



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS - CE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA - DET
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ÁLVARO GABRIEL DE SOUZA ARAÚJO

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE AMOSTRAS DE
PETRÓLEO E SUA IMPORTÂNCIA NA EMPRESA MANDACARU ENERGIA.**

MOSSORÓ

2025

ÁLVARO GABRIEL DE SOUZA ARAÚJO

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DAS ANÁLISES LABORATORIAIS E SUA
IMPORTÂNCIA NA EMPRESA MANDACARU ENERGIA.**

Relatório de estágio apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, referente ao acompanhamento do processo das análises laboratoriais e sua importância na empresa Mandacaru Energia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Luiz Ferreira da Silva Filho, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2025

ÁLVARO GABRIEL DE SOUZA ARAÚJO

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DAS ANÁLISES LABORATORIAIS E SUA
IMPORTÂNCIA NA EMPRESA MANDACARU ENERGIA.**

Relatório de estágio apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, referente ao acompanhamento produtivo e controle de qualidade da empresa Mandaru Energia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Defendida em: 27 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



LUIZ FERREIRA DA SILVA FILHO
Data: 27/03/2025 21:01:02-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Luiz Ferreira da Silva Filho (UFERSA)

Presidente

Documento assinado digitalmente



CLAUDIO COSTA DOS SANTOS
Data: 27/03/2025 19:12:14-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Cláudio Costa dos Santos (UFERSA)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



GECILIO PEREIRA DA SILVA
Data: 28/03/2025 11:57:51-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Gecílio Pereira da Silva (UFERSA)

Membro Examinador

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A658a Araujo, Álvaro Gabriel de Souza Araujo.
ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE
AMOSTRAS DE PETRÓLEO E SUA IMPORTÂNCIA NA EMPRESA
MANDACARU ENERGIA. / Álvaro Gabriel de Souza
Araujo Araujo. - 2025.
31 f. : il.

Orientador: Luiz Ferreira da Silva Filho Filho.
Coorientador: Gecilio Pereira da Silva Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2025.

1. Laboratório. 2. Análises. 3. Petróleo. 4.
Água Produzida. 5. Indústria. I. Filho, Luiz
Ferreira da Silva Filho, orient. II. Silva,
Gecilio Pereira da Silva, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, especialmente aos meus pais Rossildo e Sandra, que prestaram cobranças desafiadoras e vastos incentivos, buscando sempre prestarem o apoio necessário durante minha trajetória. Ao meu irmão Mariano que tenho o privilégio de chamá-lo assim, por toda a compreensão e em momentos difíceis ser um bom ouvinte além de prestar apoio quando eu precisava.

Agradeço também a minha noiva Andressa Caroline que durante os momentos de ansiedade e insegurança foi lar e acolhimento, sempre me ajudando a ver os problemas por outras perspectivas não me deixando desistir de tentar ou de ir atrás dos meus objetivos.

Agradeço aos meus amigos da faculdade Paulo Victor, Heitor e Marcos que durante boa parte da graduação eram as pessoas que eu convivia mais do que minha própria família e sempre faziam dos momentos sejam no laboratório ou nos corredores da universidade os mais tranquilos possível.

Agradeço a todos os professores que conheci durante os cursos de Ciência e Tecnologia e da Engenharia Química que foram de extrema importância para moldar o profissional que me tornei ao final desse ciclo, em especial aos professores Geraldine Nobrega, Kalyanne Keyly, Frederico Ribeiro e Rafael Rios que apresentaram as principais aplicações de um engenheiro químico na indústria e suas responsabilidades.

Agradeço aos meus professores de pesquisa Cláudio Costa, Gecílio Pereira, Zilvan Melo e Luiz Ferreira, que me proporcionaram uma experiência prática que foi fundamental para adquirir desenvoltura e habilidades práticas que aplico diariamente.

Agradeço a Mandacaru Energia pela oportunidade do estágio e todo o aprendizado adquirido. Em especial, agradeço a minhas companheiras de laboratório Cintya e Gláice por toda a paciência e convívio durante esse período, foi de muito aprendizado. Agradeço também a meu supervisor de estágio Rodolfo Rebolças pelas orientações e aos demais colaboradores sejam operadores ou engenheiros, que me ensinaram muito e me fizeram ficar fascinado pelo mundo do petróleo e sua dinamicidade.

