

Monografia de Graduação

Remoção de metais da água de produção utilizando tensoativo

Natália Moraes Medeiros

Natal, Junho de 2013

NATÁLIA MORAES MEDEIROS

**REMOÇÃO DE METAIS DA ÁGUA DE PRODUÇÃO UTILIZANDO
TENSOATIVO**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lins de B. Neto

NATAL-RN

2013

MONOGRAFIA

Aluno: Natália Moraes Medeiros

Matrícula: 2008023699

Curso: Engenharia Química

Semestre/Ano: 10º/2013

Tema: Remoção de metais da água de produção utilizando tensoativo

Objetivos pretendidos: Estudar um método de tratamento de água de produção com o emprego de um tensoativo iônico (aniônico) para a remoção de metais, e analisar a ação conjugada de remoção do tensoativo e do pH.

____/____/____

Eduardo Lins de Barros Neto
Professor Orientador

____/____/____

Natália Moraes Medeiros
Aluno

____/____/____

Lair Pereira de Carvalho
Coordenador do Curso

Este trabalho é dedicado:

A Deus e a todos aqueles que me ajudaram
para a conclusão desse projeto.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me guiado durante o curso e me ajudado nas decisões em momentos difíceis.

Aos meus pais, José Araújo de Medeiros e Cláudia Regina de Moraes Medeiros que nunca me deixaram faltar quanto a estudo, sempre me proporcionando e me incentivando a lutar.

Aos irmãos Ana Cláudia Moraes Medeiros e Leonardo Rafael Medeiros que sempre estiveram ao meu lado independente de qualquer coisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto por ter me ajudado na busca pelo conhecimento, disciplina e dedicação durante o curso.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Química, pelas trocas de experiências e companheirismo.

Aos professores e funcionários do DEQ/UFRN, pela participação em minha formação profissional e pessoal.

A Agência Nacional de Petróleo-ANP, pela concessão da bolsa e pelo fomento à capacitação de recursos humanos na área de petróleo e gás natural.

E a uma pessoa muito especial que contribuiu para meu crescimento profissional, pessoal e emocional me ensinando a sempre lutar e encarar as dificuldades e as adversidades, Herick Bulhões Cândido.

Medeiros, Natália Moraes - Remoção de metais da água de produção utilizando tensoativo. Trabalho de conclusão de curso, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos–PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Processos em Plantas de Petróleo e gás, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto

RESUMO: Na indústria do petróleo, a geração de água produzida causa bastante preocupação, pois trás consigo resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Mesmo com o atual avanço tecnológico, existe uma grande dificuldade para tratar estes resíduos. Diante da legislação ambiental e dos riscos que podem ser provocados pela água de produção, percebe-se a importância no desenvolvimento de novas tecnologias que permitam melhorar o tratamento da água produzida, principalmente a dos metais. Atualmente, a flotação é um dos tratamentos utilizados para remoção de resíduos particulados, óleos e graxas, porém não apresenta boa eficiência na remoção de sais e metais pesados. A água de produção apresenta alta salinidade, dureza (bastante cálcio e magnésio), metais pesados e óleo disperso. Caso esse efluente não seja devidamente tratado para tais características, estas podem provocar incrustação e corrosão dos dutos, sem contar com a obstrução e diminuição da porosidade do subsolo, diminuindo a produção e o tempo de vida do poço. Portanto, o objetivo geral deste projeto consiste desenvolver um processo de remoção de metais da água de produção utilizando tensoativo derivado de óleos vegetais diminuindo os possíveis riscos e agressões ambientais que a água de produção pode causar tanto para a indústria quanto ao meio ambiente.

Palavras Chaves:

- Metais, Água Produzida, Tensoativos e Remoção.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
2. Revisão Bibliográfica.....	15
2.1. Água Produzida.....	15
2.1.1. Compostos dissolvidos na água de produção.....	16
2.1.1.1. Compostos Inorgânicos.....	16
2.1.1.2. O Cálcio.....	17
2.1.1.3. O Magnésio.....	19
2.1.1.4. Produtos Químicos Adicionados.....	20
2.2. Impacto e Legislação Ambiental.....	20
2.3. Tratamento da água produzida.....	21
2.3.1. Métodos de remoção de compostos dispersos.....	21
2.3.1.1. Flotação.....	22
2.3.1.2. Hidrociclones.....	22
2.3.1.3. Tanque Gravitacional.....	22
2.3.2. Métodos de remoção de compostos dissolvidos.....	22
2.3.2.1. Precipitação.....	23
2.3.2.2. Troca Iônica.....	23
2.3.2.3. Adsorção em carvão ativado.....	24
2.3.2.4. Adsorção em zeólitos sintéticos.....	24
2.3.2.5. Filtração por membrana.....	24
2.3.2.6. Borbulhamento com gás.....	25
2.3.2.7. Tratamento biológico.....	25
2.3. Tensoativos.....	25
2.3.1. Classificação dos Tensoativos.....	26
2.3.1.1. Tensoativos Aniônicos.....	27
2.3.1.2. Tensoativos Catiônicos.....	27
2.3.1.3. Tensoativos Anfóteros.....	28
2.3.1.4. Tensoativos Não-iônicos.....	28
2.3.2. Propriedades dos tensoativos.....	29
2.3.2.1. Micelização.....	29
2.3.2.2. Ponto de Kraft.....	30
2.3.2.3. Ponto de Turbidez.....	31

3. Metodologia Experimental.....	32
3.1. Equipamentos Utilizados.....	32
3.2. Reagentes.....	32
3.2.1. Óleo de soja.....	33
3.3. Obtenção da água produzida sintética.....	33
3.4. Obtenção da solução de tensoativo OSS.....	34
3.5. Obtenção da solução padrão de Ca e Mg.....	34
3.6. Análise do comportamento do metal com a variação de pH	34
3.7. Análise do comportamento do metal na ação de 100% de tensoativo.....	35
3.8. Análise do comportamento do metal variando a concentração de tensoativo.....	36
3.9. Determinação da concentração dos metais por espectroscopia de absorção atômica.....	37
4. Resultados e Discussões.....	39
4.1. Etapa 1: Análise do comportamento do metal com a variação de pH	39
4.2. Etapa 2: Análise do comportamento do metal com 100% de tensoativo.....	41
4.3. Etapa 3: Análise do comportamento do metal variando a concentração de tensoativo.....	43
5. Conclusão	47
6. Referências Bibliográficas.....	48
7. Anexos.....	50

Lista de Figuras

Figura 2.1: Incrustação provocada pela água produzida.....	16
Figura 2.2: Elemento Cálcio (Ca).....	18
Figura 2.3: Elemento Magnésio (Mg).....	19
Figura 2.4: Representação de uma molécula de tensoativo.....	26
Figura 2.5: Representação do tensoativo em água-óleo.....	26
Figura 2.6: Representação dos tensoativos.....	27
Figura 2.7: Estrutura molecular do tensoativo aniônico dodecil sulfato de sódio.....	27
Figura 2.8: Estrutura molecular do tensoativo catiônico brometo de centilpiridina.....	27
Figura 2.9: Estrutura molecular do tensoativo anfótero dipalmitolfosfatidilcholine.....	28
Figura 2.10: Estrutura molecular do tensoativo não iônico polioxietileno(4) laurileter.....	28
Figura 2.11: Representação esquemática da agregação molecular em solução aquosa..	29
Figura 2.12: Representação das micelas.....	30
Figura 2.13: Diagrama de fases de um tensoativo iônico próximo ao ponto de Krafft..	31
Figura 2.14: Bomba à vácuo, Tecnal TE-0581.....	35
Figura 2.15: Espectrofotômetro de Absorção Atômica, SpectrAA – 20 plus, Varian....	37

Lista de Tabelas

Tabela 1: Concentração média de ânions em água produzida e água do mar.....	17
Tabela 2: Propriedades do Cálcio.....	18
Tabela 3: Propriedades do Magnésio.....	19
Tabela 4: Tecnologias Aplicadas na Remoção dos Compostos Dissolvidos	23
Tabela 5: Equipamentos utilizados.....	32
Tabela 6: Lista dos reagentes utilizados nos experimentos.....	32

Lista de Gráficos

Gráfico 5.1.1: Curva dos padrões de cálcio referente a primeira etapa.....	39
Gráfico 5.1.2: Curva dos padrões de magnésio referente a primeira etapa.....	40
Gráfico 5.1.3: Curva das amostras de cálcio e magnésio referente a primeira etapa.....	41
Gráfico 5.2.1: Curva dos padrões de cálcio referente a segunda etapa.....	42
Gráfico 5.2.2: Curva dos padrões de magnésio referente a segunda etapa.....	42
Gráfico 5.2.3: Curva das amostras de cálcio e magnésio referente a segunda etapa.....	43
Gráfico 5.3.1: Curva dos padrões de cálcio referente a terceira etapa.....	44
Gráfico 5.3.2: Curva dos padrões de magnésio referente a terceira etapa.....	44
Gráfico 5.3.3: Curva das amostras de cálcio e magnésio referente a terceira etapa.....	45

NOMENCLATURA

Ca – Cálcio

CaCO₃ – Carbonato de Cálcio

CMC – Concentração Micelar Crítica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EAA - Espectroscopia de Absorção Atômica

EPA - Environment Protection Agency

Mg – Magnésio

NaOH – Hidróxido de sódio

OSS – Óleo de soja saponificado

pH – Potencial hidrogeniônico

PPM – Partes por milhão

1. INTRODUÇÃO

A geração de água produzida é um tema bastante preocupante na indústria do petróleo, pois trás consigo resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Apesar do avanço tecnológico conquistado atualmente, há mesmo assim certa restrição no tratamento desses resíduos.

Diante da legislação ambiental (CONAMA) e dos riscos que podem ser provocados pela água de produção, percebe-se a importância no desenvolvimento de novas tecnologias que permitam melhorar o tratamento da água produzida, principalmente a remoção metais.

Uma grande ênfase tem sido dada a preservação do meio ambiente, tratando-se principalmente de recursos naturais não renováveis. A fiscalização, por parte dos órgãos públicos, com relação aos impactos ambientais tem sido bastante intensa e as indústrias tem se preocupado com o tratamento dos seus efluentes e, principalmente, com a sua imagem perante a sociedade, (SILVA, 2008).

Os efeitos dos metais sobre o ambiente variam consideravelmente, sendo de grande importância na saúde pública, de agressivo impacto ambiental e econômico. Conseqüentemente, a preocupação ambiental dos empresários e consumidores vem crescendo, e as restrições legais sobre os efluentes vêm se tornando cada vez mais rígidas, levando à necessidade de controle.

Atualmente, a flotação é um dos tratamentos utilizados para remoção de resíduos particulados, óleos e graxas, porém não apresenta boa eficiência na remoção de sais e metais pesados. A água de produção apresenta alta salinidade, dureza (bastante cálcio e magnésio), metais pesados e óleo disperso. Caso esse efluente não seja devidamente tratado para tais características, estas podem provocar incrustação e corrosão dos dutos, sem contar com a obstrução e diminuição da porosidade do subsolo, diminuindo a produção e o tempo de vida do poço.

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver um processo de remoção de metais da água de produção utilizando tensoativos derivados de óleos vegetais diminuindo os possíveis riscos e agressões ambientais que a água de produção pode causar tanto para a indústria quanto ao meio ambiente.

O trabalho apresentado avalia a remoção de metais Mg e Ca(dureza) da água de produção, utilizando tensoativos aniônicos. Devido à formação de complexos insolúveis como consequência da interação desses tensoativos com os metais estudados, faz-se

possível a remoção. Portanto, a remoção desses metais além de eficiente, é economicamente viável devido à fácil obtenção da matéria- prima do referido tensoativo, para a produção do mesmo e ainda ser uma tecnologia limpa.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Estudar o comportamento da remoção dos metais cálcio e magnésio sob ação do pH e tensoativo;
- Encontrar uma faixa ideal de pH e tensoativo para maior remoção dos metais;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Água Produzida

Na indústria petrolífera a água produzida é um resíduo inevitável e bastante pertinente. É a água, em sua maioria, que durante a extração do petróleo, está associada ao óleo, e que causa graves impactos ambientais.

O termo água de produção é dada a toda água produzida (carreada) junto com o óleo, sendo originária da formação geológica (água de formação) ou água de injeção de água dos processos de recuperação de petróleo (FERNANDES JR., 2002).

Diversos fatores devem ser levados em conta para se estabelecer e manter um gerenciamento cuidadoso deste efluente, entre eles, o volume de água produzido, que é sempre crescente em virtude da maturação das jazidas e da utilização de processos de recuperação secundários; o conteúdo salino; a presença de óleo residual e de produtos químicos.

