

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

DERMEVAL INÊZ DA SILVA FILHO

**PROCESSO DA REINJEÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NA
RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DOS POÇOS DE PETRÓLEO DE
CATU/BA, PARA REDUZIR OS RISCOS AMBIENTAIS.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2013

DERMEVAL INÊZ DA SILVA FILHO



**PROCESSO DA REINJEÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NA
RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DOS POÇOS DE PETRÓLEO DE
CATU/BA, PARA REDUZIR OS RISCOS AMBIENTAIS.**

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Especialista na Pós-
Graduação em Gestão Ambiental em Municípios
- Polo UAB do Município de Mata de São João -
Bahia, Modalidade de Ensino a Distância, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare

MEDIANEIRA

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

Processo da reinjeção da água produzida na recuperação secundária dos poços de petróleo de Catu/BA, para reduzir os riscos ambientais.

Por

Dermeval Inêz da Silva Filho

Esta monografia foi apresentada às..... h do dia..... de..... de **2013** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios - Polo de Mata de São João - Bahia, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientador)

Prof. Dr.
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof^a. Me.
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.-

Com muito amor e gratidão dedico este trabalho a minha esposa e a minha filha, pelo amor, compreensão, apoio e paciência, quando da minha ausência para o trabalho e estudos. À minha família, pela honradez em tê-los em meu nome e aos meus professores que me ensinaram que por mais que achamos que o nosso conhecimento já está bem profundo, estamos enganados, pois o conhecimento é algo que está sempre se renovando. Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela fé e perseverança para vencer os obstáculos.

Aos meus pais, pela orientação, dedicação e incentivo nessa fase do curso de pós-graduação e durante toda minha vida.

A minha esposa, filha, irmãos e sobrinhos, que sempre esperam o meu melhor.

Ao meu orientador professor Dr. Laércio Mantovani Frare pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

“O importante é ser, existir, plenificar-se para passarmos pela vida sem deixar que ela passe por nós, ser “proprietário do destino”, merecer a liberdade. Entretanto, essa alforria tem um preço: **a educação nos roteiros do amor**” (ERMANCE DUFAUX).

RESUMO

FILHO, D. I. S. PROCESSO DA REINJEÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NA RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DOS POÇOS DE PETRÓLEO DE CATUBA, PARA REDUZIR OS RISCOS AMBIENTAIS. 2013. 48 FOLHAS. MONOGRAFIA (ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS). UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, MEDIANEIRA, 2013.

Esta pesquisa científica apresenta um estudo de caso sobre a reutilização da água produzida, objetivando mostrar os métodos utilizados pela indústria petrolífera, como solução dos processos para o destino e reutilização da água produzida ou água da formação. Este efluente é um subproduto abundantemente produzido, retirado dos poços de petróleo *onshore*, utilizado para reinjeção nos poços, como forma de não ser descartado no ambiente, o que causaria danos irreversíveis ao ambiente, em suas diversas classificações. A água produzida é um produto altamente degradante, pelo seu alto teor de toxidade dos constituintes, salinidade, compostos orgânicos e pela quantidade elevada de produtos químicos, seja da sua própria composição (enxofre, bário, cálcio, etc.) e/ou adicionados durante o processo de extração do petróleo (inibidores de corrosão e incrustação, desemulsificantes, polieletrólitos, entre outros). Este trabalho traz como resultado do estudo, o conhecimento de uma alternativa que minimiza a poluição causada pela indústria do petróleo, bem como o aumento da produção de petróleo a baixo custo e o destino correto da água produzida para não poluir. Em adição a isso, o trabalho expõe a necessidade deste segmento industrial em desenvolver a promoção da preservação do ambiente e a utilização consciente dos recursos naturais, objetivando a extensão da sua vida útil e o respeito por tudo que vive.

Palavras-chave: Reinjeção, Petróleo, Água Produzida, Ambiente.

ABSTRACT

FILHO, D. I. S. CASE OF RE-INJECTION OF WATER PRODUCED IN SECONDARY RECOVERY OF OIL WELLS CATU / BA, TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL RISK. 2013. 48 folhas. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

This scientific research presents a case study on reuse of produced water, aiming to show the methods used by the oil industry as a solution to the destination processes and reuse of produced water or formation water. This wastewater is a byproduct produced abundantly, from the wells onshore oil, used for reinjection wells, so as to not be discarded into the environment, which would cause irreversible damage to the environment in its various classifications. The water produced is a highly degraded product, at its high level of toxicity of the constituents, salinity, organic compounds and high amounts of chemicals either from its own composition (sulfur, barium, calcium, etc.) And / or added during the process of oil extraction (corrosion and scale inhibitors, demulsifiers, polyelectrolytes, and others). This work brings as a result of the study , the knowledge of an alternative that minimizes the pollution caused by the oil industry as well as the increase in oil production at low cost and the correct disposal of produced water to not pollute . In addition to this, the paper raises the need to develop this industrial segment promoting the preservation of the environment and the conscious use of natural resources, aiming at extending its useful life and respect for all that lives.

Keywords: Reinjection, Oil, Produced Water, Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Microfotografia de uma Rocha-Reservatório Contendo Óleo.....	15
Figura 2 – Porosidade da Rocha.....	17
Figura 3 – Permeabilidade Rocha Reservatório.....	18
Figura 4 – Reservatório Típico de Petróleo.....	19
Figuras 5 e 6 – Injeção de Água em Poços de Petróleo.....	23
Figura 7 – HPS – <i>Horizontal Pump System</i>	23
Figura 8 – Planta de Processo Primário <i>Onshore</i>	25
Figura 9 – Processo para um Sistema de Injeção de Água Produtiva.....	26
Figura 10 – Mecanismo da Água Injetada.....	29
Figura 11 – Mecanismo de Varredura.....	29
Figura 12 – Localização dos Campos de Petróleo da Bacia do Recôncavo.....	35
Figura 13 – Localização do Campo de Produção de Cassarongongo.....	36
Figura 14 – Estação Cassarongongo, Tratamento dos Efluentes.....	36
Figura 15 – Entrada da Estação Cassarongongo.....	36
Figura 16 – Esquema Geral do Processamento Primário de Fluidos.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Especificações dos Fluidos Após o Processamento Primário..41

Tabela 2 – Resultado de Análise da Água Produzida Campo de Cassarongongo....44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 PETRÓLEO: DEFINIÇÃO, ORIGEM E FORMAÇÃO.....	13
2.2 ÁGUA PRODUZIDA: DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO.....	14
2.3 ROCHA RESERVATÓRIO.....	15
2.3.1 Saturação.....	15
2.3.2 Porosidade.....	16
2.3.3 Permeabilidade.....	17
2.3.4 Produção de Água.....	18
2.3.5 Fluidos Produzidos.....	19
2.3.6 Mecanismo de Influxo de Água.....	20
2.3.7 Métodos de Recuperação.....	21
2.3.7.1 Projetos de injeção de água.....	21
2.3.7.2 Fluidos injetados.....	23
2.3.8 Tratamento do Óleo.....	24
2.3.8.1 Tratamento e destino da água produzida.....	24
2.3.8.1.1 Reinjeção da água produzida.....	27
2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	29
2.5 AMBIENTE.....	31
2.5.1 Uso Sustentável da Água.....	31
2.6 POLUIÇÃO.....	33
2.6.1 Poluição da Água Subterrânea.....	33
2.6.2 Salinização.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	35
3.1.2 Local da Pesquisa.....	35
3.1.3 Tipo da Pesquisa.....	37
3.1.4 Coleta de Dados.....	37
3.1.5 Análise dos Dados.....	37
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	38
3.3 PLANTA DE PROCESSO.....	38
4 RESULTADOS OBTIDOS.....	40
4.1 PROCESSAMENTO DE TRATAMENTO PRIMÁRIO DE FLUIDOS.....	40
4.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS OBTIDOS NA PLANTA DE PROCESSO.....	43
5 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Em outros países e no Brasil, há anos, havia uma concepção de que a poluição era vista como um indicativo de desenvolvimento e progresso. Esse pensamento vigorou durante décadas e foi mantida até que diversos problemas foram correlacionados à degradação do ambiente, descortinando-se assim as interferências que os agentes poluidores causaram, até então encobertos pela falta de um crescimento sustentável, tendo como grave consequência os efeitos diretos sobre os seres vivos em geral.

Essas agressões, causadas por atividades antrópicas, em busca do desenvolvimento a todo custo, tendem e precisam diminuir para recuperar o grande passivo ambiental causado pela ganância das organizações.

A indústria do petróleo é um dos segmentos inseridos neste contexto, por agredir o ambiente, principalmente no que se refere à extração de petróleo. A água é um recurso natural finito, embora renovável, que mais sofre os danos dessa indústria, principalmente pela relevância do seu volume envolvido nessa atividade e por estar associada a esta atividade. Os recursos renováveis são aqueles que, depois de serem utilizados, ficam disponíveis novamente graças aos ciclos naturais (BRAGA, 2005).

Conforme Silva (2008), o impacto ambiental provocado pelo descarte da água produzida é, geralmente, avaliado pela toxicidade dos constituintes e pela quantidade de compostos orgânicos. Além destes agentes tóxicos, a água produzida ainda apresenta quantidades elevadas de produtos químicos tóxicos adicionados durante o processo de extração do petróleo como: inibidores de corrosão e incrustação, desemulsificantes, polieletrólitos, entre outros (ROCHA et al., 2012).

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 e a água salgada ocupando as partes inferiores, muito em função da diferença de densidade entre as fases.

Junto com a extração do petróleo, são produzidos uma grande quantidade de efluentes líquidos: gás, petróleo, água da formação, sedimentos e impurezas, que se faz necessária a utilização de uma estação de tratamento para a sua separação, para evitar impactos ao ambiente, pela sua nocividade à vida como todo.

Diante desse processo, depara-se com uma questão ambiental: o que fazer e qual o destino dessa água produzida na extração de petróleo, já que ela é altamente poluidora pelos seus contaminantes tóxicos, não servindo para consumo humano, nem descarte no ambiente?

Por essa diversidade de componentes poluidores, este trabalho consiste em apresentar o processo da reinjeção da água produzida na recuperação secundária dos poços de petróleo de Catu/BA, para reduzir os riscos ambientais.