Agradeço a todos os membros da minha banca pela contribuição e participação na defesa deste trabalho.

Por fim agradeço ao meu orientador Luiz Ferreira da Silva Filho por ter aceitado me orientar e ter tido paciência durante todo o processo que é longo e exaustivo.

“Não há fatos eternos, como não há verdades absolutas”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

O ramo petrolífero é uma das áreas industriais que mais passam por oscilações com épocas de investimentos e desinvestimentos, sendo assim é esperado que nos seus processos existam uma série de padrões e normas a serem seguidos para que os processos permaneçam operando de forma constante e eficiente. Dessa forma é possível observar a importância das análises físico-químicas para a manutenção da qualidade do óleo especificado que será vendido e da água que foi tratada, e formas de melhoria para o processo produtivo com base nos resultados das análises de TOG e TSS para as amostras de água e °API e BSW para as amostras de óleo. Observando o estudo a seguir é possível evidenciar a importância de um laboratório que realize as análises citadas, além de profissionais químicos capacitados para a execução das especificações de óleo produzido e água tratada, sendo possível criar estratégias e mecanismos para melhoria de produtividade ou avaliação de um efluente tratado que é usado para irrigação do meio, norteando o processo e indicando possíveis alternativas para o processo. Assim sendo, é clara a importância do laboratório como agente estratégico e necessário para a operação dos campos, buscando compreender a situação que os poços e o campo se encontram e buscar soluções que façam o processo rodar de forma mais eficiente e constante.

Palavras-chave: Laboratório, Análises, Petróleo, Água Produzida e Indústria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostra de Petróleo.....	14
Figura 2 - Fluxograma do processo da coleta até análise do óleo.	17
Figura 3 - Fluxograma do processo da coleta até análise do água.....	17
Figura 4 - Amostragem do óleo dos poços em garrafas para análise.....	18
Figura 5 - Proveta com óleo para análise de API.....	20
Figura 6 - Grau API aferido fazendo uso de um termodensímetro.....	20
Figura 7 - Tubo de centrífuga com amostra de óleo para BSW.....	22
Figura 8 - Amostra de água tratada no processo para análise.....	24
Figura 9 - Hexano usado de solvente e referência.	24
Figura 10 - Amostra e solvente colocados no funil.	25
Figura 11 - Amostra após agitação e separação dos óleo e graxas da água.....	25
Figura 12 - Amostra para análise a esquerda e hexano para referência a direita.....	26
Figura 13 - Equipamento usado para as leituras de absorbância Hach DR2700 e seleção de módulo de leitura.	26
Figura 14 - Equipamento usado para as leituras de concentração de sólidos suspensos em mg/L Hach DR2700 e seleção de módulo de leitura.	27
Figura 15 - Amostra de água com pouca quantidade de sólidos a esquerda e água destilada para referência a direita.....	28
Figura 16 - Tanques para especificação do óleo e carreta para transporte.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de óleo de acordo com grau API.....	15
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANP	ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PETRÓLEO
AP	ÁGUA PRODUZIDA
API	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
ASTM	STANDARD TEST METHOD
BSW	BASIC SEDIMENT AND WATER
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
ETAP	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA
NBR	NORMA BRASILEIRA
PPGMSA	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
RN	RIO GRANDE DO NORTE
SAO	SEPARADOR ÁGUA E ÓLEO
SPT	SONDA DE PRODUÇÃO TERRESTRE
TOG	TEOR DE OLEOS E GRAXAS
TSS	TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS
UFERSA	UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
UV	ULTRA VIOLETA