Segundo Silva (2008) à medida que os poços envelhecem a produção de água aumenta podendo chegar a 100% em volume.

Thomas (2001) fala também que a presença de água associada ao petróleo provoca uma série de problemas nas etapas de produção, transporte e refino.

A Água Produzida contém geralmente alta salinidade, partículas de óleo em suspensão, produtos químicos adicionados nos diversos processos de produção, metais pesados e por vezes alguma radioatividade. Isto a torna um poluente de difícil descarte agravando-se pelo expressivo volume envolvido, (CARLOS SILVA, 2000).

O descarte inadequado de efluentes implica em efeitos nocivos ao meio ambiente, na repercussão negativa indesejada, penalidades diversas e um custo elevado com ações corretivas e mitigadoras.

Fernandes Jr. (2002), destaca ainda que a água produzida é salina (salmora) e contém sólidos dispersos (areia, argila, lodo, outros silicatos, gipsita) e teores de sais variando de 15.000mg/L a 300.000mg/L.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) através de sua resolução nº357/2005 estabeleceu que os efluentes oleosos oriundos da indústria de petróleo não devem apresentar níveis superiores a 20 ppm de óleo.

Oliveira (2000) explica que, os componentes da água de produção, geralmente, incluem minerais dissolvidos oriundos da formação produtora, constituintes oleosos dissolvidos e dispersos, produtos químicos empregados durante o processo de produção, sólidos e gases dissolvidos. Partes destes compostos dissolvidos são bastante refratários aos processos de tratamento convencionais. Diferentes fatores podem influenciar na quantidade de óleo presente nas águas de produção. Dentre estes fatores destacam-se a composição do óleo, o pH, a salinidade, a temperatura, a razão óleo/água e o tipo e a quantidade de produtos químicos adicionados durante o processo de produção.



Figura 2.1: Incrustação provocada pela água produzida.

2.1.1. Compostos dissolvidos na água produzida

2.1.1.1. Compostos Inorgânicos

A água de produção tem em sua composição diferentes concentrações de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+}) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , S^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-), sendo estes íons responsáveis pelo potencial de incrustação destas águas. Além destes íons, estas águas também contêm traços de vários metais pesados.

Os radionuclídeos encontrados nas águas produzidas nos campos de petróleo estão normalmente associados às ocorrências naturais de materiais radioativos. A radioatividade dessas águas se deve a presença de traços dos íons de K^{40} , U^{238} , Th^{232} , Ra^{226} e Ra^{228} . Em presença dos ânions SO_4^{2-} e CO_3^{2-} , o Ra^{226} pode coprecipitar com os cátions Ca^{2+} , Ba^{2+} e Sr^{2+} , formando incrustações radioativas nas tubulações, (NUNES, 2009).

As concentrações médias de componentes aniônicos da água produzida e da água do mar são mostradas na Tabela 3.3.

Tabela 1: Concentração média de ânions em água produzida e água do mar.

Íon (concentração)	Água Produzida		Água do Mar
	Mundo	Mar do Norte	Mundo
Bicarbonato (mg/L)	771	615	28
Cloreto (g/L)	60,9	44,6	19
Sulfato (mg/L)	325	814	900
Sulfeto (mg/L)	140	-	-
Nitrato (mg/L)	1	1	0,67
Fosfato (mg/L)	0	0	0,09

Fonte: E&P Fórum, 1994.

No refino, cloretos de cálcio e magnésio podem estar dissolvidos na água e gerar, sob a ação do calor, ácido clorídrico, que por sua vez migra para o topo das colunas de destilação provocando corrosão e assim causando redução de espessuras e/ou furos de linhas, paredes de vasos e tubos trocadores de calor. Isso pode trazer graves consequências, tais como, poluição, explosão, perdas de produto, lucros cessantes, etc. Os sais de sódio diminuem a vida útil e o rendimento dos catalisadores conduzindo a produtos finais de qualidade inferior, (SILVA, 2008).

2.1.1.2. O Cálcio

O metal cálcio pertencente a família 2A da tabela periódica, é metal alcalino terroso, de cor branco prateado. Foi isolado pela primeira vez pelo químico britânico Humphry Dary, através da eletrólise. Suas principais características estão na tabela abaixo de acordo com Nunes (2009):

Tabela 2: Propriedades do Cálcio

PROPRIEDADES	VALORES
Número Atômico	20
Massa Molar (g/mol)	40,08
Estado Normal	Sólido
Densidade (g/cm ³)	1,53
Ponto de Fusão (°C)	840
Ponto de Ebulição (°C)	1490
Eletroafinidade (kJ/mol)	-29
Energia de Ionização (kJ/mol)	590
Eletronegatividade	1,3
Raio Atômico (pm)	197
Raio Iônico (pm)	100

Fonte Nunes, 2009



Figura 2.2: Elemento Cálcio (Ca)

2.1.1.3. O Magnésio

O magnésio é um metal alcalino terroso da família 2A apresentando-se na forma sólida ao meio ambiente. Segundo Nunes (2009) foi descoberto em 1755 pelo escocês Joseph Black e em 1808 Sir Humphry Davy obteve o metal puro através da eletrólise de uma mistura de magnésio e HgO (óxido de mercúrio).

Tabela 3: Propriedades do Magnésio

PROPRIEDADES	VALORES
Número Atômico	12
Massa Molar (g/mol)	24
Estado Normal	Sólido
Densidade (g/cm ³)	1,74
Ponto de Fusão (°C)	650
Ponto de Ebulição (°C)	1090
Eletroafinidade (kJ/mol)	-21
Energia de Ionização (kJ/mol)	737,7
Eletronegatividade	1,3
Raio Atômico (pm)	145
Raio Iônico (pm)	72

Fonte Nunes, 2009



Figura 2.3: Elemento Magnésio (Mg)

2.1.1.4. Produtos químicos adicionados

Nunes (2009) afirma que, além dos compostos naturais presentes nas águas produzidas, uma grande variedade de produtos químicos é adicionada durante o processo de produção. Os produtos químicos são, geralmente, chamados de aditivos e são empregados para resolver ou prevenir problemas operacionais. Cada sistema de produção tem uma necessidade de utilização destes aditivos, gerando, desta forma, efluentes com diferentes características físico-químicas. Os principais aditivos adicionados durante o processo de produção de petróleo são: inibidores de incrustação, inibidores de corrosão, biocidas, desemulsificantes, aditivos para o tratamento da água (coagulantes e floculantes), inibidores de deposição de parafinas/asfaltenos e antiespumantes.

2.2. Impacto e legislação ambiental

Segundo Silva (2008) o impacto ambiental provocado pelo descarte da água de produção é normalmente avaliado pela toxicidade dos constituintes e pela quantidade de compostos orgânicos. Esses contaminantes podem causar diferentes efeitos no meio ambiente. Os compostos solúveis, acreditam os estudiosos, são os mais nocivos ao meio ambiente.

O termo óleo é utilizado na indústria do petróleo, como sendo o material orgânico que pode incluir hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, fenóis e ácidos carboxílicos, sendo encontrado tanto na forma dispersa como na forma dissolvida.

Silva (2008) também afirma que as concentrações de óleos e graxas livres, o EPA (Environment Protection Agency) dos EUA estabelece como limite a média de 29 mg/L e o máximo diário de 42 mg/L .

Há também uma classificação da PARCOM de metais pesados, em que os metais como mercúrio e cádmio estão na “lista negra” considerados metais de alta toxicidade. Há outra classificação, “lista verde”, em que os componentes precisam de estrito enquadramento dentro dos limites para descarte, onde se encontram alguns radionuclídeos, hidrocarbonetos e outros metais pesados.

A legislação brasileira determina que o TOG máximo para o descarte de água produzida no mar seja de 20 mg/L, de acordo com Paula Katherine (2008) e Resolução do CONAMA (nº357 – Art. 21 e 34 de 17/03/2005), sendo mais restrito que outros países.

2.3. Tratamento da água produzida

A água de produção pode ser tratada de várias formas para a diminuição dos teores de seus contaminantes (sais, íons, metais pesados, elementos radioativos e ânions). Alguns dos processos desenvolvidos para a remoção desses elementos dos efluentes industriais foram: precipitação química, troca iônica, separação por membrana, processo de adsorção em resinas sintéticas, extração por solvente e flotação.

De acordo com Nunes 2009, a salinidade e o teor de óleo presente nas águas produzidas são, geralmente, os fatores determinantes para a escolha do(s) processo(s) de tratamento e do local do descarte do efluente tratado.

Tomas (2004) explica que, a quantidade de água produzida associada com óleo varia muito, podendo alcançar valores na ordem de 50% em volume ou até mesmo próximo de 100% ao fim da vida econômica dos poços. O tratamento da água tem por finalidade recuperar parte do óleo nela presente em emulsão e condicioná-la para reinjeção ou descarte.

Nunes (2009) afirma também que os métodos de tratamento das águas produzidas dependem de muitos fatores, incluindo os volumes envolvidos, a composição da água produzida, a localização do campo e os limites da legislação ambiental vigente e que para serem viáveis, as tecnologias de tratamento devem apresentar baixo custo operacional e alta eficiência.

2.3.1. Métodos de remoção de compostos dispersos

Há vários sistemas de tratamento para a remoção e/ou separação dos fluidos utilizados nos processos petrolíferos. Os separadores bifásicos, por exemplo, são usados para separar o gás natural e os líquidos, enquanto que os separadores trifásicos separam o gás natural, os hidrocarbonetos líquidos e a água produzida.

Tanques de decantação de maiores dimensões e tempo de repouso são também usados no processo de separação para soluções estáveis formadas. Há também os vasos gravitacionais, os sistemas de filtração em meio granular, a flotação por gás induzido ou dissolvido, a centrifugação e os hidrociclones.

Esses processos na verdade são aplicados de forma conjugada para se obter uma maior eficiência, uma vez que a utilização de somente um processo pode ser limitante

na separação dos componentes da água produzida, por esta possuir uma infinidade de constituintes poluentes.

2.3.1.1. Flotação

Atualmente, a flotação é um dos processos de separação óleo/água mais utilizados pela indústria do petróleo. A flotação remove apenas resíduos particulados, óleos e graxas, sendo o processo pouco eficiente para remoção de sais e metais, uma vez que a separação é gravitacional.

O processo de separação de emulsões por flotação está baseado na ocorrência de contato entre as bolhas de gás e as gotas de óleo. Esse método é bastante empregado no tratamento da água produzida tanto em terra como no mar.

2.3.1.2. Hidrociclones

Os hidrociclones são equipamentos destinados à separação líquido-líquido aplicados em larga escala para separação do óleo/água, podem ser do tipo vertical ou horizontal. Por serem equipamentos compactos e não sofrerem influência do balanço provocado pelas marés são largamente aplicados nas plataformas ou navios de produção *FPSO*.

2.3.1.3. Tanques Gravitacionais

Os tanques gravitacionais ou tanques de lavagem como são conhecidos, são tanques com chicanas internas. Em geral os tanques gravitacionais por si só não conseguem baixar suficientemente TOG da água produzida para adequá-la aos padrões exigidos pelos órgãos ambientais. Mas dão uma boa contribuição quando é aplicado em conjunto com outras técnicas.

2.3.2. Métodos de remoção de compostos dissolvidos

Dos componentes poluidores dispersos e dissolvidos, os dissolvidos são os mais preocupantes, pois são consideravelmente os maiores causadores de poluição nos meios aquáticos onde as águas produzidas são descartadas.

A remoção desses compostos dissolvidos nas águas de produção pode ser feita através de algumas tecnologias, tais como precipitação química, filtração por membrana, tratamento biológico, dentre outros. Na tabela 2.72727, apresenta-se um resumo das tecnologias aplicadas na remoção de metais pesados, compostos orgânicos e produtos químicos dissolvidos em áreas offshore. (Fernandes, 1995; Hansen 1994).

Tabela 4: Tecnologias Aplicadas na Remoção dos Compostos Dissolvidos

Processos de remoção dos Contaminantes Dissolvidos	
Metais Pesados	Material Orgânico e Produto Químico
Precipitação Química Troca Iônica	Tratamento Biológico Filtração por Membrana Adsorção em Zeólitos Sintéticos Adsorção em Carbono Ativado Stripping

Fonte: Fernandes, 1995; Hansen 1994

2.3.2.1. Precipitação

Através da precipitação remove-se os metais pesados na forma de hidróxidos ou carbonatos, na faixa de pH entre 8,5 e 9,5. Nestas condições a concentração de metais ainda em solução, é relativamente baixa, atendendo na maioria dos casos, às exigências da legislação ambiental. Para o processo de retirada de Ca^{+2} , Mg^{+2} e outros metais, realizado por precipitação química. Faz-se uso da cal (CaO) para elevar o pH da água fornecendo a alcalinidade necessária e o carbonato de sódio (Na_2CO_3), fornecendo a alcalinidade para a reação e também os íons carbonatos necessários. (FERNANDES, 1995; HANSEN, 1994).