Desta forma, o principal objetivo deste trabalho é apresentar um dos métodos de reutilização, por meio da reinjeção da água produzida (tratada) nos poços, com a finalidade de elevação artificial do petróleo, como solução de minimização dos impactos ambientais, causados pela sua alta nocividade ao ambiente. Para alcançar este objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Conhecer a planta de processos da estação de tratamento de água produzida do campo produtor de Cassarongongo, Bacia do Recôncavo, Município de Catu, Estado da Bahia;
- Verificar se nessa estação de tratamento estudada, a água tratada possui, também, outra finalidade que não a reinjeção para recuperação secundária ou reinjeção nos poços para elevação artificial de petróleo;
- Descrever a técnica utilizada para minimizar os riscos ambientais, reinjetando água produzida nos poços para elevação artificial em poços de petróleo, *onshore*, no campo produtor de Cassarongongo.

Levando em conta que, quanto mais maduro for o poço, maior quantidade dessa água ele produzirá, foi escolhido o campo produtor de Cassarongongo, Bacia do Recôncavo, município de Catu, Estado da Bahia, para descrever uma das soluções com a finalidade de diminuir os impactos sobre o ambiente, utilizando-se essa água para reinjeção nos poços, possibilitando a elevação artificial de petróleo e a extensão da sua vida útil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PETRÓLEO: DEFINIÇÃO, ORIGEM E FORMAÇÃO

De acordo com Thomas (2004), a definição de petróleo vem do latim: *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), ou seja, óleo da pedra. O petróleo de forma simplificada pode ser definido como uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e coloração variando entre o negro e o castanho-claro.

Definindo geologicamente o petróleo, o descrevemos como uma mistura natural formada principalmente por hidrocarbonetos, quer se encontrem no estado sólido, líquido ou gasoso à temperatura e pressão adequadas à sua geração. Esses hidrocarbonetos são originados da matéria orgânica juntamente com os sedimentos que são depositados ao longo do tempo, formando as rochas sedimentares em depressões de antigos mares e lagos, após o acúmulo trazidos pelas águas dos rios, chuvas, ventos, erosões, tremores de terra e outros.

As camadas de sedimentos gerados por esses movimentos naturais, vão se acumulando e se sobrepondo durante o tempo, tendo como consequência o aumento da pressão, pelo peso, da temperatura e compactação, formando assim as bacias sedimentares, onde geralmente são encontrados grandes reservatórios de hidrocarbonetos.

A combinação de vários fatores, tais como: a quantidade e qualidade de matéria orgânica (algas, plantas, animais mortos, conchas e etc.) depositada, em conjunto com a pressão e temperatura, torna-se um ambiente adequado, favorecendo o crescimento e desenvolvimento de bactérias que resultam na formação dos hidrocarbonetos. Isto é, para que se formem acumulações de óleo ou gás, algumas condições geológicas têm que ser integralmente satisfeitas, e, quando isso ocorre da forma ideal, o petróleo corre em abundância.

O processo térmico e de pressão em conjunto com a matéria orgânica original caracteriza a coloração, a qualidade e o tipo de petróleo que encontramos na sua extração. Geralmente, na extração de petróleo, são produzidos o petróleo, gás, água produzida e uma grande quantidade de impurezas, em proporções variadas, com componentes que contém oxigênio, nitrogênio, enxofre, dentre outros

elementos que contribuem na definição das suas propriedades físicas e químicas. A quantidade de cada um deles dependerá de diversos fatores como: composição das misturas de hidrocarboneto, quantidades dos átomos de carbono e hidrogênio, material orgânico e da profundidade da jazida.

2.2 ÁGUA PRODUZIDA: DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO

É o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo. O crescente volume resultante constitui-se em um perigo potencial para o ambiente. Os riscos ambientais associados à água produzida podem variar em função da composição da água, das características do local em que ela ocorre e da sua disposição final.

Segundo Thomas (2004), diversos microrganismos, tais como: bactérias, algas, fungos e outros, estão presentes nas águas produzidas, podendo gerar em seus metabolismos substâncias de caráter corrosivo (ácido sulfídrico, sulfúrico, etc.). Na sua composição existem presença de sais, óleo, cálcio, magnésio, sulfato, bário, estrôncio e outros constituintes nocivos ao ambiente, ausência de oxigênio e temperatura elevada. Têm, geralmente, pH menor que 7 e um teor de bicarbonato superior a 150mg/L.

Segundo Thomas (2004):

As principais causas potenciais de perigo atribuídas à água produzida podem ser: alta salinidade, sólidos suspensos, presença de metais pesados, presença de orgânicos insolúveis, presença de orgânicos solúveis, presença de produtos químicos e radioatividade. Dentre os poluentes, destaca-se o teor de óleos e graxas (TOG), sendo considerado um dos principais parâmetros para disposição final da água produzida.

Ainda Thomas (2004), em média, para cada m³/dia de petróleo produzido são gerados três a quatro m³/dia de água. Há campos em que este número se eleva a sete ou mais. Nas atividades de exploração, perfuração e produção, a água produzida responde por 98% de todos os efluentes gerados.

2.3 ROCHA RESERVATÓRIO

De acordo com Thomas (2004), os reservatórios são formações rochosas permeáveis, porosas ou fraturadas, em subsuperfícies, que contém flúidos, hidrocarbonetos, gás e água no seu interior, que para se constituir em uma rocha-reservatório deve apresentar espaços vazios no seu interior (porosidade), Figura 1, e que estes vazios estejam interconectados, conferindo-lhe a característica de permeabilidade.

Por apresentarem boa porosidade e permeabilidade, que são propriedades essenciais para se configurar num reservatório de petróleo, os arenitos e calcários são os principais tipos dessas rochas.

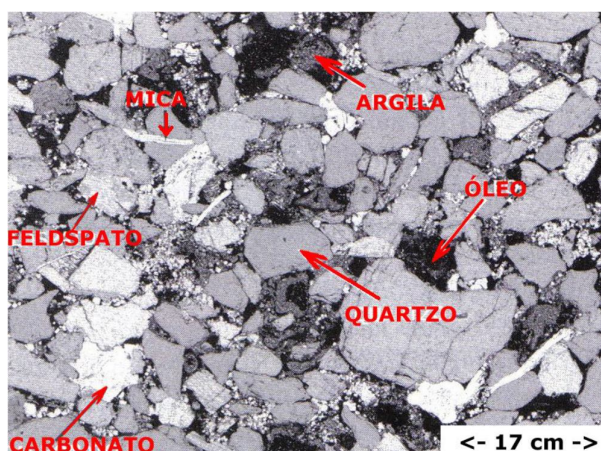


Figura 1 – Microfotografia de Uma Rocha-Reservatório Contendo Óleo.
Fonte: Fundamentos da Engenharia de Petróleo (THOMAS, 2004).

2.3.1 Saturação

Além de hidrocarbonetos, os poros de uma rocha-reservatório contêm água. Assim sendo, o conhecimento do volume poroso não é suficiente para se estabelecer as quantidades de óleo e/ou gás contido nas formações, Thomas (2004).

As quantidades podem ser estimadas. Para isso se faz necessário estabelecer quanto de fluido ocupa o volume poroso da rocha. A saturação é o percentual estimado que reflete a quantidade desse volume poroso que é ocupado pelo óleo, gás e água. O reservatório quando descoberto, apresenta certa saturação de água, que se denomina água conata ou água da formação, que pode conter alta salinidade e presença de metais pesados em percentuais variados. A presença de cloretos na água produzida é uma característica do campo produtor de Cassarongongo e da Bacia do Recôncavo como um todo.

2.3.2 Porosidade

A rocha é um sistema de conglomerado formado por grãos rolados, maiores que 2 mm, consolidados com intervenção de um cimento de cascalho, que são interligas entre si. Por serem irregulares e possuírem granulometria variada, ao se juntarem deixam espaços vazios chamados de poros, se constituindo numa característica de armazenar fluidos nos espaços interiores, já que a matéria é descontínua, isto é, existem espaços entre as suas partículas, em tamanhos menores e maiores, o que torna a matéria menos ou mais densa como pode ver na Figura 2, logo abaixo. São nesses espaços vazios, poros, em que os fluidos se movimentam. Eles podem estar preenchidos com ar, água, ou com ambos. No caso da geologia do petróleo, em se tratando de jazidas de óleo, esses espaços são ocupados por fluidos (petróleo, água da formação ou água produzida, e gás), e que devido à alta pressão, dificilmente haverá ar.

Dessa forma, podemos analisar que o volume total da rocha se traduz na soma do volume dos materiais sólidos e do volume poroso. A porosidade é a relação que existe entre o volume dos espaços vazios da rocha reservatório e seu volume total, que se expressa em porcentagem.

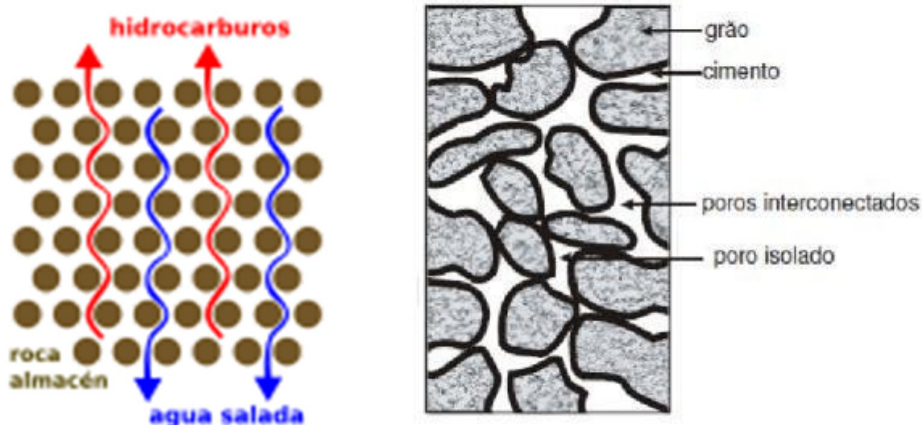


Figura 2 – Porosidade da Rocha.
Fonte: Fundamentos da Engenharia de Petróleo (THOMAS, 2004).