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 O PETRÓLEO.....	14
3.2 Grau API.....	14
3.3 BSW.....	15
3.4 ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO.....	15
3.5 TEOR DE ÓLEO E GRAXAS (TOG).....	16
3.6 TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS (TSS)	16
3.7 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO	16
4 PROCESSO DE REALIZAÇÃO DE ANÁLISES	17
4.1 ANÁLISES DE ÓLEO	18
4.1.1 REALIZAÇÃO DO TESTE DE PRODUÇÃO E AMOSTRAGEM	18
4.1.2 REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES E LIMPEZA.....	18
4.1.2.1 DETERMINAÇÃO DO GRAU API	19
4.1.2.2 DETERMINAÇÃO DO BSW	20
4.2 ANÁLISES DE ÁGUA	23
4.2.1 DETERMINAÇÃO DO TOG.....	23
4.2.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS	27
5 A IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES PARA A MANDACARU ENERGIA	28
5.1 ANÁLISES DE ÓLEO	28
5.2 ANÁLISES DE ÁGUA	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Para Gurgel et al. (2013) o petróleo se trata de um composto viscoso formado por hidrocarbonetos de cadeia aberta, fechada e aromáticos, com alguns contaminantes sendo eles o oxigênio, nitrogênio e principalmente o enxofre, possuindo uma densidade inferior a da água, podendo ser obtido na forma de asfaltenos sendo um óleo mais pesado, o óleo cru comumente conhecido sendo mais líquido e leve e na forma de gás como gás natural.

Historicamente no início da produção de petróleo no Rio Grande do Norte não apresentava viabilidade, tendo em vista a baixa produção dos primeiros poços perfurados no estado. Contudo a partir de 1980 com a perfuração do poço MO-14 como primeiro poço viável do RN houve uma intensificação na perfuração de poços, principalmente nos municípios de Mossoró, Macau, Areia Branca e Alto do Rodrigues. Após a produção elevada e grande quantidade poços, em 1995 houve a reestruturação das atividades de produção e exploração pela Petrobras.

Com base nessa facilidade de exploração de petróleo a Mandacaru Energia entra como uma operadora que realiza a produção e exploração em campos maduros, estando de posse de duas concessões e se posicionando no cenário de desinvestimentos em terra, além de aproveitar para produzir em novos campos.

O processo produtivo é realizado fazendo uso de métodos de elevação artificiais, sendo o método de bombeio por cavidade progressiva o empregado em todo o campo. As etapas existentes no processo de produção são: extração, armazenamento, especificação e transporte. Para especificação do óleo são necessários testes e análises que são realizados no laboratório, sendo principalmente o BSW (Basic Sediment and Water) e o grau API.

Ao extrair o petróleo também é extraída água que ficam saturadas nas rochas porosas, a qual é separada do petróleo por decantação dos tanques de armazenamento. Uma das hipóteses de Assunção, Vieira e Almeida (2018), é que para campos mais velhos onshore a produção de água produzida de petróleo será maior do que no início da sua vida produtiva, indicando a importância do tratamento dessa água para que possa ser destinada para injeção ou para irrigação como é bem usada.

Assim como o óleo a água passa por análises para a identificação de sua qualidade, sendo os principais testes empregados: Teor de Óleos e Graxas (TOG), Teor de Sólidos Suspensos (TSS) e análises físico-químicas como dureza, salinidade, ferro e sulfato para não gerar danos às plantas irrigadas ou ao processo de injeção de água em poços.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Acompanhar e realizar as análises de óleo e água produzida da Mancaru Energia além de identificar a sua relevância.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar parâmetros de BSW e API obtidos nos óleos analisados bem como os parâmetros físico-químicos como dureza, salinidade, ferro e sulfato da água produzida.
- Analisar a produção de óleo e água dos poços ao longo dos anos e sugerir melhorias no tratamento com desemulsificantes ou variáveis do processo que possam otimizar a obtenção do óleo.
- Propor melhorias para o processo de tratamento da água por controle dos produtos químicos utilizados na Estação de Tratamento de Água Produzida (ETAP).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O PETRÓLEO

Para Speight (2002), o petróleo se trata de uma mistura de hidrocarbonetos comumente encontrada no estado líquido, onde pode haver a presença de outros elementos químicos além de hidrogênio e carbono, como o enxofre, o nitrogênio, oxigênio e metais que muitas vezes são contaminantes para o óleo e devem ser removidos no processo de destilação.