2.3.2.2. Troca Iônica

A troca iônica consiste em fazer a água atravessar uma resina catiônica que captura os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e outros, substituindo-os por íons que formarão compostos solúveis e não prejudiciais ao homem, tais como o Na^+ . As resinas possuem limites para a troca iônica, ficando saturadas no referido metal. Esta saturação recebe o nome de ciclo e este, depois de completado, deve ser feito a regeneração da resina, que ocorre com a adição de NaCl (NUNES, 2009).

2.3.2.3. Adsorção em carvão Ativado

Remoção de compostos orgânicos e alguns metais pesados utilizando carvão ativado têm como base o processo de adsorção, no qual os compostos aderem a superfície dos grãos de carvão ou ficam presos dentro dos poros destes grãos. O material adsorvido pode ser removido, sempre que for necessário, permitindo a reutilização do carvão. O carvão ativado tem uma elevada superfície de contato por unidade de massa, maximizando assim sua capacidade de adsorção (NUNES, 2009).

2.3.2.4. Adsorção em zeólitos sintéticos

Os zeólitos atuam da mesma forma que as resinas de troca iônica empregados na adsorção de compostos orgânicos dissolvidos nas águas produzidas. Utiliza-se o processo em leito fixo e antes da passagem da água produzida através do leito adsorvedor é necessária a remoção do óleo disperso e dos sólidos em suspensão. A temperatura da água produzida deve ser mantida próxima à temperatura ambiente e a etapa de regeneração do leito requer primeira a retirada da umidade por evaporação. Posteriormente, os compostos orgânicos são removidos pela passagem da fase gasosa aquecida a temperaturas entre 200 °C e 300 °C. A fase gasosa é resfriada a 20 °C e as fases líquidas (orgânica e aquosa) condensadas são separadas. (FERNANDES, 1995; HANSEN, 1994).

2.3.2.5. Filtração por membrana

Consegue-se teoricamente uma boa remoção de compostos dissolvidos utilizando-se as membranas de nanofiltração (até 0,0008m) e osmose reversa (até 0,0001m). A osmose reversa opera sob elevadas pressões, a nanofiltração apresenta-se como um processo de filtração de maior potencial de aplicação na remoção de compostos dissolvidos. Sistemas de nanofiltração muito utilizados são o de fluxo transversal em estruturas de celulose. Como a celulose é pouco porosa, este tipo de membrana apresenta baixa tendência à obstrução. Neste caso, a água passa através desta membrana pelo processo de difusão (NUNES, 2009).

2.3.2.6. Borbulhamento com Gás

O método de tratamento de borbulhamento com gás, também chamado de stripping, é utilizado para transferir para a fase gasosa um componente volátil presente, inicialmente, numa mistura líquida, podendo ser ar, nitrogênio, gás natural ou vapor. Tanto quanto os parâmetros físicos, a taxa de remoção dos compostos voláteis da mistura líquida para a fase gasosa é governada pela temperatura e pelas propriedades químicas e físicas das fases e dos componentes a serem removidos. Vários recursos podem ser utilizados para aumentar a área de contato gás/líquido. As colunas recheadas têm sido amplamente aplicadas em indústrias petroquímicas e no tratamento de águas produzidas. Neste processo, o gás é introduzido na base da coluna e os dois fluidos entram em contato em contra - corrente. O gás contaminado é resfriado até 20 °C, para condensação dos compostos orgânicos. Sendo possível remover 90% dos compostos aromáticos e 60% dos compostos alifáticos. (FERNANDES, 1995; HANSEN, 1994).

2.3.2.7. Tratamento Biológico

Existem dois tipos de tratamentos biológicos: aeróbicos e anaeróbicos, sendo que destes só o aeróbico é economicamente viável para o tratamento de águas produzidas. O desempenho do processo aeróbico é governado pela biodegradabilidade dos contaminantes da água produzida, sendo a maioria destas águas consideradas de fácil degradação. A presença de compostos tóxicos nas águas produzidas reduz consideravelmente a taxa de biodegradação. (FERNANDES, 1995; HANSEN 1994).

2.3. Tensoativos

Os tensoativos, também chamados de surfactantes, são moléculas que possuem duas regiões distintas: uma polar e outra apolar. A região polar é hidrofílica, responsável pela solubilidade em água, pois apresenta cargas positivas e negativas que são atraídas pelas outras moléculas. Já a região apolar é hidrofóbica e não apresenta afinidade com a água devido a sua cadeia carbônica, apresentando afinidade portanto com os óleos. Assim, para ser solúvel em água, um tensoativo deve apresentar cargas, sejam elas positivas ou negativas.

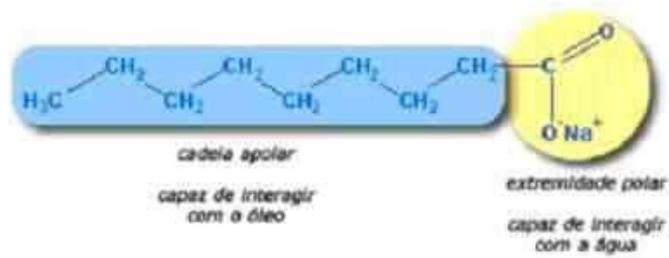


Figura 2.4: Representação de uma molécula de tensoativo.

Devido a essas duas características concentradas em uma única molécula, os tensoativos são substâncias capazes de diminuir a tensão superficial ou influenciar a superfície de contato entre dois líquidos.

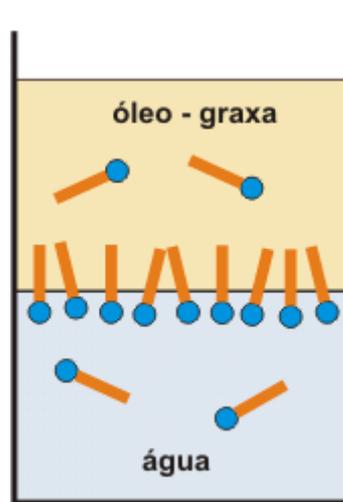


Figura 2.5: Representação do tensoativo em água-óleo.

2.3.1. Classificação dos Tensoativos

Os tensoativos também podem ser classificados em relação a sua região hidrofóbica devido a sua carga e a ausência dela. Os iônicos, que apresentam carga (catiônicos, aniônicos e anfóteros) e os não-iônicos, que não possuem carga.

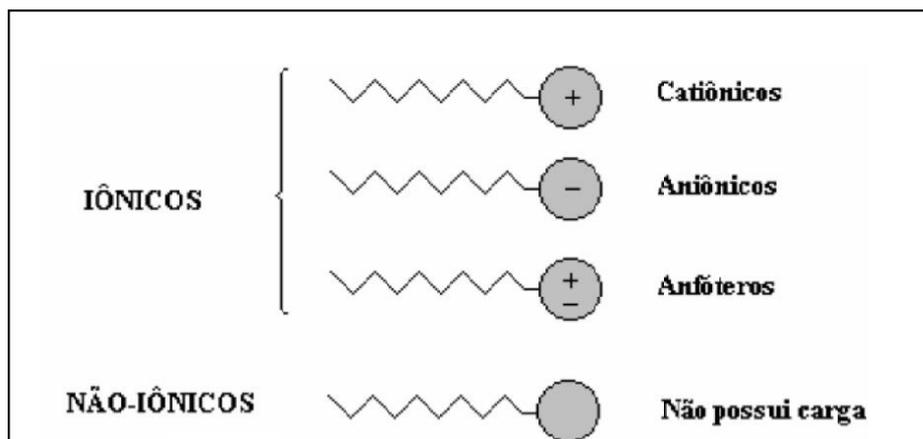


Figura 2.6: Representação dos tensoativos.

2.3.1.1. Tensoativos Aniônicos

Os tensoativos aniônicos são os de maior volume de produção entre todas as categorias de tensoativos, estes são utilizados na maioria das formulações de sabões e detergentes. Os grupos polares aniônicos mais comuns são: carboxilato, sulfato, sulfonato e fosfato.

Os tensoativos aniônicos liberam cátions, sódio ou potássio, da sua região hidrofílica quando em meio aquoso, permanecendo com carga negativa nessa região.



Figura 2.7: Estrutura molecular do tensoativo aniônico dodecil sulfato de sódio.

2.3.1.2. Tensoativos Catiônicos

Os tensoativos catiônicos são aqueles que liberam ânions quando estão em meio aquoso, ficando com carga positiva na sua região polar (hidrofílica).



Figura 2.8: Estrutura molecular do tensoativo catiônico brometo de centilpiridina.

A maioria dos tensoativos catiônicos apresenta em sua molécula pelo menos um átomo de nitrogênio com carga positiva. Tanto aminas como produtos baseados em quaternários de amônio são bastante comuns (DALTIM, 2011).

2.3.1.3. Tensoativos Anfóteros

Segundo Nunes (2009) os tensoativos anfóteros podem apresentar características catiônicas ou aniônicas, dependendo do pH do meio. Se o pH do meio for básico ele se comporta como um tensoativo aniônico, se for ácido ele se comporta como um tensoativo catiônico e se o pH for neutro o tensoativo vai assumir dupla função.

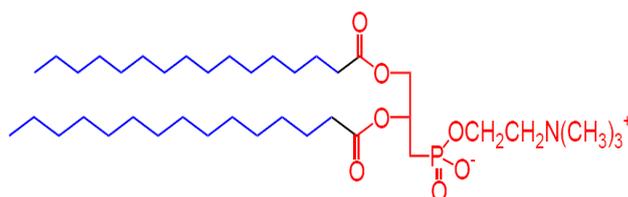


Figura 2.9: Estrutura molecular do tensoativo anfótero dipalmitolfosfatidilcolina.

2.3.1.4. Tensoativos Não-iônicos

Os Tensoativos não-iônicos, como não apresentam carga, não se ionizam em meio aquoso. A região hidrofílica tem afinidade com água devido a presença de compostos polares, como por exemplo éter e álcool.



Figura 2.10: Estrutura molecular do tensoativo não iônico polioxietileno(4) laurileter.

Os tensoativos não iônicos apresentam características bem particulares, pois são compatíveis quimicamente com a grande maioria dos demais tensoativos e suas propriedades são pouco afetadas pela variação da salinidade e pH. Exemplos comuns desse tipo de tensoativo são o nonilfenol etoxilado, os alcoóis graxos etoxilado, propileno glicol etoxilado e o polioxietileno (4) laurileter (NUNES, 2009).

2.3.2. Propriedades dos tensoativos

2.3.2.1. Micelização

A adição de monômeros de surfactante a água provoca a formação de agregados: as micelas. Uma das características comum a todos os surfactantes é a capacidade de formar agregados em solução aquosa a partir de uma determinada concentração. Estes agregados são denominados micelas.

A concentração onde inicia o processo de formação das micelas (micelização) é chamada de concentração micelar crítica (CMC), que é uma propriedade intrínseca e característica do surfactante. A principal razão que leva os monômeros de surfactante a se associarem sobre a forma de micelas é a diminuição da área de contato entre as cadeias hidrocarbônicas do surfactante e a água.

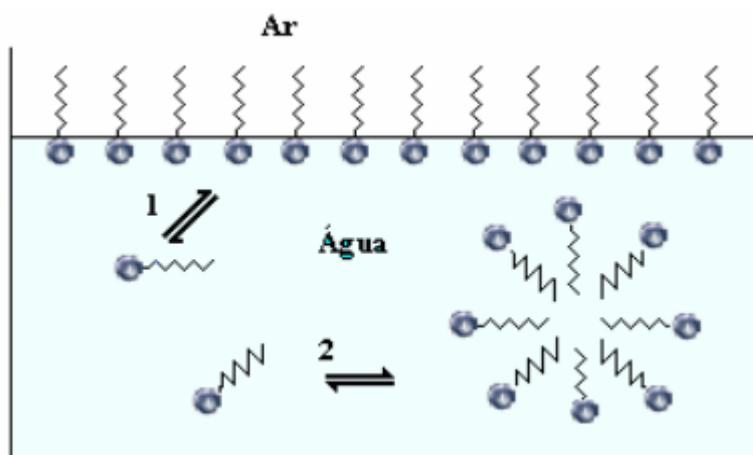


Figura 2.11: Representação esquemática da agregação molecular em solução aquosa.