Deve-se ter o cuidado para não confundir a porosidade de uma rocha, com a sua permeabilidade, pois a primeira pode ser contrastada com a segunda, lembrando que nem sempre uma rocha que contém fluidos em seu interior vai permitir que os fluidos se movimentem, ou seja, permeada, pela rocha.

2.3.3 Permeabilidade

Partindo do princípio de que permear é penetrar, atravessar, passar pelo meio, entendemos permeabilidade como sendo a capacidade que uma rocha tem em se deixar atravessar por fluidos, controlando a movimentação destes no seu interior.

Dessa forma os fluidos se movimentam no interior do reservatório, sucessivamente através dos seus poros que são interconectados ou gargantas, até chegarem aos poços produtores. Quanto mais cheios de estrangulamentos, poros poucos interligados e tortuosidades nos canais, maior será a dificuldade do fluido se movimentar na rocha. A maior ou menor dificuldade de movimentação dos fluidos nas rochas é chamada de permeabilidade. (ver Figura 3).

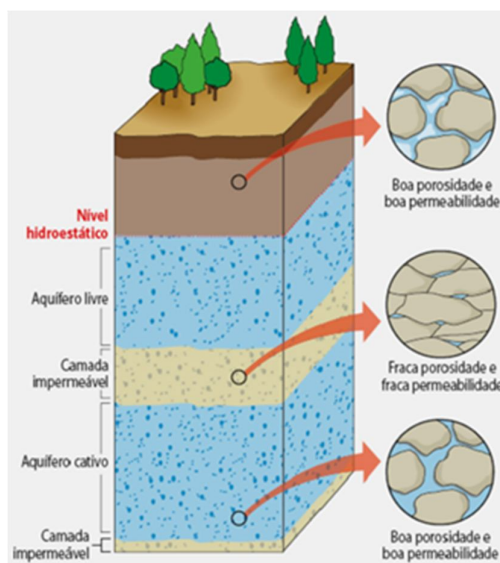


Figura 3 – Permeabilidade Rocha Reservatório.

Fonte: Disponível em: <<http://mundoadescoberta.blogspot.com.br/2010/06/diario-de-aula-97-caracteristicas-dos.html>>, Acesso em: 09 set.2013.

2.3.4 Produção de Água

De acordo com Thomas (2004), além de hidrocarbonetos, é bastante comum a produção de água. A quantidade de água produzida vai depender das condições em que ela se apresenta no meio poroso. Ela pode ter origem também em acumulações de água, chamada de aquíferos. A sua movimentação dependerá de dois fatores, os quais são descritos nos itens 2.3.2 e 2.3.3, porosidade e permeabilidade da rocha.

O termo BS&W (*basic sediments and water*) é o quociente entre a vazão de água mais os sedimentos que estão sendo produzidos e a vazão total de líquidos e sedimentos, Thomas (2004).

Segundo Silva (2007):

A água produzida pode se aproximar de 100% à medida que o poço chega ao fim de sua vida produtiva. Quando a produção de petróleo é acompanhada de elevados teores de água, diz-se que o campo é maduro, sendo este teor avaliado pelo ensaio de BS&W (*Basic Water and Sediment*) que determina também o teor de sedimentos.

De acordo com Brísio (2009):

A produção de óleo e gás é, geralmente, acompanhada pela produção de água. Essa água produzida é formada por água da formação, água injetada na formação e/ou, no caso de produção de gás, água condensada. É possível também que ela contenha fluidos residuais oriundos de outros processos e produtos químicos utilizados, durante a movimentação; tais como, desemulsificantes, inibidores de corrosão, biocidas, detergentes, dispersantes etc.

A água ao ser misturada com outros orgânicos e inorgânicos, pois vale lembrar que a água produzida vem junto com o óleo (petróleo), geralmente, antes de ser injetada é tratada com produtos de corrosão, como, bactérias.

2.3.5 Fluidos Produzidos

Um comportamento padrão esperado para um reservatório de óleo é que ele produza óleo, gás natural e água. Assim, um reservatório típico apresenta uma vazão de produção de óleo, uma vazão de produção de gás e uma vazão de produção de água, Thomas (2004).

A Figura 4 ilustra a distribuição de fases no interior de um reservatório típico de petróleo. A sua localização e distribuição em camadas, atende às leis da física, que diz que um corpo mais denso, se torna mais pesado, e dessa forma, entre os três elementos que ocupam os poros das rochas, a água fica abaixo do petróleo, que fica abaixo do gás, isso porque o gás é menos denso que os outros dois e tende a ficar acima de todos.

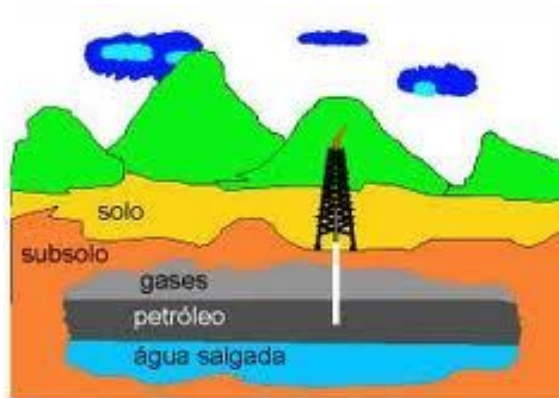


Figura 4 – Reservatório Típico de Petróleo

Fonte: Disponível em: <<http://crstinabrinco.wikispaces.com/Petróleo>>, Acessado em: 09 set.2013.

2.3.6 Mecanismo de Influxo de Água

Conforme Thomas (2004), com a redução da pressão do reservatório causada pela produção, o aquífero responde através da expansão da água nele contida e da redução de seu volume poroso. Como resultado, o espaço poroso do aquífero não é mais suficiente para conter toda a água nele contida inicialmente. Haverá, portanto, uma invasão da zona de óleo pelo volume de água excedente. Essa invasão ocorre, mais abundantemente, quando o “campo é maduro”¹, por apresentar baixa pressão, o que se torna insuficiente para que ocorra uma elevação natural dos fluidos existentes no reservatório. À medida que os fluidos são produzidos, a pressão cai e o aquífero flui para dentro do reservatório, atenuando a queda de pressão.

2.3.7 Métodos de Recuperação

São processos que tentam interferir nas características do reservatório que favoreceram a retenção exagerada de óleo, pela exaustão da sua energia natural com o passar do tempo. Foram desenvolvidas para obter uma produção maior do que se obteria, caso apenas a energia natural do reservatório fosse utilizada, Thomas (2004).

Thomas (2004), diz que a vida produtiva de um reservatório de petróleo, particularmente quando se aplicam métodos de recuperação, se compõem de etapas que cronologicamente são chamadas de recuperação primária, secundária e terciária. Neste caso, falaremos da recuperação secundária, que passou a significar injeção de água ou gás nos poços de petróleo, conhecida, também, como elevação artificial de petróleo em poços “maduros”.

¹ Os campos maduros de petróleo se caracterizam por estarem em estágio avançado de exploração, com baixa produção de óleo e muitas vezes altas vazões de água e/ou gás, caracterizando o declínio produtivo. (Disponível em: <<http://www.ppeq.ufba.br/publicacoes/estudo-do-escoamento-multifasico-de-petroleo-em-campos-maduros-o-caso-do-poco-1-fmo-001>>, Acessada em 11/05/2013).

A reinjeção de água produzida em poços de petróleo, fruto do nosso estudo, o qual originou este trabalho científico, é um processo de tecnologia que objetiva a reutilização da água contaminada extraída junto com o petróleo, para elevação secundária nos poços de petróleo. Isto porque, com o passar do tempo e pela exaustão da sua energia natural, os reservatórios retêm grandes quantidade de hidrocarbonetos, que naturalmente, não tem condições de levá-los à superfície. Daí a necessidade do emprego desses processos chamados de método de recuperação secundária.

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.

2.3.7.1 Projetos de injeção de água

Como já vimos anteriormente, a produção primária de petróleo em um reservatório ocorrerá devido à pressão existente na rocha em decorrência da formação dos hidrocarbonetos, o que o torna capaz de empurrar os fluidos para a superfície de forma natural. Mas com o passar do tempo e a produção constante do óleo, há uma dissipação da energia primária, fazendo com que os gases da mistura sejam liberados (pressão de saturação) e produzidos, causando descompressão dos fluidos. Neste caso, a resistência viscosa dos fluidos fica maior, chegando ao ponto em que o poço não possua energia suficiente para continuar produzindo. Haverá poços em que haverá petróleo em quantidades suficientes que viabilizam o investimento para produzi-lo, como haverá também, poços com quantidades menores, mas sem viabilidade econômica.

O objetivo principal da reinjeção da água produzida é repressurizar o reservatório, fazendo aumentar a pressão no interior dos poros e conseqüentemente a recuperação do óleo, através do descolamento da água que empurra o petróleo para a superfície. Daí a importância da estação de tratamento desses efluentes,

separando o óleo, o gás e água produzida, tratando e reinjetando esse fluido nos poços de petróleo, em vez de descartá-la no ambiente.

De acordo com Thomas (2004), existe uma grande diversidade na maneira de reinjetar a água produzida. A escolhida deve ser pautada pelos aspectos da sua viabilidade técnica e econômica, levando em conta as características físicas do meio poroso do reservatório e dos fluidos envolvidos, objetivando proporcionar maior produção possível de óleo durante um intervalo de tempo econômico.

Os projetos de injeção de água produzida são compostos de sistema de injeção, utilizando-se bombas, linhas, poços de injeção, sistema de tratamento e descarte, conforme Thomas (2004).

Para cada reservatório, haverá um projeto que atenda às suas características de produção, ou em outros casos, de acordo com os aspectos comuns a eles, são perfurados poços para produção de água produzida, para que este sirva para reinjeção nos poços de produção de hidrocarbonetos. A água produzida para reinjeção provem dos poços perfurados para essa finalidade, Figuras 5 e 6, e da água produzida associada ao petróleo extraído, os quais são separados nas Estações Coletoras de Fluidos. No caso do nosso trabalho científico, toda a água associada a hidrocarbonetos, produzida no campo de cassarongongo, é reutilizada, sendo necessário a perfuração de poços produtores de água para o atendimento da demanda exigida pelo processo.

