscila Reis da. **Transporte marítimo de petróleo e derivados na costa brasileira: estrutura e implicações ambientais**. (Tese para obter o título de Mestre em Economia) COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3700674-Transporte-maritimo-de-petroleo-e-derivados-na-costa-brasileira-estrutura-e-implicacoes-ambientais-priscila-reis-da-silva.html>>. Acessado em: 22 abr. 2016.

SILVA, Rodrigo Gonçalves Lopes. **Estudo dos mecanismos de formação e de inibição de incrustação por sulfato de cálcio em processos de nano filtração.** (Tese para obter o título de Doutor em Engenharia de Materiais) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/>>. Acessado em: 17 mar. 2016.

SOARES, Milton. **Sistema de detecção de incrustações em dutos de transporte de petróleo pela técnica de transmissão gama.** (Tese para obter o título de Doutor em Engenharia Nuclear) COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://carpedien.ien.gov.br/bitstream/ien/868/1/MILTON%20SOARES%20D.pdf>>. Acessado em: 17 ago. 2016.

SOUZA, Ricardo Dias de. **Avaliação Estrutural de Dutos com Defeitos de Corrosão Reais.** (Tese para obter o título de Doutor em Engenharia Mecânica) Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=4134@1>. Acessado em: 17 mar. 2016.

TELLES, P. C. Silva. **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto e Montagem.** 10. ed. São Paulo: LTC, 2001.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da integridade da malha dutoviária.** (Dissertação de mestrado) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento industrial. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp075203.pdf>>. Acessado em: 17 abr. 2016.

UBIRAJARA, E. R. L. **Guia de orientação para trabalhos de conclusão de curso: Relatórios, artigos e monografias.** Aracaju: FANESE, 2014. (Caderno).

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e método.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

VAZ, Alexildo Velozo; OLIVEIRA, Kelly Nogueira de; DAMASCENO, Pedro Ernesto Gonçalves. **O modal dutoviário: análise da importância e considerações sobre suas principais características.** (Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes) Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2005. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/2002266/Modal_Dutoviario_-_2005.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1479259378&Signature=i9%2BVH3YqBzTN3y6x3VKjrQnovR4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DO_MODAL_DUTOVIARIO_ANALISE_DA_IMPORTANCI.pdf>. Acessado em: 27 set. 2016.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 10. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIDAL, Leonardo Alves. **Estudo sobre as incrustações inorgânicas nos campos de petróleo.** Monografia (Graduação) Universidade Federal Fluminense - Departamento de Engenharia Química, UFF. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.repositorio.uff.br/jspui/bitstream/1/865/1/Monografia%20Leonardo%20Vidal.pdf>>. Acessado em: 17 set. 2016.

APÊNDICE A

Transcrição na íntegra, da entrevista concedida pelo Engenheiro Thiago de Albuquerque Castro (CASTRO 2016), em 28 de outubro de 2016, sobre a implementação de técnicas de combate às incrustações em um dos campos petrolíferos explorados pela Petrobras no ativo Sergipe/Terra.

1- Qual a metodologia utilizada para identificar os dutos com maior probabilidade ou histórico de ocorrência de incrustações inorgânicas?

Resposta de (CASTRO 2016): Para dimensionar a probabilidade de ocorrência, não temos metodologia específica. No caso do satélite 1, quando foi conjugado com mais dois outros satélites (X e Y), passamos uns seis meses passando os raspadores usuais sem ter apresentado problema aparente quanto ao escoamento da produção. Depois de um tempo resolvemos passar um raspador mais adequado para linhas problemáticas, a fim, de verificar se a dutovias ainda estava atendendo a escoabilidade de projeto e o mesmo ficou preso no interior do duto. As linhas já estavam bastante incrustadas. Foi preciso muitas passagens de PIG raspador com o auxílio de uma empresa contratada, para deixarmos as linhas em condições de passar PIG. Como misturamos água de muitos poços (águas incompatíveis), aumentamos muito o potencial de incrustação.