A formação do agregado, porém, leva o surfactante a uma situação onde os grupos hidrofílicos (cabeças) estão muito próximos, gerando uma repulsão eletrostática que se opõe ao processo de micelização. Aqui os contraíons desempenham um papel fundamental: quando em concentração suficiente (proveniente da própria ionização do surfactante ou, ainda, como aditivos à solução), blindam a carga do agregado, diminuindo o potencial elétrico e a repulsão entre as cabeças dos monômeros.

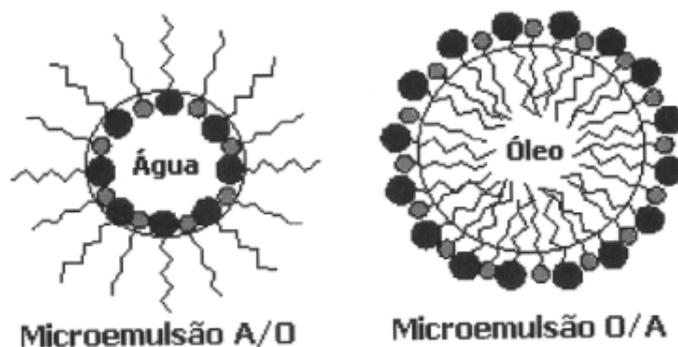


Figura 2.12: Representação das micelas.

As micelas podem ser formadas na forma direta ou inversa, sendo o seu formato determinado pela polaridade do solvente. Quando as micelas são formadas em um meio onde o solvente é polar as cabeças (parte polar) dos tensoativos ficam voltadas para o meio polar, enquanto que as caudas apolares são agrupadas voltadas para o interior da micela essas micelas são chamadas de diretas. No caso das micelas inversas o comportamento é contrário aos das micelas diretas, para solventes apolares as caudas (parte apolar) ficam voltadas para o meio apolar e as cabeças são agrupadas voltadas para o interior da micela.

2.3.2.2. Ponto de Krafft

O ponto de Krafft é observado somente nos tensoativos iônicos, de modo que, a partir de uma dada temperatura, sua solubilidade cresce exponencialmente. Somente acima deste valor, temperatura de Krafft, é que se inicia o processo de micelização, (NUNES, 2009).

O ponto de Krafft é a temperatura na qual o tensoativo passa a ser solúvel o suficiente para que suas moléculas livres estejam em concentração adequada para a formação de agregados micelares.

De acordo com a figura 2.15, verifica-se que, em baixas concentrações e acima da temperatura de Krafft, tem-se uma solução de monômeros (Zona II). A baixas concentrações, entretanto, abaixo da temperatura de Krafft, tem-se o tensoativo hidratado sob a forma de precipitado (Zona I) e para concentrações elevadas e acima da temperatura de Krafft verifica-se a formação de soluções micelares (Zona III), (SILVA, 2008).

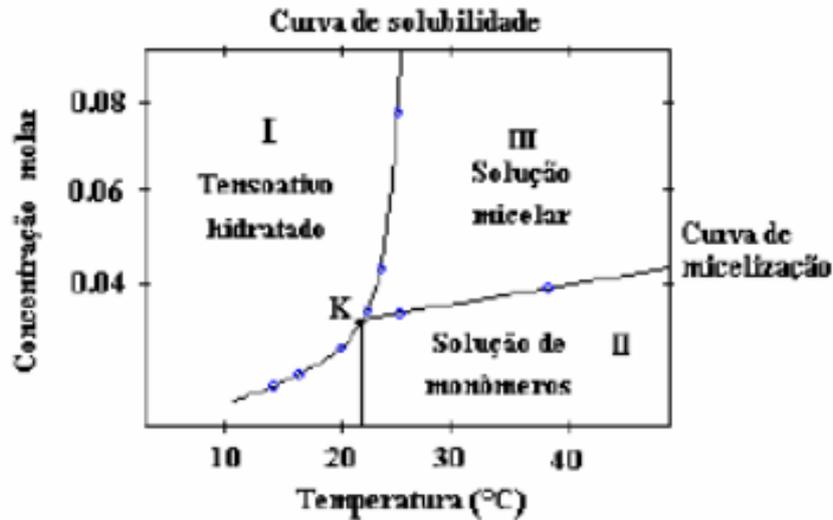


Figura 2.13: Diagrama de fases de um tensoativo iônico próximo ao ponto de Krafft.

Barros Neto (1999) explica que, a temperatura de Krafft pode ser medida através de métodos alternativos, sendo eles: método espectrofotométrico ou turbidimétrico. Entretanto devido a rapidez de determinação, o método visual vem sendo muito difundido.

2.3.2.3. Ponto de Turbidez

É uma característica particular dos tensoativos não iônicos, os quais, pela sua própria constituição, a parte hidrofílica diminui sua afinidade por água com o aumento da temperatura. Este fato faz com que o tensoativo, ao atingir a temperatura de turbidez em solução, promova uma separação de fases, sendo uma rica em tensoativo (coacervato) e outra apresentando baixa concentração do mesmo (fase diluída), o mínimo da curva $T = f(C)$ é chamado ponto de turbidez ou ponto crítico de separação das fases. Nesta última, a concentração do tensoativo na fase é próxima a da CMC do mesmo, (SILVA, 2008).

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados na realização dos experimentos estão descritos abaixo:

Tabela 5: Equipamentos utilizados.

Equipamento	Marca
Espectrofotômetro de Absorção Atômica	SpectrAA – 20 plus, Varian
Balança analítica	AG-200, Gehaka
Medidor de pH	Digimed-DM-40/23
Agitador homogeneizador	Turrathec – TE 102, Tecnal
Bomba a vácuo	Tecnal TE-0581
Sistema de filtração	Montado no NUPEG (UFRN)

O espectrofotômetro de absorção atômica (SpectrAA – 20 plus, Varian) foi utilizado com suas lâmpadas específicas para os metais em estudo.

A cada experimento realizado, todos os equipamentos eram calibrados e testados antes do manuseio.

3.2. Reagentes

Todos os reagentes foram sintetizados em laboratório, feitos com o máximo de cuidado e precisão possível para representar a realidade.

Para realizar a remoção dos metais da água sintetizada, foi utilizado o tensoativo óleo de soja, saponificado no Laboratório de Tecnologia de Tensoativo (LTT/DEQ/UFRN).

Tabela 6: Lista dos reagentes utilizados nos experimentos.

<i>Reagentes</i>	<i>Concentração</i>
NaOH	1M
HCl	1M
Solução de Ca	150 ppm
Solução de Mg	150 ppm
Solução de OSS	20000 ppm

A massa molecular do óleo de soja saponificado (OSS) é de 293,0 g/mol.

O Cálcio utilizado para a sintetização da solução de cálcio simulando a água de produção foi na forma de Carbonato de Cálcio (CaCO_3), enquanto que o magnésio utilizado para simular a água de produção foi o magnésio em raspas.

3.2.1. Óleo de Soja

Segundo Nunes (2009) a soja que no Brasil é bastante cultivada, contém de 17 a 22% de óleo, extraído através da trituração e da pressão. Apresenta coloração amarelo claro, de cheiro e gosto agradáveis. Possui um peso específico de 0,924 - 0,927 e o índice de saponificação é de 190,6 - 192,9.

O óleo de soja saponificado foi o tensoativo escolhido para os experimentos, pois segundo Nunes (2009) os tensoativos por ela utilizados apresentaram eficiências na remoção bastante similares, o que fez com que a escolha do tensoativo fosse baseada na disponibilidade do mercado. Assim, o óleo de soja, por possuir uma elevada produção e preços bastante acessíveis em qualquer região do país, foi o mais adequado para sua utilização no projeto.

3.3. Obtenção da água produzida sintética

A preparação da água sintética simulando a presença do metal cálcio, foi feita pesando-se, primeiramente 0,3745 gramas do composto carbonato de cálcio referente a 0,15 gramas de cálcio, pesagem feita através da balança analítica AG-200, Gehaka, que foi dissolvido em um volume mínimo de ácido clorídrico de 1 pra 1. Adicionou-se assim água destilada até completar 1L em um balão volumétrico. O mesmo procedimento foi feito para a água de magnésio, utilizando porém 0,15 gramas de tiras de magnésio puro e dissolvendo com um volume mínimo de ácido nítrico de 1 pra 1.

A concentração da água de produção sintética de 150 mg/L foi baseada em Fernandes Jr (2002), onde destaca ainda que a água produzida é salina (salmoura) e contém sólidos dispersos (areia, argila, lodo, outros silicatos, gipsita) e teores de sais variando de 15.000mg/L a 300.000mg/L.

A escolha da concentração de 150 mg/L na síntese da água produzida está baseada em dados de campo que apontam como sendo a concentração média dos metais presentes na água residual de produção.

3.4. Obtenção da solução do tensoativo OSS

Para a obtenção da solução de tensoativo do óleo de soja saponificado, foi pesado 20 g na balança analítica (AG-200, Gehaka), do tensoativo aniônico, sendo essa massa adicionada em um balão volumétrico de 1000 mL, obtendo assim uma solução padrão de concentração de 20000 mg/L.

3.5. Obtenção da solução padrão de cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

No espectrofotômetro de absorção atômica, antes das amostras, é necessário passar soluções padrões que determinam a faixa a ser utilizada no experimento. Como as amostras atingiam uma concentração de metal de no máximo 150 ppm, as soluções padrões foram sintetizadas com concentrações abaixo desse valor, já que a tendência era que a concentração dos metais diminuísse de acordo com a precipitação ocorrida no experimento.

Assim, foram feitos padrões de cálcio de concentrações 0, 18, 30, 120 e 150 ppm para as três etapas do procedimento experimental. Já para o magnésio os padrões foram de 0; 0,6; 6; 12 e 18 ppm.

3.6. Análise do comportamento do metal com a ação do pH

Para tentar solucionar um dos problemas que se estava tendo com a água de produção quanto a sua precipitação, que estava sendo influenciada pelo pH mesclando a ação do tensoativo, decidiu-se fazer essa etapa do experimento para analisar o comportamento do metal com a variação gradual do pH.

Essa primeira etapa foi verificado se a solução de metal apresentava qualquer mudança no seu aspecto quanto à cor, turbidez e precipitado com mínimas adições da solução básica de NaOH (1:1), para que houvesse pequenas e progressivas variações de pH na faixa entre 2-11.

Assim, com a solução do metal feita, pegou-se o pH da solução mãe, a que não tem nenhuma adição inicial de qualquer outra solução, com o medidor de pH Digimed-DM-40/23. Com a ajuda de uma bureta a solução de hidróxido de sódio (NaOH) foi sendo adicionada lentamente, gota a gota, para que houvesse um aumento gradual e crescente do pH. Com o agitador homogeneizador Turratec – TE 102, Tecnal, a solução do metal permaneceu durante todo o experimento sob agitação contínua, constante e com uma velocidade suficiente para manter a solução homogênea.

A cada variação da solução seja quanto à cor, turbidez e até mesmo a pequenos flocos que indicassem possível precipitação, uma amostra de 20 ml era retirada, filtrada e anotado o pH em que se encontrava. O pH variou-se normalmente entre 2 a 11 para ambos os metais e em todas as etapas do experimento.

Todas as amostras foram filtradas pelo sistema de filtração de bomba a vácuo Tecnal TE-0581, onde utilizou-se um filtro específico para a filtração de metais, o milipori. E finalmente, foram analisadas no espectrofotômetro de absorção atômica SpectrAA – 20 plus, Varian com suas respectivas soluções padrões.

Fonte: Próprio autor



Figura 2.14: Bomba à vácuo, Tecnal TE-0581

3.7. Análise do comportamento do metal na ação de 100% de tensoativo

Com o objetivo de verificar se o tensoativo, em sua concentração máxima (100%) de acordo com a estequiometria do respectivo metal, provocasse alguma alteração na solução sintética quanto à cor, turbidez e precipitado, foi adicionado à solução de metal, um volume correspondente da solução de 2% de tensoativo (20000 ppm) que resultasse em uma concentração de 100% na solução final. Em seguida, realizou-se o mesmo procedimento de adição de solução básica de hidróxido de sódio para variação do pH entre 2-11.

Em um balão volumétrico de 1L adiciona-se um volume de 100% de tensoativo de óleo de soja saponificado (OSS) de peso molecular 293g/mol, completando-se com a

água de 150ppm do metal. Espera-se de 4 a 5h para que haja uma boa interação entre os componentes. Em seguida, adiciona-se aos poucos, de gota em gota, solução de NaOH para ir aumentando gradualmente o pH fazendo dessa forma uma varredura do mesmo (curva de calibração). Nos pontos em que o pH varia ou quando a solução muda de comportamento retira-se uma amostra. Todas essas amostras são filtradas à vácuo pela bomba Tecnal TE-0581 e levadas ao espectrômetro de absorção atômica AA240-Varian.