O conhecimento das características físico-químicas do petróleo é de fundamental importância para o tipo de tratamento devido seus contaminantes, inicialmente fatores com o grau API que relaciona a densidade com a temperatura e a viscosidade eram os fatos base para identificação para os métodos de tratamento, feitos de forma analítica rudimentar, contudo nos dias atuais existem equipamentos sofisticados que já são capazes de realizar essas medições diminuindo o esforço humano e aumentando mais precisão (FILGUEIRAS et al. 2014).

Figura 1 - Amostra de Petróleo.



Fonte: ROBERTO ROSA (2025)

3.2 Grau API

O grau API se trata de uma forma de medição de qualidade de petróleo desenvolvida relacionando a temperatura e a densidade do óleo, devido dificuldades em classificá-los apenas com a densidade devido a grande proximidade entre eles, foi estabelecida pelo American Petroleum Institute (API) e é regulamentada pela ASTM D1298-12 (Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid

Petroleum Products by Hydrometer Method) e a ASTM D287 (Standard Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method)) onde foi desenvolvida pelo American Society for Testing and Materials, sendo um método de medição padrão internacional, já a ABNT NBR 7148 (Petróleo e produtos de petróleo – Determinação da massa específica, densidade relativa e °API – Método do densímetro) é o método nacional que direciona a forma de realização das análises.

Como citado anteriormente os tipos de petróleo são categorizados de acordo com o seu grau API, dessa forma na tabela abaixo estão dispostos o respectivo grau e classificação do óleo.

Tabela 1- Tipos de óleo de acordo com grau API

Tipo de Petróleo	Grau API
Leve	$\geq 31^\circ$
Mediano	$22^\circ \leq \text{API} < 31^\circ$
Pesado	$10^\circ \leq \text{API} < 22^\circ$
Extrapesado	$< 10^\circ$

Fonte: Adaptado ANP

O grau API é um dos fatores cruciais para a determinação da viabilidade econômica da produção, havendo a relação de quanto maior o grau API maior o retorno econômico que a empresa irá receber, também determinando qual será o método de elevação e os equipamentos mais eficientes para a extração do petróleo (FILGUEIRAS et al. 2014).

3.3 BSW

Os sedimentos e água presentes no petróleo ou BSW são a relação do quanto é produzido de sedimentos e água de um poço, podendo ser realizado de forma total com o BSW de água livre adicionado do BSW do óleo em si, é normatizado no Brasil pela NBR ABNT 14647 onde indica o procedimento de realização do teste, além dos equipamentos necessários para a realização dessa análise. O BSW apresenta uma grande importância para a especificação e venda do óleo, para identificar o quanto daquela carga representa óleo e o quanto representa os sólidos e água.

3.4 ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO

Para a PETROBRAS (2022) a água produzida ou apenas AP é a água presente nas formações subterâneas e que é arrastada para a superfície quando extraída dos poços produtores de petróleo, juntamente com o óleo e o gás. Para Silva et al. (2019) a água

produzida no processo de extração apresenta uma composição complexa que dificulta o tratamento da água no qual gera um efluente difícil de ser manuseado e que apresenta uma alta toxicidade para o meio, além de que em muitos casos meios tradicionais de tratamento sejam ineficientes para tratá-la tendo que ser necessário recorrer a métodos mais severos como os processos oxidativos avançados, que apresentam maior efetividade e um alcance maior no tratamento da água produzida.

Na Mandacaru Energia toda a água produzida gerada no campo é enviada para a estação de tratamento de água produzida (ETAP) na qual passa por um tratamento físico e químico para que seja reutilizada seja para irrigação ou para a injeção, mesmo considerando o tratamento da ETAP simples e convencional os resultados obtidos com o tratamento são altamente positivos e o processo eficiente.

3.5 TEOR DE ÓLEO E GRAXAS (TOG)

A análise do teor de óleos e graxas é realizada nas águas do processo da ETAP, onde busca-se avaliar se aquele efluente está apropriado para o descarte como forma de irrigação, segundo a resolução CONAMA 430, para efluentes que possuam substância solúveis em hexano é limitado a uma concentração de 100 mg/L ou 100ppm. Para o processo de injeção a norma também se faz útil limitando a quantidade óleo que está sendo devolvida para o reservatório e indicando se o processo está sendo efetivo.