Existem equipamentos específicos que atendem à demanda de pressão dos poços para reinjeção da água produzida, e um desses equipamentos é a HPS – *Horizontal Pumps System*, Figura 7. Trata-se de uma bomba centrífuga, multi-estágio, com alta pressão, características de alta vazão e funciona com um motor elétrico, permitindo a transferência de fluidos, através de tubos de aço, que aumentam a pressão interna dos reservatórios e elevam os hidrocarbonetos à superfície.

As bombas de injeção são utilizadas para comprimir o fluido a ser injetado, e conseqüentemente, colocar pressão suficiente no sistema para que a injeção no reservatório seja efetivada. A pressão dependerá das características do reservatório e do índice de injetividade do reservatório.

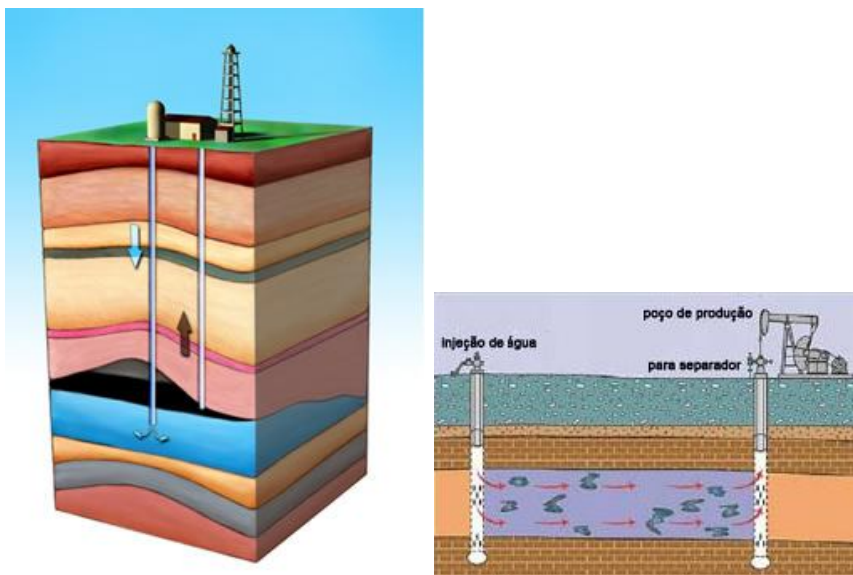


Figura 5 e 6 – Injeção de Água em Poços de Petróleo

Fonte: Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/quimica/exploracao-extracao-petroleo.html>>, Acessado em: 09 set.2013.



Figura 7 – HPS – Horizontal Pump System

Fonte: Disponível em: <<http://www.cai-esp.com>>, Acessado em: 09 set.2013.

2.3.7.2 Fluídos injetados

Conforme Thomas (2004):

Nos processos de recuperação utilizam-se a água e o gás natural como fluidos de injeção, que podem ter quatro origens diferentes:

- 1) Água subterrânea, coletada em mananciais de subsuperfície por meio de poços perfurados para este fim;
- 2) Água de superfície, coletada em rios, lagos, etc.;
- 3) Água do mar; e
- 4) Água produzida, isto é, a água que vem associada à produção de petróleo.

Normalmente, a água antes de ser reinjetada, deve ser submetida a um tratamento, de modo a torná-la mais adequada ao reservatório e aos fluidos nele

existentes. O tratamento da água servirá para atender às normas ambientais e evitar a contaminação e poluição, e a redução dos custos de manutenção, evitando a corrosão e entupimento dos dutos e equipamentos.

A injeção de água pode ser descrita como um processo de recuperação secundária de petróleo. Será injetada água tratada, a qual compreende a precipitação prévia e controlada das espécies químicas precursores de precipitação presentes na água de injeção ou água do mar, de formação ou produzida, seguida da remoção dessas espécies por filtração, Brísio (2009).

2.3.8 Tratamento do Óleo

No processo de tratamento de petróleo um dos contaminantes mais indesejados é a água. A quantidade de água produzida associada aos hidrocarbonetos varia em função de uma série de fatores, Thomas (2004).

Segundo Thomas (2004), água oriundas de formações de hidrocarbonetos apresentam sais, microrganismos e gases dissolvidos, além de material em suspensão, sendo que o primeiro tem teores elevadíssimos, sendo, em média, três a quatro vezes superiores aos existentes na água do mar.

A presença de água associada ao petróleo provoca uma série de problemas nas etapas de produção, transporte e refino, daí a necessidade de tratamento.

2.3.8.1 Tratamento e destino da água produzida

Com a crescente preocupação com o ambiente, o surgimento de novas leis e a pressão internacional, dos governos e populacional, está em voga uma questão antiga no segmento da indústria petrolífera: o destino da água de produção gerada na atividade de exploração do petróleo.

Para que a água produzida possa ser utilizada na reinjeção de poços para extração de petróleo em campos maduros, ela precisa de um tratamento prévio que lhe dê condições para este processo, levando em conta o estudo de viabilidade econômica, considerando o tipo de água produzida em cada poço.

Como já informado em itens anteriores, o petróleo não é extraído puro, ele resulta de misturas de água, óleo, gás e impurezas outras que o faz necessário passar por processos de limpeza, depuração e refino. Para que isso ocorra, deve haver um processo de separação entre as fases, que é o papel da Estação de Produção, que faz parte da Planta de Processamento Primário do Petróleo, que tem a finalidade de separar o gás, o petróleo e, remover a água, sais e outras impurezas tornando o óleo adequado para ser transferido à refinaria e a água produzida transferida para o seu devido tratamento, Figura 8, a fim de ser reintegrada ao processo operacional, em condições satisfatórias de ser reinjetada nos poços para extração de petróleo. Conforme Thomas (2004), o tratamento da água tem por finalidade recuperar parte do óleo nela presente em emulsão e condicioná-la para reinjeção ou descarte.

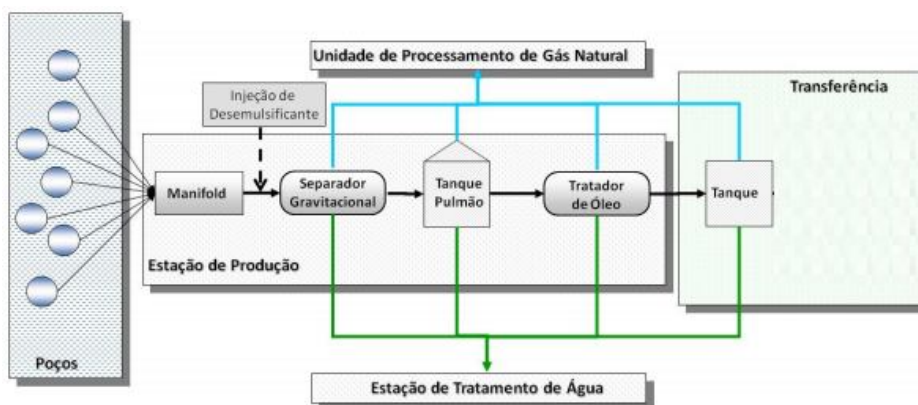


Figura 8 – Planta de Processo Primário *Onshore*

Fonte: Disponível em:

<http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_2_3_0322-1.pdf>, Acessado em 20 set.2013.

Estima-se que um poço de petróleo chega a produzir cerca de 50% até 100% de BS&W (*basic sediments and water*), e toda essa água produzida tem que ser direcionada para um processo de tratamento, onde se deseja obter um determinado valor em ppm (parte por milhão) para que ela possa ser descartada no ambiente ou reinjetada nos poços produtores de petróleo. Portanto, todo esse tratamento é de suma importância para a indústria petrolífera, pois órgãos ambientais fiscalizam como é feito esse tratamento e se a empresa está seguindo todas as normas para o descarte ou para a reinjeção.

De acordo com Thomas (2004), todo óleo recuperado nas várias etapas é recolhido em um tanque recuperador de óleo, retornando ao processo (Figura 9). Vale lembrar que o petróleo é a parte, financeiramente falando, de maior interesse.

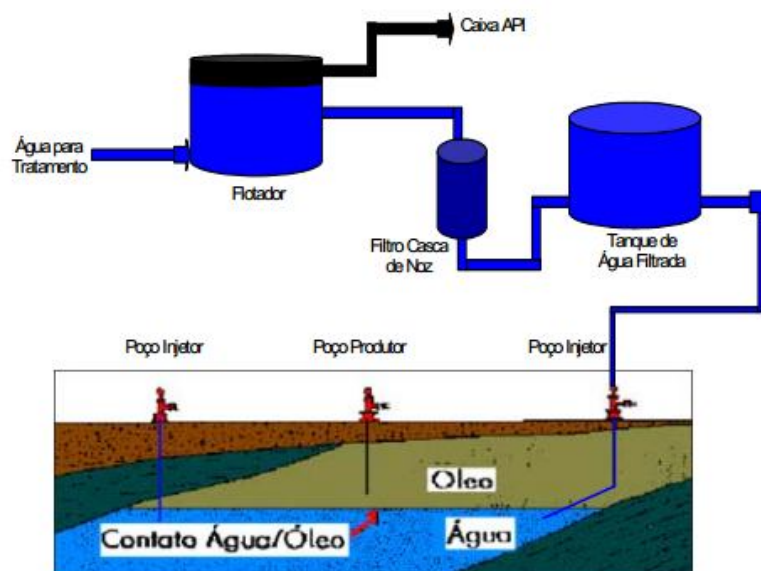


Figura 9 – Processo para um Sistema de Injeção de Água Produzida.
 Fonte: Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online>,
 Acessado em: 15 ago.2013.

A função do flotador ou desgaseificador é remover traços de gás ainda presentes no líquido. Geralmente é um separador trifásico de baixa pressão. Os gases separados são encaminhados para um dispositivo de queima. Thomas (2004).

De acordo com Thomas (2004):

O descarte da água produzida só pode ser feito dentro de determinadas especificações, regulamentadas por órgão de controle do meio ambiente que limita a quantidade de poluentes (teor de óleo, graxa, H₂S, etc.) nos efluentes aquosos, o que pede uma atenção especial e os devidos cuidados para não agredir o meio ambiente.