2- Quais as principais causas de formação de incrustação no satélite 1 e nas LC-1 e LC-2?

Resposta de (CASTRO 2016): A principal causa foi a segregação com dois satélites. Com a mistura de águas de muitos poços a probabilidade de que haja águas incompatíveis cresce muito. Por incompatível entenda: águas ricas em sulfato e outras ricas em bário por exemplo.

3- É realizada alguma análise química ou outro tipo de teste, para detecção de cristais inorgânicos, nos fluidos transportados no satélite 1 e em seus dutos (LC-1 e LC-2)? Se há, qual o teste e qual a periodicidade de realização do mesmo?

Resposta de (CASTRO 2016): Só fizemos uma vez para tentar realizar a segregação, mas vimos que não havia claramente uma separação entre poços ricos em sulfato e bário. A maioria tinha quantidade significativa destes dois íons.

4- Qual a metodologia utilizada, ou como foi definido o ponto ideal de aplicação do inibidor de incrustação, no trecho analisado do sistema de transporte por dutos (Satélite / Dutos – LC-1 e LC-2 / estação coletora)?

Resposta de (CASTRO 2016): Sempre injetamos no satélite. Poderíamos injetar no satélite 1, ou nos outros dois a ele conjugados (X e Y), mas como o “1” era o satélite que recebia a produção dos outros dois, resolvemos injetar nele. Os outros dois estão desprotegidos, porém estão sendo monitorados e não têm apresentado problemas, por isso os mesmos não foram considerados para a aplicação planejada das técnicas de combate às incrustações.

5- Em que momento e por qual razão foi tomada a decisão de substituir o aço-carbono por epóxi, nas LC-1 e LC-2 do satélite 1?

Resposta de (CASTRO 2016): A substituição do material foi devido a problemas por corrosão nos dutos. Isso já é feito há algum tempo nos poços e satélites do ativo que não operam com altas temperaturas.

6- A quanto tempo está sendo aplicado inibidor químico associado a PIG nas LC 1 e LC 2 do satélite 1 e nas mesmas condições de periodicidade e volume?

Resposta de (CASTRO 2016): Aproximadamente dois anos.

7- Mesmo com a substituição dos dutos de aço por dutos de fibra revestidos internamente com material de base epóxi e, com a aplicação de inibidor de incrustação e passagem de PIG, ainda tem ocorrido acúmulo de incrustação inorgânica.

Resposta de (CASTRO 2016): Sim! Ao contrário do que se pode imaginar, continua havendo formação de incrustação. Porém a remoção mecânica com uso de PIG raspador nos dutos revestidos internamente com material de base epóxi é mais fácil que nos dutos de aço-carbono, já que a rugosidade superficial do interior do duto protegido pelo epóxi é menor que a do duto de aço e isso dificulta a adesão dos cristais que formam a incrustação.

8- Tem apresentado redução de capacidade de escoamento por conta dessa recorrente incrustação?

Resposta de (CASTRO 2016): Não! A princípio está sob controle. O problema é que, quando há inconstância na aplicação do inibidor químico ou na realização da passagem do PIG raspador nos dutos, seja por falta de produto, ou pela ausência de um contrato de mão-de-obra para realizar o serviço de aplicação das referidas técnicas, pode-se perder o controle e assim permitir o acúmulo de incrustação.

9- Quais os ganhos obtidos com o emprego das técnicas de combate às incrustações - PIG e inibidor químico - obtidos no trecho da malha de dutos, compreendida entre o satélite 1 e a estação coletora?

Resposta de (CASTRO 2016): Garantia de escoamento, mantendo assim o sistema de transporte de petróleo por meio de dutos do ativo Sergipe/Terra, funcionando de maneira confiável e atendendo a capacidade de projeto. Isso é extremamente importante, pois possibilita à companhia, ter resultados alinhados com o planejamento estratégico definido pela alta direção e isso se reflete no nível de confiança.