3.6 TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS (TSS)

Assim como o teor de óleos e graxas, o teor de sólidos totais é realizada nas águas do processo da ETAP, onde se faz necessário avaliar se a quantidade de sólidos atende as normas da resolução CONAMA 430, onde se é analisado que em efluentes com quantidades de sólidos tem que ser inferior a 20% da quantidade após a etapa de desarenação, onde a maior quantidade de sólidos será retida e sendo representada na ETAP pela caixa separadora de água e óleo ou também chamada de caixa SAO, onde a maior parte de sólidos é retido por decantação, outra parte será retida pelo filtro de areia no estágio seguinte do processo e espera-se que os resquícios de sólidos sejam retidos pelo filtro cartucho.

3.7 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO

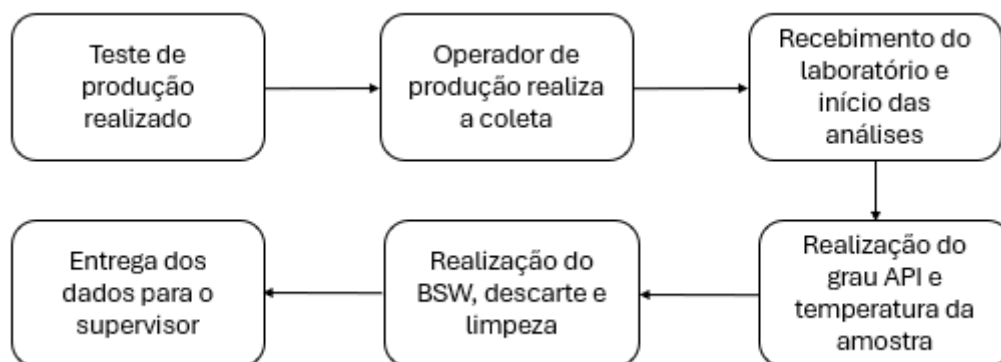
- Setor: Laboratório.
- Local do estágio: Mandacaru Energia.
- Período do estágio: 1 de Julho de 2024 à 28 de março de 2025.
- Duração: 9 meses.

- Supervisor do estágio: Victor Nunes Antunes.
- Cargo: Coordenador de Operações.
- Formação: Engenharia de Petróleo - UFES.

4 PROCESSO DE REALIZAÇÃO DE ANÁLISES

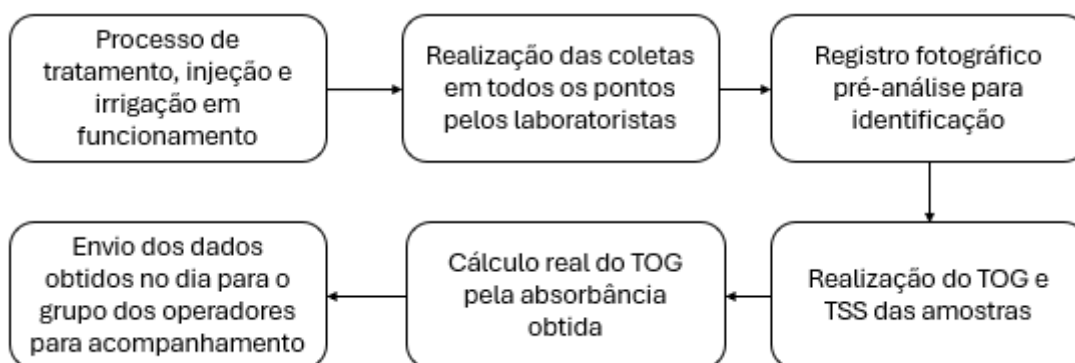
Cada análise é feita em par, API e BSW para a análise de óleo e TOG e TSS para a análise de água dessa forma se torna mais didático realizar essa separação e indicar cada um dos processos de forma separada por usar métodos e equipamentos diferentes entre elas. Para melhor entendimento do processo de análise desde coleta até a obtenção dos resultados, serão dispostos os fluxogramas abaixo, tanto para água quanto para óleo.

Figura 2 - Fluxograma do processo da coleta até análise do óleo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 3 - Fluxograma do processo da coleta até análise do água.



Fonte: Autoria própria (2025).