O descarte deverá ser feito o mais próximo possível do campo produtor, para evitar problemas no transporte e armazenamento. Uma das soluções mais adotadas é a reinjeção em poços *onshore* para fins de recuperação secundária ou descarte, após o devido tratamento, de modo que esta não venha causar problemas no reservatório e nos equipamentos através de corrosão e/ou entupimento dos poços.

Um exemplo de projeto de reinjeção de água produzida, com a finalidade do seu reaproveitamento para elevação secundária em poços de petróleo, é a Planta de Cassarongongo, localizada no estado da Bahia, no município de Catu. Esta planta

possui uma capacidade de filtração de 30 m³/dia, com os filtros tendo 3,66m de diâmetro e 8 m de altura, ocupando uma área de 192m². Com a implantação deste projeto, houve diminuição satisfatória dos custos e minimização da poluição, evitando-se o descarte dessa água no ambiente.

2.3.8.1.1 Reinjeção da água produzida

Objetivando a manutenção da pressão interna dos reservatórios de petróleo, a reinjeção de água produzida passou a ser uma operação que tange a normalidade, até porque, atualmente, vários campos de petróleo distribuídos pelo território brasileiro e pelo o mundo começaram a mostrar falta de pressão, entrando em um processo de maturidade, passando a produzir grandes volumes de água da formação, bem como o aumento da pressão dos órgãos internacionais, relacionados às questões ambientais.

No entanto, com a atual exigência dos governos em buscar reduzir os problemas ambientais provocados por produtos químicos e o descarte de água oleosa, neste caso, intrinsecamente ligado ao segmento proposto, o gerenciamento da água produzida tornou-se um desafio para a indústria do petróleo.

Para atender as exigências das Leis, Normas e Decretos ambientais que regulamentam as operações das indústrias, buscaram-se soluções para minimizar os efeitos causados pelo descarte da água produzida, fazendo-os considerarem a possibilidade de reinjetar esta água produzida nos reservatórios, a fim de aumentar a sua pressão e extrair o petróleo, lá existente, a custos bem menores.

Além dos benefícios ambientais, existem outros:

- A compatibilidade química com água de formação, desde que do mesmo reservatório;
- Menores custos após a implantação da planta de reinjeção;
- Economia de espaço e peso devido à otimização das plantas de tratamento de água;
- Redução de capital/operacional *expenditure*;
- Reutilização da água produzida.

Em um projeto de implantação de reinjeção de água produzida, alguns cuidados devem ser tomados, destacando-se a verificação das suas especificações para que possam ser reinjetada. Devido ao alto teor de sólidos (20 a 80 mg/L), e a presença de partículas maiores que 30 *micras*, a filtragem se faz necessidade, atendendo ao processo produtivo, bem como o processo químico de separação devido aos altos teores de óleos e graxas (TOG).

Conforme Thomas (2004):

A disponibilidade, o custo e outras características apresentadas pela água fazem com que ela seja o principal fluido utilizado na recuperação adicional de óleo e a sua reinjeção em campos terrestres, desde que não cause problemas ao reservatório, é a melhor opção em termos ambientais, pois resolve a questão do destino final da água produzida junto com o óleo. Proporciona, ainda, uma economia de água doce de boa qualidade (de aquíferos), comumente utilizada para essa finalidade, que fica, assim, disponível para fins mais nobres, como o consumo humano.

De acordo com Brísio (2009), a melhor solução a se observar, é que, a forma de descartar em terra a água produzida, o melhor caminho a ser adotado seria o de reinjetá-la nos poços dos campos onde foram produzidas. Assim sendo, a água injetada atua como principal fluido no sistema de recuperação secundária de petróleo pela disponibilidade existente, baixo custo comparado com outro método e outras características que trazem resultados satisfatórios na operação. A injeção de água pode ser iniciada ainda no começo da produção de um poço a fim de que não se tenha uma despressurização prematura do reservatório e/ou quando já não haja mais pressão suficiente para empurrar o petróleo para superfície, de forma natural.

A água produzida injetada tem outros atributos além de manter a pressão do reservatório. Ela possui o mecanismo de varredura do óleo na rocha, causando o deslocando do petróleo do poço injetor para o poço produtor. As Figuras 10 e 11 ilustram, respectivamente, as linhas de fluxo e o efeito de varredura que a água ocasiona.

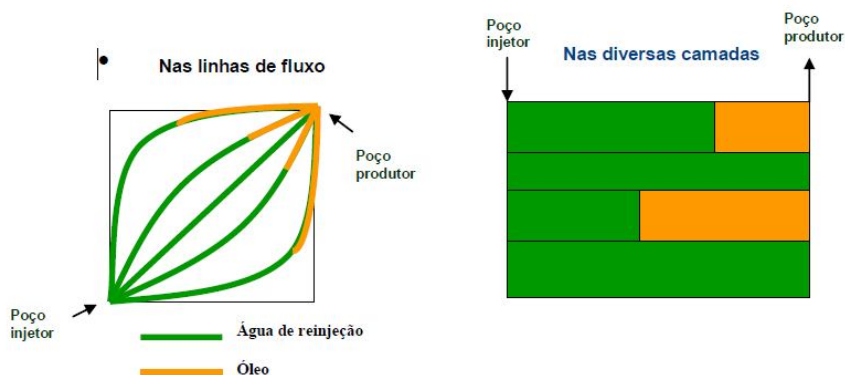


Figura 10 - Mecanismo da Água Injetada

Fonte: Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>>, Acessado em: 15 ago.2013.

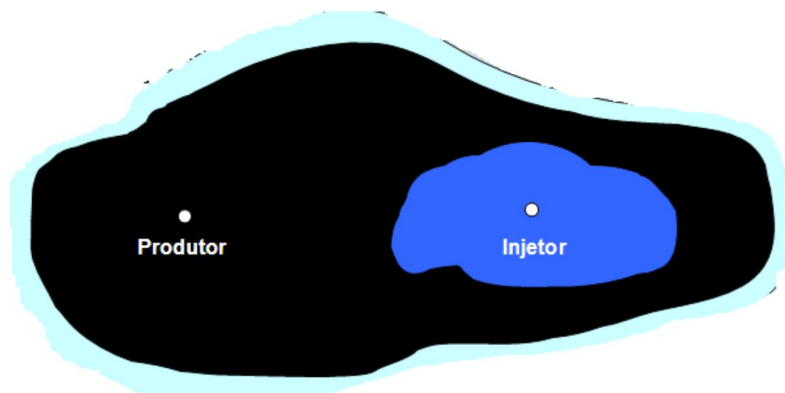


Figura 11 - Mecanismo de Varredura

Fonte: Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>>, Acessado em: 15 ago.2013.

2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

De acordo com Brísio (2009):

Dentre dos custos da atividade exercida, torna-se necessário incorporar, dentro das análises de empreendimentos, os custos que deverão ser acrescidos pela obediência aos parâmetros ambientais estabelecidos legalmente para emissões, custos estes que serão calculados, através de análise econômico-ambiental.

As opiniões sobre os impactos ambientais causados pelas águas produzidas podem sofrer grande variação. Um dos motivos desta disparidade reside nas variações existentes de procedimentos de testes,

bem como na falta de um monitoramento sistemático – tanto da água produzida descartada quanto dos impactos causados ao meio ambiente. A forma como cada efeito tóxico - ou uma combinação destes - poderá causar um impacto no meio ambiente depende muito das características do ambiente no qual a água é descartada. Os seguintes efeitos podem ser verificados: poluição marinha, de rios ou de lagos, contaminação de aquíferos, danos causados ao solo, à flora e à fauna aquática.

Conforme Miller Jr. (2008):

A Lei de conservação da matéria indica que não há um “fora” em “jogar fora”. Tudo o que pensamos ter jogado fora continua conosco de alguma forma. Podemos remover substâncias da poluída em estações de tratamento de efluentes.

Podemos tornar o ambiente um local mais limpo e converter algumas substâncias químicas potencialmente prejudiciais em formas físicas e químicas menos nocivas. No entanto, a lei da conservação da matéria diz que sempre enfrentamos o problema do que fazer com resíduos e poluentes.

Por ser altamente poluente, deve-se avaliar a extensão dos problemas que podem ocorrer pelo descarte da água produzida, e antes de tudo, caracterizar seus componentes que podem causar danos ao ambiente, sendo que esta caracterização é muito complexa, por motivo da sua composição diferir muito de um local para outro.

Por ser associada à extração de petróleo, a água produzida é o poluente mais significativo, devido às suas características físicas e químicas, podendo provocar grandes e irreversíveis impactos negativos ao ambiente. Os volumes produzidos dependem das dimensões do reservatório, características da área explorada e da capacidade de exploração, sendo que, quanto maior a idade do reservatório, ele é caracterizado como “maduro” e produz enormes quantidades de água produzida. Daí, a grande importância que se deve dar ao descarte do efluente (após tratamento), a fim de se evitar a intensidade do impacto ambiental que pode ser provocado.

Com a disseminação do pensamento ambiental, da importância da água e de sua preservação, juntamente com a pressão da ideia do desenvolvimento sustentável, se faz necessário que os princípios de cada cidadão estejam voltados para a manutenção das gerações presentes e futuras para que possam desfrutar dos recursos ambientais.

A legislação ambiental brasileira é umas das mais completas do mundo, colocando o país na dianteira dos fundamentos básicos de respeito à vida como um

todo. Atualmente o Brasil possui 17 leis ambientais mais importantes, as quais, se cumpridas da forma como foram criadas, atingirá o objetivo de garantir a preservação do maior patrimônio da humanidade: o ambiente. Algumas delas prevêem os controles da poluição da água, estabelece limites de produtos que contaminam e classificam as águas de acordo com a sua qualidade e utilização. Abaixo relacionamos as principais resoluções e normas federais que efetuam o papel de regular o uso dos recursos hídricos e o lançamento de efluentes e que estão inseridos no contexto deste trabalho científico:

- Lei nº 9443/97 de 08/01/97: institui a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005: classifica os corpos hídricos e a diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece as condições e padrões de descarte dos efluentes;
- Resolução CONAMA nº 430 de 16/05/2011: condiciona e padroniza os lançamentos dos efluentes, complementando e alterando a resolução CONAMA nº 357;
- Decreto legislativo nº 204 de 07/05/2004: estabelece que os efluentes não podem conter compostos orgânicos persistentes listados na Convenção de Estocolmo;
- Resolução CONAMA nº 357 – Art. 21 e 34 de 17/03/2005: o teor máximo de óleos e graxas (TOG) para o descarte de água produzida é de 20 mg/L.