As amostras passaram pelos mesmos procedimentos de aquisição, filtração e análise realizados na etapa anterior.

3.8. Análise comportamento do metal na ação da variação do pH e da concentração do tensoativo

A partir da etapa anterior, determinou-se a faixa de pH em que o tensoativo começava a precipitar o metal e de sua melhor atuação na precipitação do mesmo, caso ocorresse. Assim, fixou-se o pH mais adequado para cada metal verificado anteriormente, variando a concentração de tensoativo de 5 a 100%; totalizando 20 amostras; para que houvesse uma máxima extração através da combinação da ação de ambos esses fatores (pH e tensoativo).

Em frascos de 50 ml um volume da solução de tensoativo foi adicionado aos 20 frascos, em que cada um desses frascos apresentava uma concentração diferente uma das outras e correspondente a 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 e 100% da concentração do tensoativo na solução. Assim, variando a concentração do tensoativo nas amostras de 5 em 5 por cento até 100% totalizando as 20 amostras, foi-se possível fazer uma varredura da ação do tensoativo em suas diversas concentrações. As 20 amostras passam por um período de descanso de 4 a 5 horas para que a reação ocorra. Em seguida a solução é filtrada utilizando a bomba à vácuo Tecnal TE-0581 e levada ao espectrômetro de absorção atômica AA240-Varian para que os dados sejam tratados.

Em cada etapa dos experimentos e para cada metal, variou-se o número de amostras adquiridas, com exceção da última etapa, pois cada metal apresentava um comportamento diferente a cada variação do pH e da concentração de tensoativo. Porém, sempre tentou-se obter um número máximo de acordo com o andar e os imprevistos dos experimentos e que correspondesse a uma boa validação dos resultados.

Todas as amostras e as soluções padrões foram analisadas no espectrofotômetro de absorção atômica para a obtenção das absorbâncias. Assim, esses dados foram trabalhados para a geração dos gráficos e dos resultados.

3.9. Determinação da concentração dos metais por espectroscopia de absorção atômica

O método de análise por espectroscopia de absorção atômica (EAA) consiste na aspiração da amostra para uma chama que é atomizada. A solução do elemento a ser investigado é vaporizada na chama e dispõe-se uniformemente em microgotículas, assemelhando-se a um aerossol.

Fonte: Próprio autor



Figura 2.15: Espectrofotômetro de Absorção Atômica, SpectrAA – 20 plus, Varian

O método utilizado é bastante específico, pois apresenta raias de absorção atômica estreita e transmissões únicas para cada elemento. A fonte responsável pelas linhas de emissão é uma lâmpada de cátodo oco; onde o componente ativo é o cátodo do elemento em estudo e um ânodo é constituído por um fio metálico. Assim, sua estabilidade é evidenciada, promovendo a reprodutibilidade do método.

Segundo Nunes (2009) para se obter uma alta reprodutibilidade é importante o controle dos parâmetros sujeitos a variabilidade, como: solvente, emissor, eliminador de interferentes, chama, abertura da fenda e os fatores relativos a qualidade da amostra.

Portanto, seguiu-se assim o manual do equipamento para a operação ser realizada em condições adequadas para cada metal. Dados tais como combustível para a chama, a corrente da lâmpada, a faixa de concentração com o respectivo comprimento de onda, abertura da fenda e também os compostos químicos eliminadores de interferência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados e discutidos os resultados referentes ao estudo do comportamento dos metais nos três procedimentos explicados anteriormente.

As soluções padrões foram analisadas no espectrofotômetro de absorção atômica obtendo as absorvâncias de cada amostra, em que correspondiam a concentrações predeterminadas.

4.1. Etapa 1: Análise do comportamento do metal com a variação do pH

Após realizados os experimentos, tanto as soluções padrões quanto as amostras foram analisadas no espectrofotômetro de absorção atômica. A partir dos dados obtidos das soluções padrões, plotou-se absorvância versus concentração encontrando a equação abaixo:

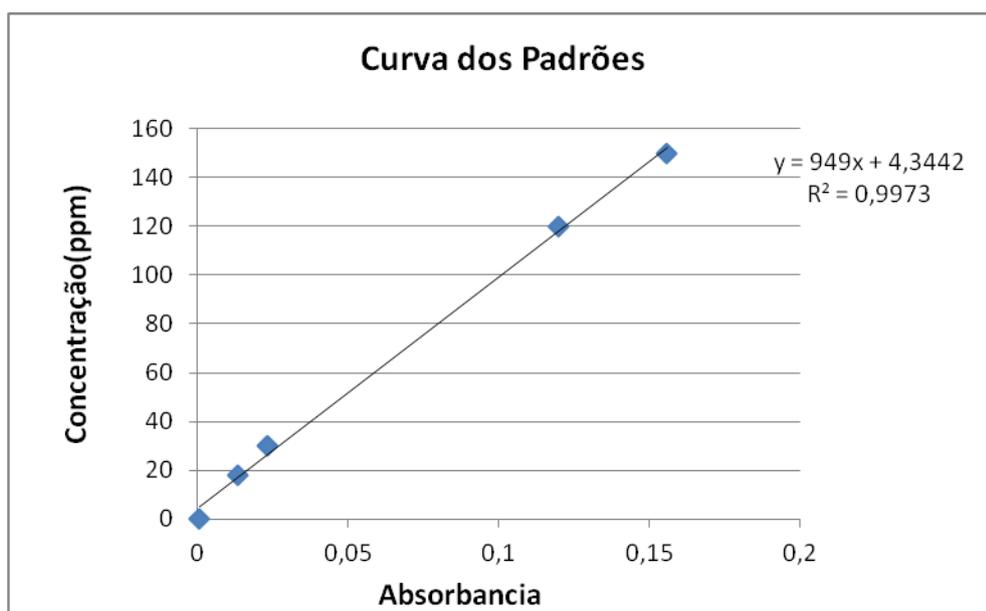


Gráfico 5.1.1: Curva dos padrões de cálcio referente a primeira etapa

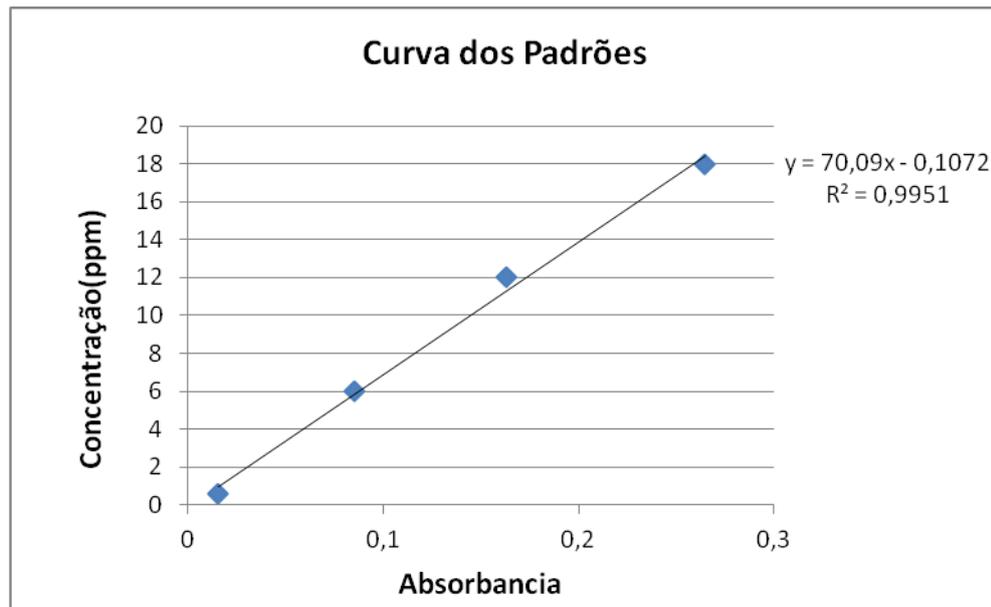


Gráfico 5.1.2: Curva dos padrões de magnésio referente a primeira etapa

Observa-se que o eixo x é referente à absorbância e o eixo y à concentração. Assim, a equação encontrada representa a relação entre elas onde a concentração está em função da absorbância, possibilitando encontrar as concentrações das amostras, onde tem seus valores desconhecidos, através da absorbância analisada no equipamento de absorção atômica.

As amostras foram filtradas e analisadas no espectrofotômetro, logo depois da leitura dos padrões, e através da absorbância adquirida e juntamente com a equação linear obtida calculou-se as concentrações em função das absorbâncias experimentais e assim, verificou-se se o metal precipitava com a variação do pH.

O gráfico abaixo mostra o percentual de extração do cálcio e do magnésio à medida que o valor do pH aumenta progressivamente.

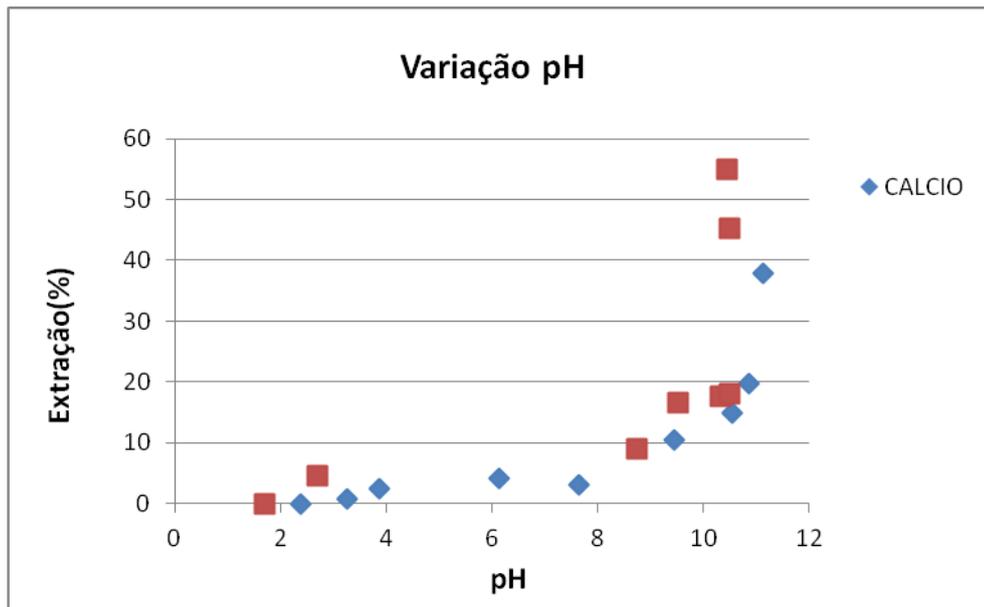


Gráfico 5.1.3: Curva das amostras de cálcio e magnésio referente a primeira etapa

Observando o gráfico podemos perceber que o cálcio e o magnésio sofrem influência do pH a medida que atinge valores alcalinos. A remoção começa a ser significativa a partir do pH 10 e atinge uma remoção de quase 40% no cálcio e 60% no magnésio nas proximidades do pH 12.

Ambos os metais, cálcio e magnésio, precipitam a pH's alcalinos, não apresentando qualquer alteração em pH's ácidos.

4.2. Etapa 2: Análise do comportamento do metal com 100% de tensoativo

Os mesmos procedimentos foram realizados na segunda etapa, tanto para os padrões quanto para as amostras. A diferença está na presença do tensoativo em sua concentração máxima na solução de metal, que depois de misturados e de um tempo de interação, fez-se a curva de calibração aumentando-se aos poucos o pH da solução e observando as alterações ocorridas.