Todas as análises seguem com as unidades padrões usadas na Mandacaru Energia, algumas que não seguem o sistema internacional de unidade, devido o costume de empresas petrolíferas usarem o sistema inglês de unidade.

4.1 ANÁLISES DE ÓLEO

As análises de óleo ocorrem mensalmente, sendo uma referência para o controle de qualidade do óleo que está sendo retirado do poço, aliado ao teste de produção mede a vazão de produção e com as análises estima-se tanto a vazão bruta quanto a líquida. Analisando cada etapa do fluxograma do processo de análise tem-se uma visão mais concreta e definitiva de como deve-se funcionar e o que é preciso para realizar as análises, com o intuito de tornar o processo mais padronizado reduzindo os esforços desnecessários e otimizando a qualidade final do processo.

4.1.1 REALIZAÇÃO DO TESTE DE PRODUÇÃO E AMOSTRAGEM

Ao longo do mês os poços passam por testes de produção para avaliar a vazão do poço e entender se está havendo uma diminuição na vazão bruta do poço, uma variação da quantidade de água e óleo que são produzidos ou avaliar a produção final do poço após uma intervenção com sonda. Em quaisquer das hipóteses citadas o poço deve passar por teste e ao final realizar a coleta de uma amostra, obtendo-se a razão água/sedimentos e óleo presentes naquela vazão, que é de responsabilidade do laboratório realizar tal análise.

Figura 4 - Amostragem do óleo dos poços em garrafas para análise.



Fonte: Autoria própria (2025)

4.1.2 REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES E LIMPEZA

Após a chegada das amostras são preparadas as vidrarias e os procedimentos de cada análise, que são devidamente codificados e catalogados com o intuito de maior facilidade de localização em caso de necessidade. Os procedimentos referentes a análise de óleo são os procedimentos PR-MEN-LAB-0010 (Determinação do grau API) e PR-MEN-LAB-0020

(Determinação de BSW da amostra). Comumente a realização das análises são feitas primeiro verificando o grau API e depois o BSW, devido o tempo gasto e o volume de amostra necessário para a realização dos testes.

4.1.2.1 DETERMINAÇÃO DO GRAU API

O procedimento indica os seguintes passos para a realização da determinação do grau API em uma amostra de petróleo:

- Selecionar uma proveta graduada de vidro (1000 ml), calibrada, limpa e seca;
- Realizar agitação da amostra no recipiente em que foi coletado, certificando-se de que não haja água livre na amostra;
- Colocar a proveta contendo a amostra em posição vertical, em uma superfície plana, sem vibração e livre de corrente de ar.
- A temperatura da amostra não deve variar sensivelmente durante o tempo necessário para completar o ensaio. Durante esse período, a temperatura do meio ambiente não deve variar mais do que 2°C. Quando a temperatura da amostra diferir mais do que 2°C da temperatura ambiente, torna-se necessário o uso de um banho de temperatura constante.
- Transferir cuidadosamente a amostra, sem respingar, para a proveta limpa, de modo a evitar a formação de bolhas;
- Remover cuidadosamente as bolhas de ar que por ventura se tenham formado, antes de introduzir o densímetro ou o termodensímetro;
- Selecionar o densímetro ou termodensímetro apropriado para o tipo de óleo em análise;
- Mergulhar o densímetro ou termodensímetro cuidadosamente na proveta, efetuando um movimento giratório para que este entre rapidamente em equilíbrio e flutue livremente, sem tocar as paredes da proveta.
- Aguardar o tempo necessário para que o densímetro ou termodensímetro estabilize (permanecendo imerso aproximadamente entre 05 e 15 minutos para que se tenha a estabilização do API e temperatura) e as bolhas de ar atinjam a superfície. Isto é particularmente importante no caso de amostras muito viscosas.
- Após estabilização, retirar densímetro ou termodensímetro cuidadosamente e registrar o °API.
- Imediatamente limpar e anotar a temperatura em ° F;
- Descartar a amostra, limpar, secar e guardar o material utilizado.

Figura 5 - Proveta com óleo para análise de API.



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 6 - Grau API aferido fazendo uso de um termodensímetro.