2.5 AMBIENTE

2.5.1 Uso Sustentável da Água

De acordo com Miller Jr. (2008):

Os métodos para alcançar o uso sustentável dos recursos hídricos da terra, são:

- Não esgotar os aquíferos;
- Preservar a saúde ecológica dos sistemas aquáticos;
- Preservar a qualidade da água;
- Desperdiçar menos;
- Gerir de forma integrada as bacias hidrográficas.

A sustentabilidade para Miller Jr. (2008), é:

É a capacidade dos diversos sistemas da Terra, incluindo as economias e sistemas culturais humanos, de sobreviverem e se adaptarem às condições ambientais em mudança.

A primeira etapa é conservar o capital natural da terra – os recursos e serviços naturais que mantêm a nossa e outras espécies vivas e que dão suporte às nossas economias.

Ainda Miller Jr. (2008), as principais fontes de poluição da água são: agricultura, indústria petrolífera e mineração.

A falta de uso sustentável da água é uma das sérias ameaças aos empreendimentos industriais e domésticos, sendo, a água, obtida por transferência de bacia hidrográfica ou retirada dos lençóis freáticos em quantidade superiores à da reposição natural, colocando em risco os estoques desse bem natural, tornando-a, num futuro próximo, o que representa hoje o petróleo. Os riscos potenciais de contaminação dos reservatórios de água potável e do ambiente, vem sendo ameaçados pelo descarte indiscriminado da água produzida associada ao petróleo, quando são descartadas no ambiente, mesmo com o devido tratamento, por não atingirem os padrões e níveis de potabilidade.

O projeto de reinjeção da água produzida, objetiva não descartar no ambiente a grande quantidade que emana da extração e produção de petróleo, se constituindo em um processo sustentável, reutilizando essa água no ciclo produtivo da indústria do petróleo, caracterizando a reciclagem do capital natural da terra.

Diante da grande importância que a água tem para a humanidade, demonstramos uma grande irresponsabilidade e má administração desse recurso natural, quando a desperdiçamos, poluímos e cobramos pouco pela sua utilização, o que estimula o esse desperdício.

2.6 POLUIÇÃO

De acordo com Braga (2005), poluição é uma alteração indesejável nas características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera que cause ou possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécie ou ainda deteriorar materiais.

No caso da poluição da água, é qualquer alteração química, biológica ou física na sua qualidade, que prejudique os organismos vivos ou torne a água inadequada para o consumo, Miller Jr. (2008).

A água é o principal componente dos organismos vivos. Seu percentual no peso dos seres varia entre 70 a 90.

2.6.1 Poluição da Água Subterrânea

A água subterrânea pode ser contaminada por uma variedade de produtos químicos, pois ela não consegue, de forma eficaz, se limpar, diluir e dispersar os poluentes, segundo Miller Jr. (2008). Dessa forma, a necessidade de tratamento desses efluentes em estações. As substâncias químicas e orgânicas, a exemplo do petróleo, gasolina, plásticos, pesticidas, solventes de limpeza e detergentes, os efluentes industriais, produtos de limpeza doméstica, escoamento superficial de fazendas, jardins, entre outros, tem efeito nocivo e podem ameaçar a saúde humana ao causar danos ao sistema nervoso, doenças no aparelho reprodutor e certos tipos de câncer, além de prejudicar peixes e animais selvagens. A poluição da água subterrânea é uma poluição muito perigosa, por ocorrer longe dos olhos dos homens e pela lentidão da sua movimentação, o que torna difícil ela se livrar dos resíduos degradáveis.

Segundo Miller Jr. (2008), a água subterrânea flui lentamente – em geral, menos de 0,3 m por dia – que os contaminantes não são diluídos ou dispersados de forma eficaz.

Conforme Miller Jr. (2008), o *arsênico* tóxico contamina a água quando um poço é perfurado em aquíferos onde os solos e rochas são ricos em arsênico por natureza.

Miller Jr. (2008), diz que uma das soluções para limpeza da poluição da água subterrânea é o bombeamento para superfície, tratar e devolver ao aquífero.

2.6.2 Salinização

A salinização é uma forma particular de poluição do solo, que pode ocorrer em um lençol freático e a evaporação que se sucede deixa os resíduos sólidos salinos, segundo Braga (2005).

Como já foi dito anteriormente, a água produzida não tem valor econômico. Mas como ela é extraída associada ao petróleo, se faz necessário a sua separação por motivo da sua composição apresentar sais, tais como cloretos, sulfatos e carbonatos de sódio, cálcio, bário e magnésio, dentre outras espécies químicas, que podem provocar a corrosão, a formação de depósitos inorgânicos nas instalações de produção, transporte e refino, e a poluição do ambiente, quando descartado sem o devido tratamento exigido.

O cloreto de sódio e cloreto de potássio, os sais solúveis, compõe basicamente os fluidos de perfuração de poços de petróleo. E esses sais no solo, dissolvidos nos resíduos da perfuração, pode trazer conseqüências graves ao ambiente.

A concentração excessiva de sal solúvel no solo aumenta o potencial osmótico, que é a causa principal do dano e morte das plantas.

Quando a água produzida é encaminhada para o processo de reinjeção, condição desejável e adotada hoje pela empresa concessionária do campo de Cassarongongo, o tratamento deverá ser ainda mais rigoroso, devendo-se atingir padrões de qualidade que não comprometam a injetividade dos reservatórios e problemas nos equipamentos relacionados à corrosão ou entupimentos. Se assim ocorrer, haverá aumento significativo do custo de produção, inviabilizando o planejamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

3.1.2 Local da Pesquisa

A localização da pesquisa é no campo produtor de petróleo de Cassarongongo, Estação de tratamento da água produzida, separação do petróleo e resíduos extraídos dos poços, que fica localizado na Bacia do Recôncavo, região sudoeste do município de Catu, Estado da Bahia, distante 20 km da área urbana. Essa área faz parte de um bloco produtor de petróleo, sob a concessão da Petrobras, que teve seu início nos anos 70, e atualmente, é operado pela empresa Petroreconcavo. É o campo com maior produção de petróleo em Catu, com mais de 1,25 mil barris de petróleo por dia e 8 mil metros cúbicos de gás. São 84 poços em Catu, mas contando com 15 na cidade vizinha de São Sebastião do Passé, o campo acumula 99 poços produtores, conforme Figuras 12, 13, 14 e 15. Na extração desse petróleo, são gerados 31.000 m³, diários de água produzida.

Fonte: Petroreconcavo, 2011

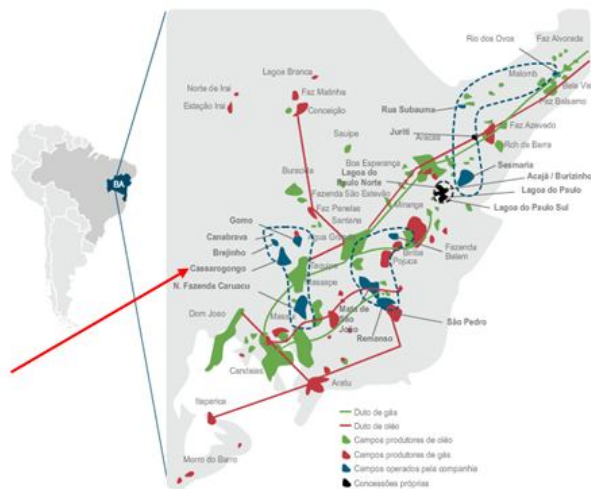
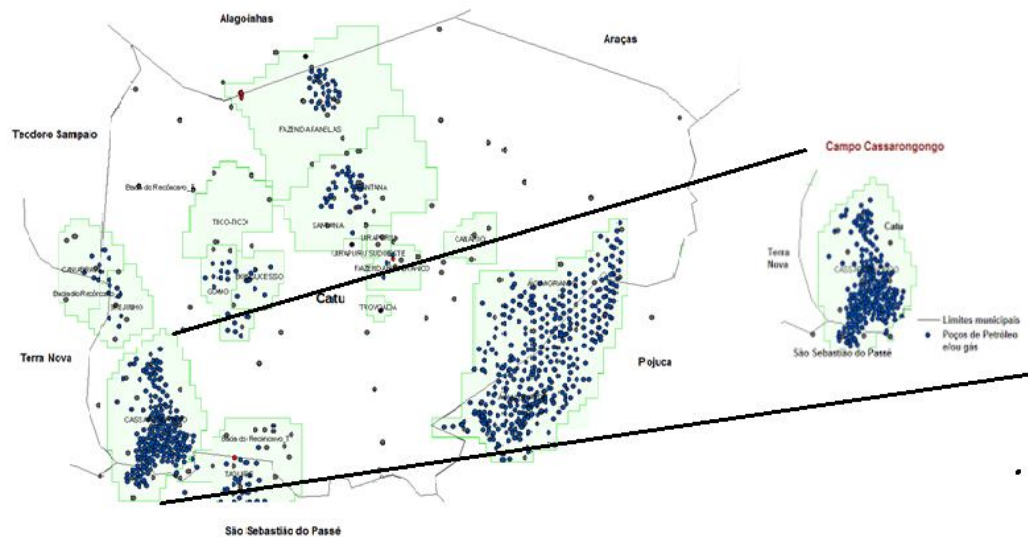


Figura 12 – Localização dos Campos de Petróleo da Bacia do Recôncavo.
Fonte: Petroreconcavo, 2011



**Figura 13 – Localização do Campo Produtor de Cassarongongo.
Fonte: Petroreconcavo, 2011**



**Figura 14 – Estação Cassarongongo,
Tratamento dos Efluentes dos Poços de
Petróleo.
Fonte: Petroreconcavo, 2011**



**Figura 15 – Entrada da Estação
Cassarongongo.**

3.1.3 Tipo de Pesquisa

O tipo de pesquisa se refere a uma avaliação da eficiência da reinjeção da água produzida no processo de recuperação secundária na extração do petróleo para minimização dos impactos ambientais. Este trabalho científico ocorreu no campo produtor de petróleo de Cassarongongo e na sua estação de tratamento de efluentes da extração de petróleo.