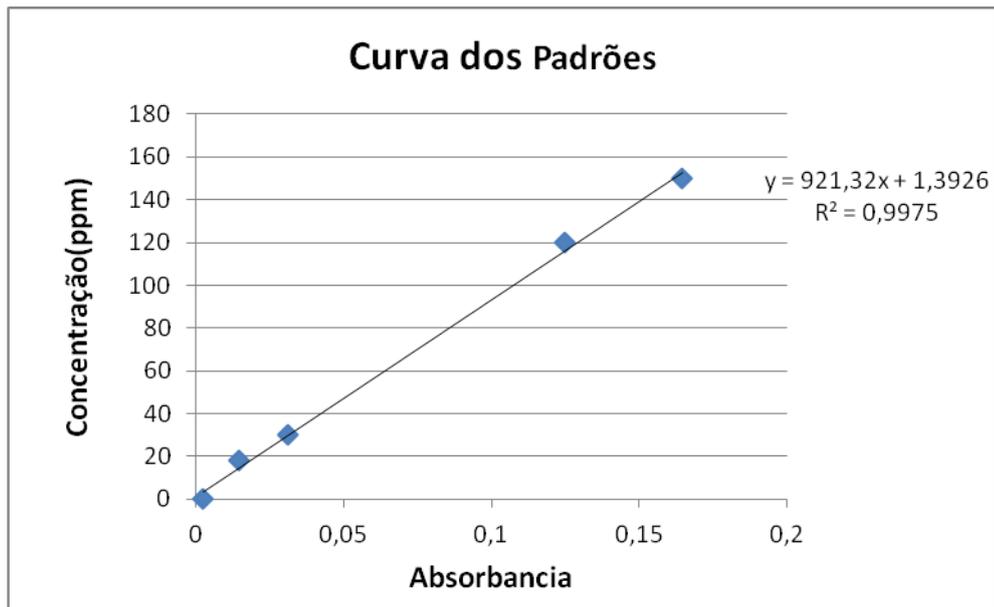


Gráfico 5.2.1: Curva dos padrões de cálcio referente a segunda etapa

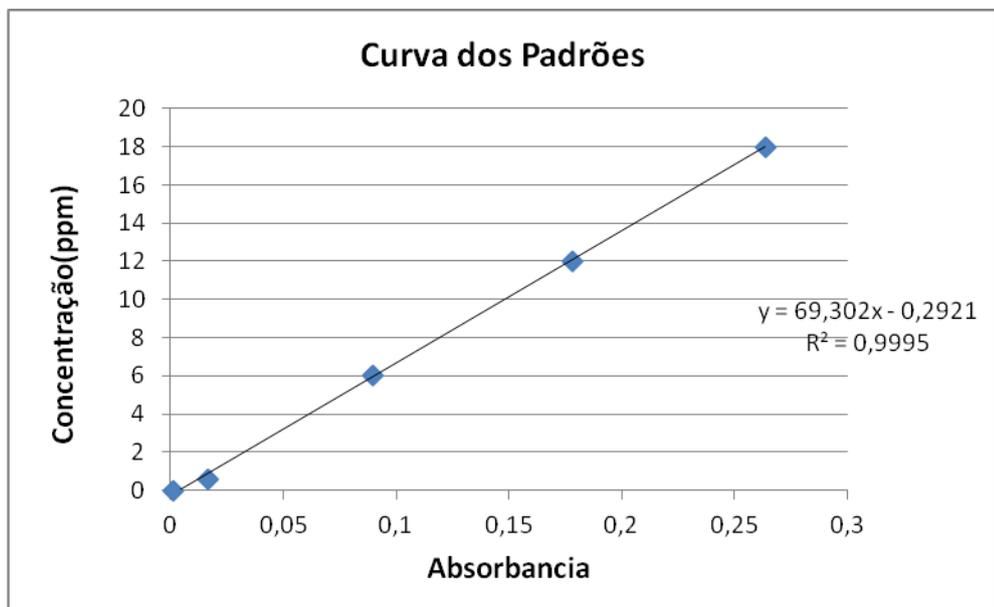


Gráfico 5.2.2: Curva dos padrões de magnésio referente a segunda etapa

Seguindo o mesmo raciocínio da primeira etapa, com a equação linear obtida calculou-se a concentração das amostras e assim a porcentagem extraída do cálcio com a variação do pH na presença de 2193,66 ppm de tensoativo referente a concentração máxima de 100% do mesmo e 3616,54 ppm de tensoativo referente a concentração máxima de 100% do mesmo na solução de magnésio.

Assim, plotou-se o gráfico pH versus extração para observar o comportamento do metal com a variação do pH na máxima concentração de tensoativo (100%).

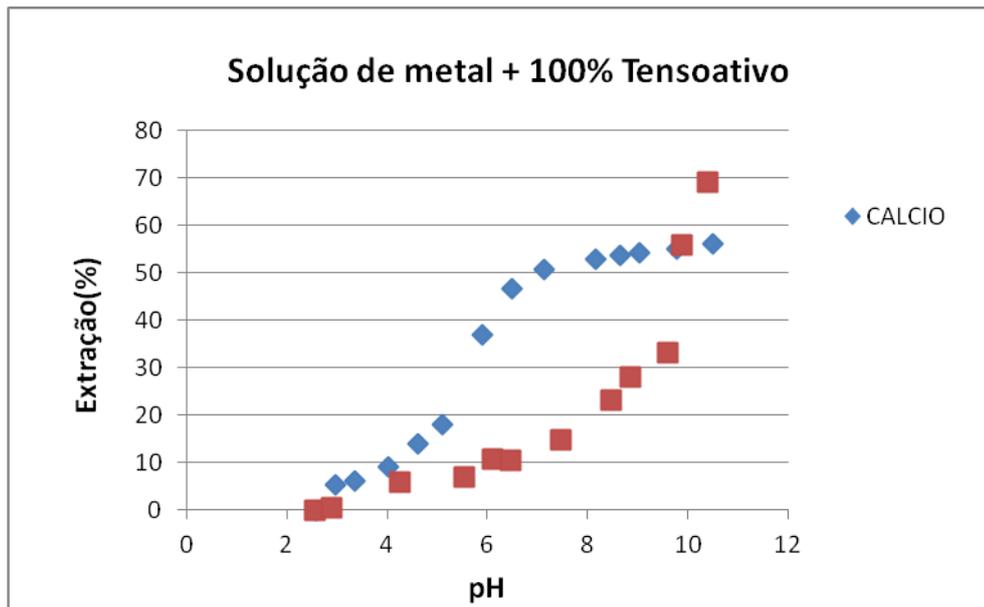


Gráfico 5.2.3: Curva das amostras de cálcio e magnésio referente a segunda etapa

Pelo gráfico 5.2.3 percebe-se que a precipitação se antecipa para o pH 6 no cálcio e 8 no magnésio, enquanto que para uma mesma porcentagem de extração o pH era 10 no experimento anterior, referente somente a variação do pH.

Outro fator a ser observado é que o tensoativo aumentou a extração do metal. Na primeira etapa, de variação de pH, a extração máxima atingida foi um pouco abaixo dos 40% para o cálcio e para o magnésio de 60%, enquanto que aqui nesta etapa aproximou-se dos 60 e 70% respectivamente.

4.3. Etapa 3: Análise do comportamento do metal com a variação da concentração de tensoativo

Procedendo-se da mesma forma que as etapas anteriores, a partir dos dados obtidos plotou-se linearmente absorvância versus concentração encontrando a equação abaixo:

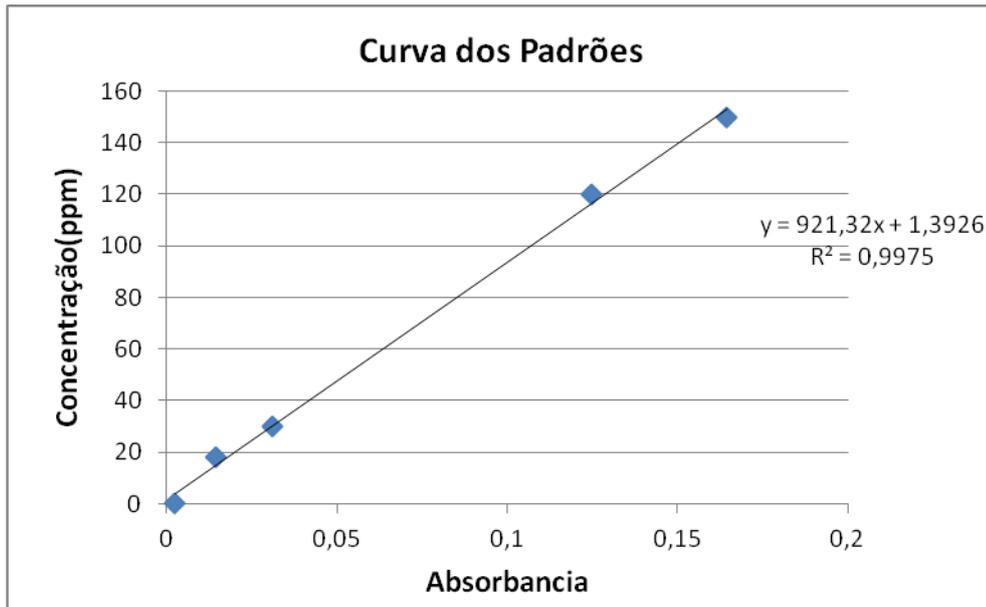


Gráfico 5.3.1: Curva dos padrões de cálcio referente a terceira etapa

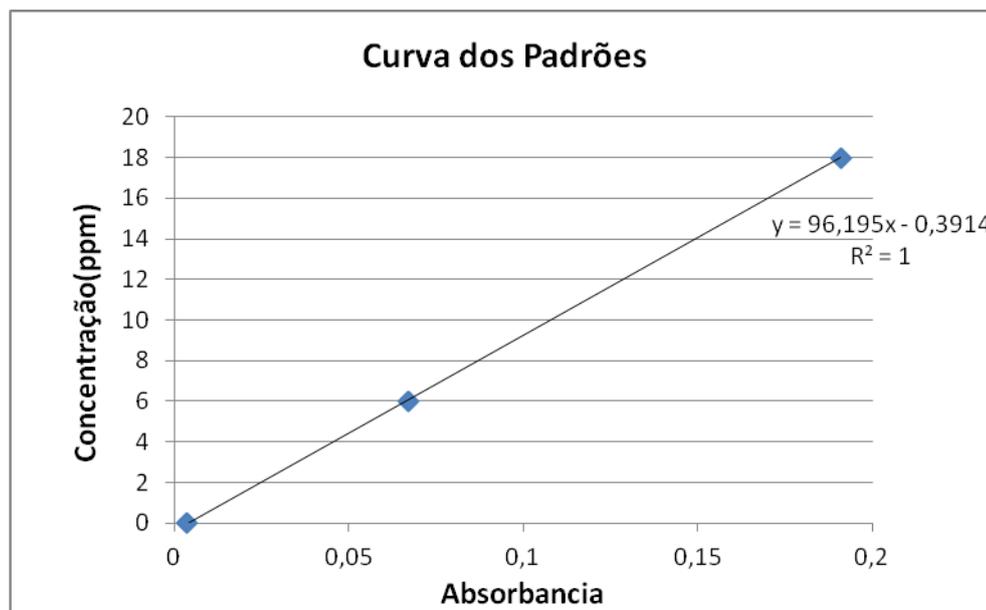


Gráfico 5.3.2: Curva dos padrões de magnésio referente a terceira etapa

Assim, plotou-se o gráfico abaixo para observar o comportamento do metal a um pH fixo, porém variando a concentração do tensoativo.

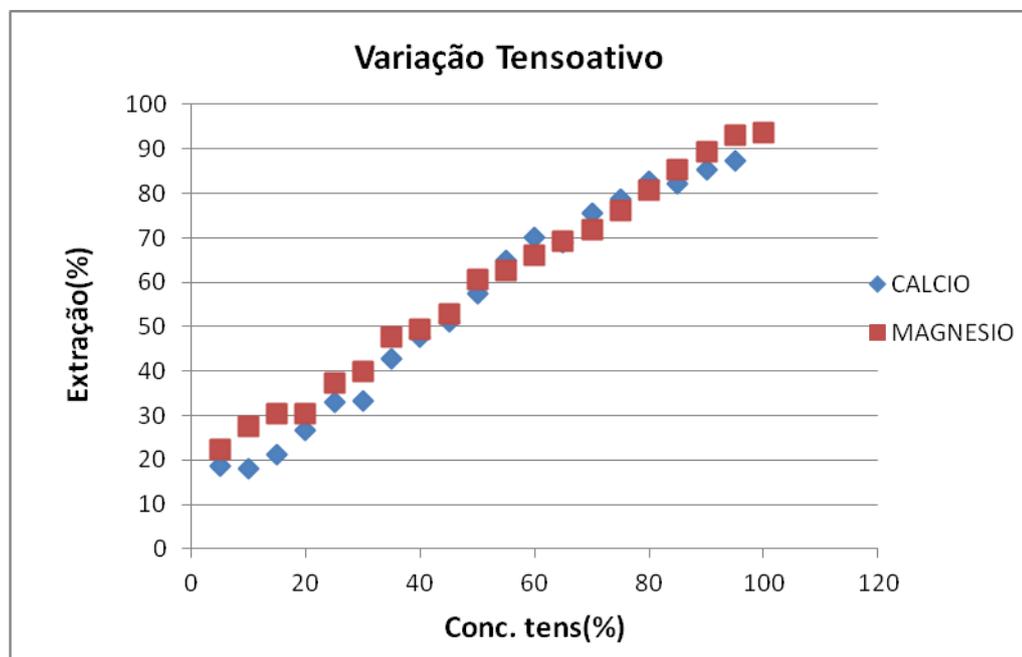


Gráfico 5.3.3: Curva das amostras de cálcio e magnésio referente a terceira etapa

Nesta ultima etapa do experimento, percebe-se que a combinação do pH e do tensoativo aumentou a porcentagem de extração do metal. Enquanto que na primeira e segunda etapa a extração foi na faixa de 40 a 70%, aqui atingiu as proximidades dos 90%. Isso mostra que ambos esses parametros são importante durante o processo de precipitacao do metal, e que combinados são excelentes na extração.