Fonte: Autoria própria (2025)

4.1.2.2 DETERMINAÇÃO DO BSW

O procedimento indica os seguintes passos para a realização da determinação do teor de BSW em uma amostra de petróleo:

- Ligar banho-maria e aguardar o aquecimento a 60°C;
- Verificar nível de água do banho-maria, corrigir sempre que necessário;
- Ligar a centrífuga;
- Separar um tubo de ensaio cônico, limpo e seco;
- Adicionar 0,2 ml de desemulsificante diluído no tubo de ensaio cônico;

- Adicionar 49,8 ml de solvente no mesmo tubo de ensaio cônico;
- Em seguida, adicionar 50,0 ml da amostra de óleo em análise no tubo de ensaio cônico;
- Tampar o tubo com a rolha e realizar agitação de ensaio cônico por inversão (180°), dez vezes consecutivas ou mais até que a amostra esteja totalmente homogeneizada;
- Retire a rolha do tubo de ensaio cônico, mergulhe-o em banho-maria previamente aquecido a 60°C e deixe por 10 minutos;
- Após tempo de pausa em banho-maria, tampar o tubo de ensaio cônico utilizando a rolha;
- Realizar agitação do tubo por inversão (180°), dez vezes consecutivas ou mais até que a amostra esteja totalmente homogeneizada, promovendo a despressurização entre cada ciclo da agitação;
- Limpar tubo de ensaio cônico, inserir na centrífuga e deixar em centrifugação por dez minutos a uma rotação de 1800 rpm;
- Após centrifugação, inserir tubo na estante e observar o volume de água livre e sedimentos na amostra;
- Anotar valores obtidos;
- Encaminhar novamente o tubo de ensaio cônico para a centrífuga (repetir para que o volume combinado de água e sedimento permaneça constante após 2 leituras consecutivas);
- Após centrifugação, inserir tubo na estante e observar o volume de água livre e sedimentos na amostra;
- Cálculo do BSW:

$$V(\%) = \left[\frac{V_{S1} + V_{S2}}{V_{O1} + V_{O2}} \right] \times 100$$

Onde,

- $V(\%)$ = % em volume de água e sedimentos da amostra
- V_{S1} = volume de água e sedimentos no tubo 1 (mL)
- V_{S2} = volume de água e sedimentos no tubo 2 (mL)
- V_{O1} = volume de óleo inserida no tubo 1 (mL)
- V_{O2} = volume do óleo inserido no tubo 2 (mL)

Após a obtenção do volume de água e sedimentos da amostra é utilizada a equação 2 para obtenção real do BSW da amostra.

$$BSW(\%) = V(\%) \times 2$$

Onde,

- $BSW(\%)$ = Porcentagem de sólidos e água presente no óleo.
- $V(\%)$ = Porcentagem de volume medido da amostra de óleo.

Quando a sonda de produção terrestre (SPT) está em campo muitas vezes é necessário realizar outro tipo de análise de BSW, onde é avaliada a quantidade de água e óleo que foi produzida pelo poço em uma das retiradas de óleo da sonda também chamados de pistoneios. Com isso se faz necessário realizar o BSW de água livre que além de avaliar o BSW

convencional mostrado acima, também avalia a quantidade de água que a amostra entregue possuía, com isso estima-se a quantidade de água e óleo que o poço está produzindo por zona.

Assim, o BSW de água livre pode ser obtido seguindo os seguintes passos e calculado pelo conjunto de equações apresentadas abaixo, para a realização dessa análise os seguintes passos são necessários:

- Após a coleta do óleo, inserir em um funil de separação;
- Deixar decantar em um determinado tempo de acordo com o perfil do óleo;
- Após decantado, retirar o volume de água presente na amostra;
- Realizar o cálculo para encontrar o BSW de água livre:

$$BSW_a = \frac{(V_t - V_o) \times 100}{V_t}$$

Tendo que,

- BSW_a = BSW de água livre (mL)
- V_t = volume total de amostra (mL)
- V_o = volume de óleo após decantado (mL)

Com o BSW de água livre obtido pode-se então realizar aplicação dele na equação de BSW remodelada para que possa-se obtê-lo de forma concreta:

$$BSW_a = \frac{100 - (BSW_a - BSW_o)}{100 + BSW_a}$$

Sabendo que,

- BSW_a = BSW de água livre (mL)
- BSW_o = BSW de óleo decantado (mL)

Figura 7 - Tubo de centrífuga com amostra de óleo para BSW.