3.1.4 Coleta de Dados

Para o desenvolvimento do trabalho foram implementadas estratégias de investigação através de levantamento de material bibliográfico e análise dos mesmos. Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica, no acervo da Petrobras, Petroreconcavo e internet, consultas a temas provenientes de artigos, seminários e cursos publicados, para reunir e selecionar material sobre o assunto e uma visita à estação de tratamento de efluentes de extração de petróleo do campo de Cassarongongo, com o propósito de se efetuar um estudo de caso sobre a eficiência da reinjeção da água produzida no processo de elevação artificial na extração do petróleo para minimização dos impactos ambientais.

3.1.5 Análise dos Dados

O material selecionado e os dados levantados com a visita que foi efetuada na estação de tratamento de efluentes foram analisados e elaborados uma descrição simplificada das técnicas de reinjeção e reaproveitamento da água produzida, levando em conta a quantidade produzida, tratada e reinjetada nos poços de petróleo para a sua elevação secundária nos campos *onshore*. Foi feita uma análise buscando evidenciar as vantagens e desvantagens da reinjeção da água produzida e a minimização dos impactos ambientais com a reutilização deste subproduto do petróleo, sem nenhum valor econômico.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Conforme já informado no item 3.1.2 - Local da Pesquisa, o objeto dessa pesquisa foi a Estação Cassarongongo, a qual efetua a separação do petróleo e resíduos extraídos dos poços, bem como efetua o tratamento da água produzida do campo com o mesmo nome, operado pela empresa Petrobras S/A, com contrato de concessão de operação assinado com a empresa Petroreconcavo. Este Campo fica situado no sudoeste do município de Catu, distante 20 km da área urbana, limitando-se com o município de São Sebastião do Passé, sendo considerado o maior campo produtor de petróleo em Catu, pertencente ao bloco produtor denominado de Bacia do Recôncavo Baiano.

A sua formação geológica é do tipo arenito fluvio-eólico, o mecanismo de produção é através da estimulação para elevação secundária, utilizando a reinjeção de água produzida nos poços de petróleo, por se tratar de um campo maduro, e a temperatura do reservatório está em torno de 64°C a uma profundidade média de 1140 metros.

A rocha-reservatório deste campo possui uma boa permeabilidade, indicando que ela tem grande capacidade de fluxo do fluido com quantidade significativa de poros conectados, o que possibilita a movimentação desses fluidos no seu interior, permitindo que a operação de reinjeção da água produzida seja efetuada com sucesso, contribuindo para o aumento da elevação secundária de petróleo, bem como o reaproveitamento dessa água para que não seja descartada no ambiente, de acordo com os objetivos deste trabalho científico. Infelizmente, por normas internas da empresa, respeitando a segurança da informação, não foi possível informações mais detalhadas.

3.3 PLANTA DE PROCESSO

O Campo de Cassarongongo é composto de uma planta de processos para a separação do óleo e resíduos extraídos dos poços, com uma estação de tratamento de água produzida. Atualmente, ela processa cerca de 1,25 mil barris de

petróleo por dia e 8 mil m³ de gás, produzindo 31.000 m³/dia de água proveniente dos reservatórios, oriundos dos seus 99 poços produtores. Realizar o descarte de toda essa água no ambiente seria um erro grave e incalculável, por isso ela é 100% reaproveitada, sendo reinjetada nos poços e o óleo é transferido para a planta de processos da Estação São Roque, no município de Mata de São João, que dá o tratamento adequado ao óleo, o qual é bombeado com 1% de água para a RLAM - Refinaria Landulpho Alves, que pertence a Petrobras. Não há outro destino para a água produzida, tratada, da Estação Cassarongongo, senão a reinjeção em poços de petróleo.

Uma planta de processamento é um conjunto de equipamentos e mecanismos projetados com a finalidade de processar a separação do óleo, gás e água, associados; a retirada das impurezas e partes sólidas, tratamento da água produzida para reinjeção ou descarte. As plantas de processamentos mais complexas condicionam e comprimem o gás, além de tratar o óleo e a água produzidos, sendo este último o objeto do nosso trabalho científico.

Dependendo do tipo de fluidos produzidos e da viabilidade técnico-econômica, uma planta de processamento primário pode ser simples ou complexa; as mais simples efetuam apenas a separação gás/óleo/água, enquanto que as mais complexas incluem o condicionamento e compressão do gás, tratamento e estabilização do óleo e tratamento da água para reinjeção ou descarte (THOMAS, 2004).

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 PROCESSAMENTO DE TRATAMENTO PRIMÁRIO DE FLUIDOS

A água produzida após passar pelo processo de separação do petróleo torna-se um efluente que requer um destino. Atendendo às normas ambientais (CONAMA 357/2005) e exigências dos órgãos regulamentais para ser tratada (presença de compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos; presença de sais e outros constituintes nocivos ao ambiente, ausência de oxigênio e temperatura elevada), ela pode ser descartada no ambiente ou reutilizada tanto na reinjeção em poços de petróleo ou em outra aplicação, como por exemplo, na geração de vapor ou até irrigação. As características de um campo “maduro” é que ele aumente consideravelmente a produção da quantidade de água produzida, com o passar do tempo. Toda essa água destinada ao tratamento pode conter concentrações de óleo que variam de 50 a 5000 ppm, possui elevada salinidade (entre 40.000 e 270.000 ppm de NaCl) e pode conter teor de sólidos suspensos (TSS) variando entre 5 a 2000 ppm. Além disto, microrganismos e gases dissolvidos, carbônico e sulfídrico, podem estar presentes.

Como estamos tratando do assunto de reinjeção da água produzida, a condição desejável e adotada pelas as empresas que optam pelo este procedimento, o tratamento deverá ser ainda mais rigoroso devendo atingir padrões de qualidade que não comprometam a injetividade dos reservatórios, problemas nos equipamentos relacionados à corrosão ou entupimentos e a poluição do ambiente.

Segundo Thomas (2004):

O descarte da água produzida só pode ser realizado dentro de certas especificações regulamentadas pelo órgão de controle do meio ambiente que limita a quantidade de poluentes (teor de óleo, graxa, H₂S, etc.) nos efluentes aquosos. Devendo ser realizado o mais próximo possível do campo produtor, para evitar problemas de transporte e armazenamento, além dos desperdícios de energia.

O processo de tratamento primário de fluidos tem como objetivo promover a separação e efetuar a especificação das três fases existentes na corrente de fluidos

extraídas dos poços. Essas fases correspondem ao gás, óleo e água produzida. Além disso, o processo efetua também o aproveitamento da água e do gás por métodos de elevação de óleo. Existem dois tipos de plantas, uma mais simples ou complexas. O que se deseja para cada fase irá depender o nível de condicionamento utilizado. Obedecendo às principais especificações necessárias aos produtos do processo, ver Tabela 1.

Tabela 01 – Principais especificações dos fluidos após o Processamento Primário

CORRENTE	PARÂMETRO	ESPECIFICAÇÃO
Gás *	Teor de água	máx. 3 a 5 lb/Mscf (na BR: 2lb/Mscf)
	Teor de H ₂ S.	máx. 10 a 15 ppm
	Teor de Inertes, CO ₂	máx. 4% vol (na BR: 2%vol.)
Óleo	BS&W	Refino: máx. 1% vol
		Exportação: máxi. 0,5% vol
	Teor de sais	Refino: máx.: 570 mg/L (em NaCl)
		Exportação: máx. 285 mg/L (em NaCl)
Água produzida	TOG	máx. 20 ppm
	Temperatura	máx. 40°C

Fonte: Universidade Petrobras, 2007.

De acordo com Thomas (2004):

Acima de determinados níveis, a presença no óleo do gás associado e da salmoura (como é chamada a mistura de água, sais e sedimentos) causaria alguns problemas relacionados ao transporte em dutos ou petroleiros, ao armazenamento em tanques nos terminais e na refinaria ou em equipamentos das refinarias.

O gás associado, contendo substâncias corrosivas e sendo altamente inflamável, deve ser removido por problemas de segurança (corrosão ou explosão).

Água, sais e sedimentos também devem ser retirados, para reduzir-se os gastos com bombeamento e transporte, bem como para evitar-se corrosão ou acumulação de sólidos nas tubulações e equipamentos por onde o óleo passa.

Por isso, antes de ser enviado à refinaria, o petróleo passa pelo chamado Processamento Primário, realizado em equipamentos de superfície, nos próprios campos de produção (campos de petróleo).

Ao final desse processamento, teremos fluxos separados de óleo e gás, além de salmoura descartável.

O óleo final conterá teores menores daqueles hidrocarbonetos mais facilmente vaporizáveis; ficando, então, menos inflamável que o óleo cru. Por isso, esse óleo "processado" é também chamado Óleo Estabilizado.

Com referência à corrente de óleo, ele sai dos tratadores especificados conforme normas técnicas da ANP, com teores de água e sais dentro do permitido, e é enviado aos tanques de armazenamento de óleo. A água produzida nos tratadores é enviada aos tanques flutuantes, pois apresenta quantidade de óleo ainda em emulsão. Os tanques flutuantes apresentam elevado tempo de residência e a água succionada pelo sistema de bombas de injeção apresenta baixo teor de óleo. Ver Figura 16, onde mostra o esquema geral do processo primário de fluidos. Nesse esquema pode-se verificar que após o processo de tratamento, a água produzida é enviada para as bombas de injeção, que passa pelo *manifold* de distribuição, que irá para a reinjeção nos poços ou será descartada. A empresa optou pelo primeiro caso, objetivando a minimização dos efeitos poluidores no ambiente, bem como baixar os seus custos de produção.