A primeira etapa do experimento mostra que o pH só atua na precipitação dos metais a altos valores, ou seja, quando a solução apresenta pH fortemente alcalino (10-11). Já na segunda etapa do experimento, percebe-se que o tensoativo antecipa o início da precipitação dos metais quando o pH está bastante próximo da neutralidade (6-8).

Essas duas análises foram de extrema importância para a realização desta última etapa do experimento, pois se fixássemos o pH em altos valores alcalinos, a ação seria predominantemente do pH e a ação do tensoativo seria mesclada e de pouca significância. E se fixássemos o pH em baixos valores ácidos, não haveria ação de nenhum desses dois parâmetros, uma vez que não houve nenhuma precipitação notável.

Assim, obteu-se uma faixa da atuação do tensoativo em que não fosse influenciada fortemente pelo pH, mas que este auxiliasse na ação de remoção do

tensoativo em relação ao metal, ou seja, a ação conjunta desses dois fatores determinantes para a acentuação da extração, que é o objetivo desta etapa. O pH, portanto, da solução de cálcio foi fixado em 5,56 e do magnésio 8,4.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostra; pelo seus experimentos, resultados e discussões; as seguintes conclusões:

A análise dos gráficos e dos dados mostrou que não somente o tensoativo é o responsável pela extração dos metais e que o pH é um fator importante, uma vez que apresenta bastante influência na precipitação.

A extração de metais bivalentes pode ser feita através da ação de remoção de tensoativos aniônicos, onde interagindo com os metais, formam complexos insolúveis na água, causando sua precipitação e separação do meio.

Percebeu-se também, a dependência da extração dos metais tanto da ação do pH como também da concentração do tensoativo no meio.

Foi possível perceber também que a ação conjunta do pH e do tensoativo proporcionou uma melhora na precipitação, determinando portanto uma faixa de remoção mais restrita e ideal.

No caso do cálcio, por exemplo, na primeira etapa em que se varia somente o pH a precipitação se iniciou no pH 10. Já na segunda etapa em que há 2193,66 ppm de tensoativo a precipitação foi para 6. Ou seja, a presença do tensoativo antecipou a remoção do metal. E na última etapa conseguiu-se o perfil gradual de remoção do metal atingindo uma boa remoção, pois ajustou-se o pH ideal analisado nas etapas anteriores(5,56).

O mesmo acontece com o magnésio que na primeira etapa começou a precipitar no pH 10 e a presença do tensoativo na segunda etapa com concentração de 3616,54 caiu para 7. O comportamento na terceira etapa ficou bem semelhante ao do cálcio. Isso pode ser explicado, pois ambos estão na mesma família na tabela periódica, apresentando portanto comportamentos e propriedades semelhantes.

O pH, portanto, é um parâmetro que deve ser levado em consideração nas soluções de metais quando se tem como objetivo a extração, e que combinando com a ação do tensoativo pode tornar essa precipitação ainda mais acentuada.

Tendo como base todos os aspectos aqui apresentados, pode-se concluir que esse procedimento experimental, aplicado como uma alternativa na remoção de metais com a ação conjunta de tensoativo e pH, pode ser utilizado para tais fins com significativa porcentagem de extração, mostrando assim, ser um processo de bastante eficiência e de fácil execução.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS NETO, E.L., Extração de cobre utilizando microemulsões. 69f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-DEQ-PPGEQ, 1994.
- Daltin Decio, *Tensoativos Química, propriedades e aplicações*. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2011;
- FERNANDES JR, W. E. Planejamento experimental aplicado a um novo separador líquido-líquido utilizado no tratamento de águas residuais contaminadas com petróleo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2002
- HANSEN, B.R. & DAVIES, S.R.H., Review of potential technologies for the removal of dissolved components from produced water. Transactions of the institution of chemical engineers, London, 1994
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005;
- NUNES, S. K. S. Remoção conjugada de metais e óleo de água produzida. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2009
- Ramalho, A, M, Z. Estudo de reatores eletroquímicos para remoção de Cu^{2+} , Zn^{2+} , fenol e BTEX em água Produzida. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Centro de Ciências Exatas da Terra, Departamento de Engenharia de Petróleo, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte;
- OLIVEIRA, R.C.G, Oliveira, M.C.K Remoção de Contaminantes Tóxicos dos Efluentes Líquidos Oriundos da Atividade de Produção de Petróleo no Mar, Bol. Téc. PETROBRAS, Rio de Janeiro, 43 (2): 129-136, abr./jun. 2000;

- SILVA, P. K. L. Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2008.
- THOMAS, J, E., Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 1º Ed., Rio de Janeiro, Interciência, PETROBRAS, 2001.

7. ANEXOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO DA EMPRESA:

Petróleo Brasileiro S.A.

Graduanda: *Natália Moraes Medeiros*

Orientador de estágio: *Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto*

Supervisor de estágio: *Engenheiro Cícero Sena Moreira Gomes*

Natal, agosto de 2013

Natália Moraes Medeiros

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório apresentado junto ao Departamento de Engenharia Química da UFRN como pré-requisito para obtenção do conceito na atividade DEQ0537 – Estágio Supervisionado, visando à conclusão do curso de graduação em Engenharia Química.

Natal, agosto de 2013

RESUMO

O presente relatório visa relatar as atividades realizadas pela estagiária Natália Moraes Medeiros, aluna do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, na empresa Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS, na análise de projetos e processos do Setor de Engenharia de Instalações (na área de análise de projetos e processos), Ativo de Produção do Alto do Rodrigues (ATP-ARG/DP) do Suporte Técnico da Unidade de Operações do Rio Grande do Norte e Ceará – UO-RNCE.

As atividades foram voltadas principalmente para a avaliação da operação de geradores de vapor utilizando-se de simuladores de processos HYSYS e PIPESIM, como também em painéis de acompanhamento de processos, Planting Information em conjunto com o Microsoft Office Excel 2003.

O estágio foi realizado no período de 07 de novembro de 2012 a 21 de julho de 2013. A aluna foi supervisionada pelo Engenheiro de Processamento Sênior Cícero Sena Moreira Gomes e orientada pelo Prof. Dr. Eduardo Lins de Barros Neto, professor do Departamento de Engenharia Química da UFRN.

A disciplina de estágio supervisionado possibilita que o aluno participe e/ou acompanhe as atividades desenvolvidas pelos profissionais da área escolhida, facilitando assim a inserção no mercado de trabalho. Durante o estágio o aluno pode contribuir com os conhecimentos adquiridos durante a sua vida acadêmica, adquirir novos conhecimentos, trabalhar em equipe e participar da rotina da empresa.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	54
2. A EMPRESA.....	55
2.1. Histórico da Empresa.....	56
2.2. Atividades da Petrobras na Bacia Potiguar	59
2.2.1. Ativos	60
3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	61
3.1. Análise de criticidade de fluxo em ECV's (HYSYS)	61
3.2. Modelagem do escoamento das malhas no campo do Alto do Rodrigues e Estreito (PIPESIM)	61
3.3. Simulação de vazamento em Estreito (PIPESIM).....	61
3.4. Análise do escoamento do sistema de tratamento de água para geradores de vapor em Estreito e Alto do Rodrigues.....	61
4. CONTEÚDOS APLICADOS	63
5. AVALIAÇÃO DO RETORNO DO ESTÁGIO	64
6. REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

Este relatório visa mostrar as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado realizado na PETROBRAS, como também a importância e contribuição profissional e pessoal adquirida durante o período na empresa.

Os setores onde as atividades de estágio supervisionado foram desenvolvidas foram: Engenharia de Instalações (na área de análise de projetos e processos), Ativo de Produção do Alto do Rodrigues (ATP-ARG/DP) do Suporte Técnico da Unidade de Operações do Rio Grande do Norte e Ceará – UO-RNCE.

As experiências vividas e as atividades desenvolvidas durante o estágio possibilitaram o amadurecimento profissional na área de Engenharia de Processamento, tornando o profissional mais capacitado e confiante para a inserção no mercado de trabalho.

2. A EMPRESA

A Petrobrás foi a indústria de petróleo pioneira no Brasil, pioneirismo que veio acompanhado por várias dificuldades, entre as quais a falta de infra-estrutura e de tecnologias que se adequassem às necessidades surgentes.

Nos anos 50 e 60, a empresa construiu suas primeiras refinarias, que, em conjunto com os campos descobertos e explorados no solo baiano, iriam formar o núcleo de crescimento de uma das mais importantes empresas da América Latina.

A indústria nacional era, então, pouco desenvolvida, e a Petrobrás contribuiu para estimular seu crescimento. Naquela época, com a necessidade de dotar o Brasil de uma infraestrutura adequada, o Governo optou pela substituição de importações e pelo incentivo à instalação de empresas estrangeiras no Brasil.

No início da década de 80 este modelo foi substituído pelo Sistema de Nacionalização, onde foi feita a substituição da importação de itens prioritários. Este sistema passou a buscar fornecedores alternativos e uma maior autonomia de decisão da empresa nos aspectos tecnológicos e industriais.

A demanda por materiais altamente sofisticados era crescente, principalmente pela necessidade de viabilizar a extração do óleo e do gás em águas cada vez mais profundas, situação em que, muitas vezes, não havia, no mundo, tecnologias disponíveis para esse propósito.

No final da mesma década, com a legislação que previa a modernização e o aumento da competitividade do parque industrial no Brasil, foram criados mecanismos de estímulo ao desenvolvimento tecnológico. O mercado interno, a esta altura, já atendia a 94% das necessidades da Petrobrás.

Em 1997 a Petrobras passou a atuar em um novo cenário de competição instituído pela Lei 9478, que abriu as atividades da indústria petrolífera no Brasil à iniciativa privada. Nesse mesmo ano, o Brasil ingressou no seleto grupo de 16 países que produz mais de 1 milhão de barris de óleo por dia.

Com a lei, foram criados a Agência Nacional do Petróleo (ANP), encarregada de regular, contratar e fiscalizar as atividades do setor e o Conselho Nacional de Política Energética, um órgão formulador da política pública de energia.

Em 1998, a Petrobras ocupava a posição de 14º maior empresa de petróleo do mundo e a sétima maior entre as empresas de capital aberto, segundo a pesquisa divulgada pela Petroleum Intelligence Weekly. Com sede localizada na cidade do Rio de Janeiro, ela possui escritórios e gerências de administração em importantes cidades brasileiras como Salvador, Brasília e São Paulo.

Devido à alta competitividade do novo cenário da indústria de energia, a Petrobrás reposicionou-se em relação ao futuro, utilizando os mais modernos instrumentos de gestão.

Ela desenvolve diversas atividades no exterior e mantém uma consistente atividade internacional, como a compra e venda de petróleo, tecnologias, equipamentos, materiais e serviços, o acompanhamento do desenvolvimento da economia americana e europeia, a operação financeira com bancos e bolsa de valores, o recrutamento de pessoal especializado, afretamento de navios e o apoio em eventos internacionais, entre outros.

Além de estar presente em diversos países da América (Argentina, Bolívia, Colômbia e Estados Unidos) e África (Angola e Nigéria), a Petrobras conta ainda com o apoio de seus escritórios no exterior, como em Nova Iorque

(ESNOR), e no Japão (ESJAP).

A empresa possui ainda o Centro de Pesquisas da Petrobras – CENPES que conta com uma das mais avançadas tecnologias na área de petróleo, desenvolvendo técnicas e métodos próprios. As pesquisas realizadas posicionam o Brasil entre os países de tecnologia de ponta da indústria do petróleo.

2.1. Histórico da Empresa

Em outubro de 1953, através da Lei 2.004, a criação da Petrobrás foi autorizada com o objetivo de executar as atividades do setor petróleo no Brasil em nome da União.

A Petróleo Brasileiro S.A. iniciou suas atividades com o acervo recebido do antigo Conselho Nacional do Petróleo (CNP), que manteve sua função fiscalizadora sobre o setor. Este acervo se resumiu em:

- Campos de petróleo com capacidade para produzir 2.700 barris por dia (bpd);
- Bens da Comissão de Industrialização do Xisto Betuminoso;

- Refinaria de Mataripe-BA (atual RELAM), processando 5.000 bpd;
- Refinaria em fase de montagem, em Cubatão-SP (atual RPBC);
- Vinte petroleiros com capacidade para transportar 221 mil toneladas;
- Reservas recuperáveis de 15 milhões de barris;
- Consumo de derivados de 137.000 bpd;
- Fábrica de fertilizantes em construção (Cubatão - SP).

Ao longo de quatro décadas, a empresa tornou-se líder em distribuição de derivados no País, num mercado competitivo fora do monopólio da União, colocando-se entre as quinze maiores empresas petrolíferas na avaliação internacional.

Por ser detentora de uma das tecnologias mais avançadas do mundo para a produção de petróleo em águas profundas e ultraprofundas, a companhia foi premiada duas vezes, em 1992 e 2001, pela Offshore Technology Conference (OTC), o mais importante prêmio do setor.

Em 1997, o Brasil, através da Petrobras, ingressou no seleto grupo de 16 países que produz mais de um milhão de barris de óleo por dia. Nesse mesmo ano foi promulgada a Lei nº 9.478, que abriu as atividades da indústria petrolífera no Brasil à iniciativa privada.

Com a lei, foram criados a Agência Nacional do Petróleo (ANP) encarregada de regular, contratar e fiscalizar as atividades do setor e o Conselho Nacional de Política Energética, um órgão formulador da política pública de energia.

Desde então a Petrobrás dobrou sua produção e em 2003 ultrapassou a marca de dois milhões de barris de óleo e gás natural por dia.

A explicação para o sucesso da Petrobras está na eficiência de suas unidades espalhadas por todo o Brasil: nas refinarias, áreas de exploração e de

produção, dutos, terminais, gerências regionais e na sua grande frota petroleira.

Além das atividades da holding, o Sistema Petrobras inclui subsidiárias -

empresas independentes com diretorias próprias, interligadas à Sede. São elas:

- Petrobras Gás S.A - Gaspetro, subsidiária responsável pela comercialização do gás natural nacional e importado.
- Petrobras Química S.A - Petroquisa, que atua na indústria petroquímica;
- Petrobras Distribuidora S.A. - BR, na distribuição de derivados de petróleo;

- Petrobras Internacional S.A. - Braspetro, que atua nas atividades de exploração e produção e na prestação de serviços técnicos e administrativos no exterior;
- Petrobras Transporte S.A. - Transpetro, criada para executar as atividades de transporte marítimo e dutoviário da Companhia.
- Braspetro Oil Services Company - BRASOIL, que atua, principalmente, na prestação de serviços em todas as áreas da indústria do petróleo, bem como no comércio de petróleo e de seus derivados.
- Braspetro OilCompany - BOC, que atua na pesquisa, lavra, industrialização, comércio, transporte, armazenamento, importação e exportação de petróleo e de seus derivados.
- Petrobras International Braspetro B.V. - PIB, participa em sociedades que atuam em pesquisa, lavra, industrialização, comércio, transporte armazenamento, importação e exportação de petróleo e de seus derivados.
- Petrobras Negócios Eletrônicos S.A., participa no capital social de outras sociedades que tenham por objetivo atividades realizadas pela Internet ou meios eletrônicos.
- Petrobras Comercializadora de Energia Ltda, que permite a atuação da Companhia nas novas atividades da indústria de energia elétrica no Brasil
- Petrobras International Finance Company - PIFCO, criada com o objetivo de facilitar a importação de óleo e produtos derivados de petróleo.

De acordo com o modelo de estrutura organizacional, a Companhia passou a funcionar com quatro áreas de negócio - E&P (Exploração e Produção), Abastecimento, Gás & Energia e Internacional -, duas de apoio - Financeira e Serviços - e as unidades corporativas ligadas diretamente ao presidente. Além de melhorar todo aspecto operacional e os resultados da empresa, a nova estrutura abre espaço para que os empregados desenvolvam seu potencial e se beneficiem do valor agregado ao negócio.

A Petrobras desenvolve diversas atividades no exterior e mantém uma consistente atividade internacional, tal como: compra e venda de petróleo, tecnologias, equipamentos, materiais e serviços; acompanhamento do desenvolvimento da economia americana e européia; operação financeira com bancos e bolsa de valores; recrutamento de pessoal especializado; afretamento de navios.

2.2. Atividades da PETROBRAS na Bacia Potiguar

A Petrobrás tem como objetivo realizar atividades de exploração e produção, refino, transporte, armazenamento e distribuição. As atividades da PETROBRAS no Rio Grande do Norte e Ceará abrangem as áreas de produção da Bacia Potiguar, e estão vinculadas ao sistema PETROBRAS mediante a existência da UO-RNCE.

A UO-RNCE é uma unidade integrada que, além de explorar, processa o petróleo e o gás natural transformando-os em: diesel, querosene de aviação - QAV, GLP, NAFTA e gás industrial.

A UO-RNCE tem como objetivos:

- Procurar reservatórios de petróleo e gás natural;
- Conduzir trabalhos de perfuração de poços visando, principalmente, a
- Descoberta e exploração de reservatórios de óleo e gás;
- Promover o desenvolvimento, a produção e o armazenamento de petróleo e gás natural associados a UN-RNCE, estão os ativos de produção:
- Ativo de Produção de Mossoró - ATP-MO;
- Ativo de Produção do Alto do Rodrigues - ATP-ARG;
- Ativo de Produção do Mar - ATP-MAR;
- Unidade de Tratamento e Processamento de Fluidos - UTPF.
- Abaixo na figura 1, está mostrado o organograma simplificado do órgão de lotação do estágio.

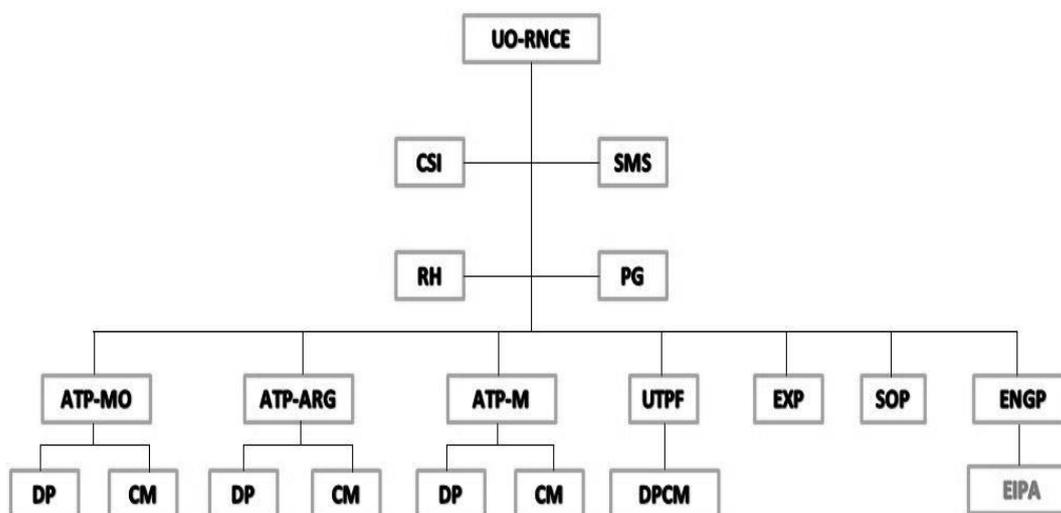


Figura 1 - Organograma simplificado do órgão de lotação do estágio

2.2.1 – Ativos

São quatro os ativos, sendo três de produção e um de tratamento e processamento:

- Ativo de Produção de Mossoró - ATP-MO;
- Ativo de Produção do Alto do Rodrigues - ATP-ARG;
- Ativo de Produção do Mar - ATP-MAR;
- Unidade de Tratamento e Processamento de Fluidos - UTPF.
- A principal missão dos ativos é gerir as concessões de produção de sua área de atuação, responsabilizando-se pelos seus resultados, de acordo com as políticas e diretrizes da UN.

3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Neste item serão descritas as atividades desenvolvidas durante o estágio.

3.1. *Análise de criticidade de fluxo em ECV's (HYSYS)*

Várias simulações foram realizadas utilizando o programa HYSYS para verificar as condições críticas do fluxo nas Estações Controladoras de Vapor. Análises foram feitas quanto a vazão, pressão e diâmetro de orifício da placa em relação à capacidade de alívio da PSV.

3.2. *Modelagem do escoamento das malhas no campo do Alto do Rodrigues e Estreito (PIPESIM)*

Uma análise completa de todas as malhas de Alto do Rodrigues e de Estreito foi feita, simulando o escoamento com as condições das estações e dos poços. Pressões, vazões, temperaturas, diâmetros e extensão das tubulações, diferença de elevações, tipo de material, dentre outros dados foram levantados e analisados com a utilização do programa de simulação de escoamentos PIPESIM.

3.3. Simulação de vazamento em Estreito (PIPESIM)

Simulou-se as condições limites de operação das malhas de escoamento para que houvesse um possível vazamento nas tubulações das malhas de Estreito, analisando principalmente as vazões, pressões e extensão das tubulações, bombas e orifícios.

3.4. Análise do escoamento do sistema de tratamento de água para geradores de vapor em Estreito e Alto do Rodrigues (PIPESIM)

Com o projeto de perfuração de novos poços na região do Alto do Rodrigues e Estreito, analisou-se a situação atual e as possíveis modificações que atendam as necessidades futuras. Assim, os sistemas de tratamento de água como também os geradores de vapor, suas condições operacionais e suas capacidades para atender os poços de petróleo foram analisadas e simuladas no PIPESIM.

4. CONTEÚDOS APLICADOS

Neste item destacamos as matérias/assuntos que mais foram requisitados durante o período do estágio com base na grade curricular do curso:

- 1) Engenharia dos Processos – dimensionamento e simulação de cada equipamento e do processo como um todo, HYSYS;
- 2) Modelagem e Simulação – manuseio do HYSYS para simular e modelar bombas, vasos, válvulas;
- 3) Fenômenos de Transporte – dimensionamento de bombas;
- 4) Introdução ao Projeto de Processos - elaboração de fluxogramas de processos;
- 5) Segurança do trabalho - Utilização de EPI's;
- 6) Operações Unitárias – processo de funcionamento de equipamentos industriais tais como vasos separadores e tancagem;
- 7) Instrumentação – identificação, interpretação e compreensão dos fluxogramas de processos e sua linguagem.

5. AVALIAÇÃO DO RETORNO DO ESTÁGIO

Em relação aos conhecimentos adquiridos, a aprendizagem e o aperfeiçoamento no uso das ferramentas computacionais: Excel, HYSYS e PIPESIM foram os principais. Apesar do Excel ser uma ferramenta bastante utilizada no nosso dia a dia, nem sempre sabemos usar todas as funções do software. Assim, uma das grandes contribuições foi o aprimoramento no manuseio do programa e a percepção da sua importância como ferramenta essencial no ambiente de trabalho.

A utilização de software de modelagem e simulação, como o HYSYS, visto em disciplinas como *Engenharia dos Processos e Modelagem e Simulação de Processos Químicos*, foram de extrema importância para os constantes trabalhos desenvolvidos em projetos de análise de processo e elaboração de fluxograma de processo.

Disciplinas como *Segurança do Trabalho e Instrumentação* foram indispensáveis durante todo o período de estágio, para que as visitas técnicas ao campo fossem realizadas com segurança obedecendo às normas da empresa, como também, facilitando o uso de fluxogramas de processos, prática bastante rotineira e constante no escritório.

Em relação ao aspecto pessoal, social e profissional, o desenvolvimento de trabalho em equipe, como divisões de tarefas, cumprimento de prazos, relacionamento com colegas, são questões adquiridas não só no estágio, mas durante toda a graduação, mas que vale serem ressaltadas, pois o relacionamento no trabalho é bem diferente do relacionamento entre colegas de turma.

6. REFERÊNCIAS

THOMAS, J. E.; Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Editora Interciência, 2001.

JÚNIOR, J. C. S.; Geração, Distribuição e Injeção de Vapor no Sistema Vaporduto, PETROBRAS, 2009.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Sexta edição.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. Tradução da quarta edição americana.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H.C.; ABBOTT, M. M. Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química. Sétima edição.