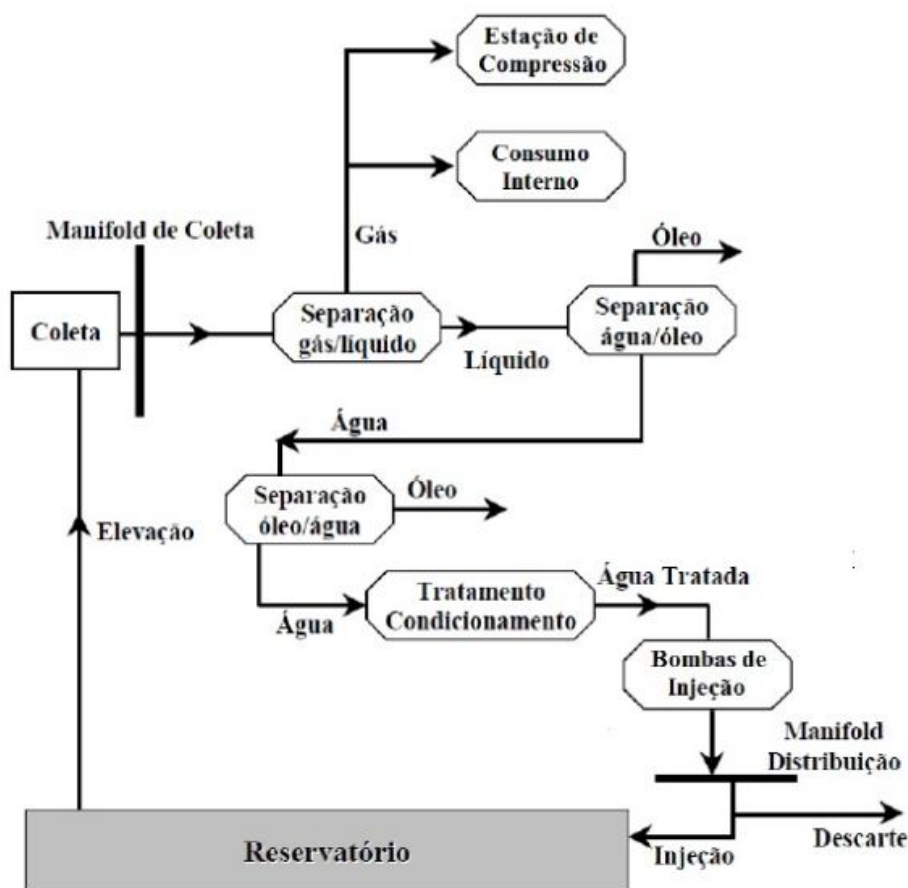


Figura 16 – Esquema Geral do Processamento Primário de Fluidos.

Fonte: Universidade Petrobras, 2007, Disponível em:

<<http://engenhariaquimica.files.wordpress.com/2010/04/apostila-ppp.pdf>>, Acessado em: 26 nov.2013.

Analisa-se que entre o descarte e a reutilização através da reinjeção da água produzida, a melhor escolha a ser adotada seria o de reinjetá-la nos poços dos campos onde foram produzidas, atendendo ao processo de tratamento primário, abaixo descrito, lembrando que neste caso, o CONAMA não permite que haja sobra de água dos processos. Toda a água produzida extraída e tratada deverá ser reinjetada, não podendo ser descartada no ambiente:

Os fluidos que são extraídos dos poços produtores são encaminhados para a separação da água nos separadores de 1º e 2º estágio > flotadores a gás > S.A.O (separadores de água e óleo) - sendo que o óleo recolhido volta ao processo.

Desta forma, temos o processo específico da água produzida, propriamente dita, que é:

Armazenamento em tanques atmosféricos > decantadores > filtros de areia > filtros de cartucho > desaeradores para remoção de oxigênio (ou aplicação direta de bisulfito) > *Header* (tubo de comunicação) da captação das bombas de injeção (*booster* - dínamo de reforço ou intensificador) > poço injetor.

4.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS OBTIDOS NA PLANTA DE PROCESSO

Como foi visto nos capítulos anteriores, a água produzida ao petróleo se caracteriza por possuir uma composição altamente poluidora, possuindo diversos contaminantes. A tabela 2 detalha os resultados das análises dessa água no campo de Cassarongongo, localizado na bacia do Recôncavo, município de Catu, estado da Bahia, depois de ser tratada. A análise foi realizada pelo laboratório químico da empresa gestora do campo de Cassarongongo. Assim, a análise nos permite observar a composição desta água, onde a amostra, coletada na saída da estação, apresenta elevados teores de ferro e cloreto, ao mesmo tempo em que são menores os de TOG (teor de óleo e graxa), DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO – Demanda Química de oxigênio.

TABELA 2 - Resultado de Análise da Água Produzida no Campo de Cassarongongo.

CÁTION

Sódio+Potássio	Na + + K (Calculado)	18.781
Cálcio	Ca ++	1.490
Magnésio	Mg ++	538
Ferro Total	Fe 2+ ou 3+	13,8 mg/L
Ferro Solúvel	Fe 2+ ou 3+	2,0 mg/L

ÂNIONS

Bicarbonato	HCO ⁻³	428
Hidroxila	OH ⁻	0
Carbonato	CO ^{—3}	0
Sulfato	S04 ⁻	116
Cloreto	Cl	33.747
Cromato	Cr04 [—]	0

OUTRAS DETERMINAÇÕES

Dureza Total	CaC0 ₃	7.000
Sólidos Totais	Dissolvidos	56.651
Salinidade	NaCl	48.336
Densidade	a 20°C	1,054
pH	a 20°C	6,86
TOG		03 – 11
DBO		26 - 28
DQO		39 - 84

Amostra: Água Produzida

Local da Coleta: Saída da Estação Cassarongongo

Data da Amostragem: 12/09/2013

Data da Análise: 12/09/2013

Fonte: Petroreconcavo, 2013.

O resultado da análise nos mostra que o TOG está entre 3 e 11, e o teor máximo de óleos e graxas, exigidos pelo CONAMA nº 357 – Art. 21 e 34 de 17/03/2005, para o descarte ou reinjeção da água produzida é de 20 mg/L.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho científico permitiu conhecer uma das alternativas para a minimização da poluição causada pela indústria do petróleo, utilizando-se a água produzida para reinjeção nos poços de petróleo, com a finalidade do processo de recuperação secundária em campos “maduros”. Também nos permitiu conhecer os parâmetros de qualidade da água produzida, após o seu devido tratamento exigidos e os alcançados na estação de tratamento de Cassarongongo. Embora o acesso aos dados terem sido limitados e terem sido cedidos apenas uma única amostragem, não sendo permitidas informações detalhadas do processo, em concordância com a segurança da informação da empresa concessionária, o trabalho conseguiu descrever o processo.

Foi realizada uma breve e objetiva explicação, porém de fácil compreensão, do processo de tratamento da água produzida, como etapa da planta de processamento primário para separação simples do petróleo, gás e a água. Mostrando que no final desse processamento teremos fluxos separados dessas classes, além de salmoura descartável, a qual será reutilizada através da reinjeção ou descarte no ambiente, sendo executado pela empresa operadora, o primeiro caso.

Foram analisados os principais impactos ambientais desse segmento industrial, dando ênfase ao tratamento e destino da água produzida. A legislação brasileira prevê o controle da poluição da água estabelecendo os limites de elementos contaminantes no efluente, classificando os corpos hídricos pela sua qualidade e utilização.

Na tomada de decisão técnica (envolve viabilidade econômica e financeira, e conhecimentos ambientais), sobre qual o destino correto da água produzida dos poços *onshore* é a sua reinjeção para a geração de riquezas, este trabalho mostra os caminhos corretos a serem tomados, destacando a importância da reutilização deste efluente, sem valor econômico, ao não descartar no ambiente. Além disso, deve-se levar em conta que este processo também auxiliará a produção de petróleo, uma vez que as empresas de exploração e produção normalmente injetam um volume de água produzida muito superior ao volume bruto produzido (óleo + água).

Desta forma, promove-se o objetivo de aumentar a pressão do reservatório dos campos maduros de petróleo, a fim de aumentar a produção.

Assim sendo, diante do que se foi levantado, verificado e explicado, se torna evidente a eficácia do processo, mostrando que é possível minimizar os impactos ambientais, com idéias de sucesso, reutilizando a água produzida para reinjetá-la nos poços de petróleo, contribuindo com a preservação do ambiente e o respeito à vida como um todo.

REFERÊNCIAS

- ANP. **Agência Nacional do Petróleo**, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acessado em: 01 set.2013.
- BRAGA, B. et. al. **Introdução à engenharia ambiental**. São. Paulo: *Pearson Prentice Hall* - 2ª edição. 2005.
- BRASIL. **Resolução CONAMA n. 23**, de 07 de dezembro de 1994. *Institui procedimentos específicos para o licenciamento de atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=164>>. Acessado em: 02 out.2013.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>, Acessado em: 02 out.2013.
- BRÍSIO, A. G. B. **Proposta para aproveitamento da água**. Salvador: FTC, 2009. Disponível em: <<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1050205/1/dissertacao.pdf>>, Acessado em: 11 mai.2013.
- Disponível em: <<http://engenhariaquimica.files.wordpress.com/2010/04/apostila-ppp.pdf>>, Acessado em: 01 mai.2013.
- MILLER JR., G. Tyler. **Ciência Ambiental**, 1931. Tradução *All Tasks*. São Paulo: *Cengage Learning*, 2008.
- ROCHA, J. H. B.; GOMES, M. M. S.; FERNANDES, N. S.; SILVA, D. R.; MARTINEZ-HUITLE, C. A. **Application of electrochemical oxidation as alternative treatment of produced water generated by Brazilian petrochemical industry**. *Fuel Processing Technology*. v. 96. 2012. p. 80 – 87.
- SHIGUNOV NETO, Alexandre; CAMPOS, L. M. S; SHIGUNOV, Tatiana. **Fundamentos da Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.
- SILVA, C. R. R. **Água Produzida na Extração de Petróleo**. 2000. 27 f. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2000.
- SILVA, André Luis Figueira; *et al.* **Universidade Petrobras: Processamento Primário de Petróleo**. Escola de Ciências e Tecnologias E&P. p. 5, 2007.
- SILVA, P. K. L. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensos ativos de origem vegetal**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Brasil.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 2004.