Fonte: Autoria própria (2025)

4.2 ANÁLISES DE ÁGUA

Como dito anteriormente, na ETAP são realizados os processos de injeção e de irrigação, dessa forma para o processo de irrigação principalmente se faz necessário um acompanhamento de perto dos padrões da água é usada no solo e nas plantas, para o processo de injeção esses cuidados também são necessários, mas com menos rigidez devido as normas ambientais para a descarga dessa água produzida tratada em solo. Para esse controle de qualidade as principais análises realizadas são as de TOG e TSS, por levarem em consideração os principais contaminantes tanto para a irrigação quanto para a injeção.

4.2.1 DETERMINAÇÃO DO TOG

Para a realização da análise do teor de óleos e graxas é necessário realizar uma preparação na amostra, fazendo com que o conteúdo orgânico referente ao óleo remanescente na água do processo seja evidenciado e assim analisado, tendo em mente que a referência dessa amostra é o hexano por ser o diluente dos óleos e graxas presentes na água, com isso os seguintes passos devem ser seguidos para a realização dessa análise:

- Realizar agitação da amostra no recipiente em que foi coletado;
- Medir 200ml utilizando proveta ou balão volumétrico previamente lavado e seco;
- Transferir o volume medido para o funil de separação;
- Adicionar 20ml de solvente (Hexano P.A), no funil de separação. Caso necessite, utilize o dobro de solvente se a concentração de óleo na amostra exigir;
- Agitar manualmente o funil por 30 segundos, promovendo a despressurização durante a agitação;
- Aguardar a separação de fases;
- Drenar a fase aquosa para um béquer.
- Drenar 10 ml da fase orgânica para a cubeta, remover as bolhas, em seguida limpar e secar com papel macio;
- Inserir cubeta no espectrofotômetro, selecionar a opção “ler”;
- Fazer a leitura do extrato orgânico, no comprimento de onda na região UV de maior absorção, previamente determinado na construção da curva de calibração;
- Fazer a diluição se a leitura estiver acima da faixa de linearidade da curva de calibração;
- Anotar valor da absorbância após a leitura no espectrofotômetro e aplicar na fórmula;

$$TOG(mg/L) = \frac{A \times V_s \times fd}{V}$$

Onde,

- A – Concentração de óleo e graxa obtida na curva de calibração, em mg/L;
- V_s – Volume de solvente utilizado, em ml;
- V – Volume de amostra, em ml;
- Fd – Fator de diluição do extrato.

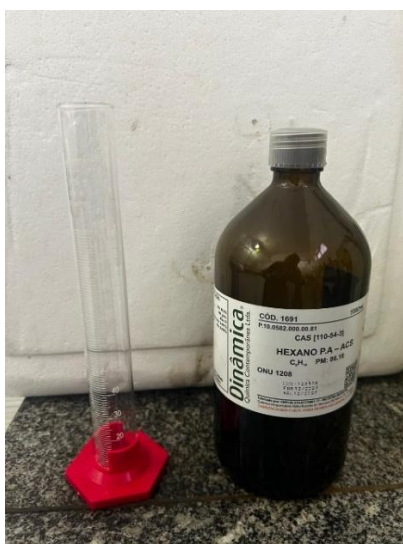
Para a análise ser feita com sucesso é necessário alguns cuidados devido a sensibilidade do equipamento, com o modo de comprimento de onda único escolhido é preciso cuidado com as cubetas, em caso de riscos, uso de pouca amostra ou sujeira, não será apresentada uma medição correta no leitor do aparelho. As figuras apresentadas abaixo ilustram o processo de realização da análise, desde a preparação da referência, até a amostra real sendo lida pelo equipamento.

Figura 8 - Amostra de água tratada no processo para análise.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 9 - Hexano usado de solvente e referência.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 10 - Amostra e solvente colocados no funil.



Fonte: Autoria própria (2025).

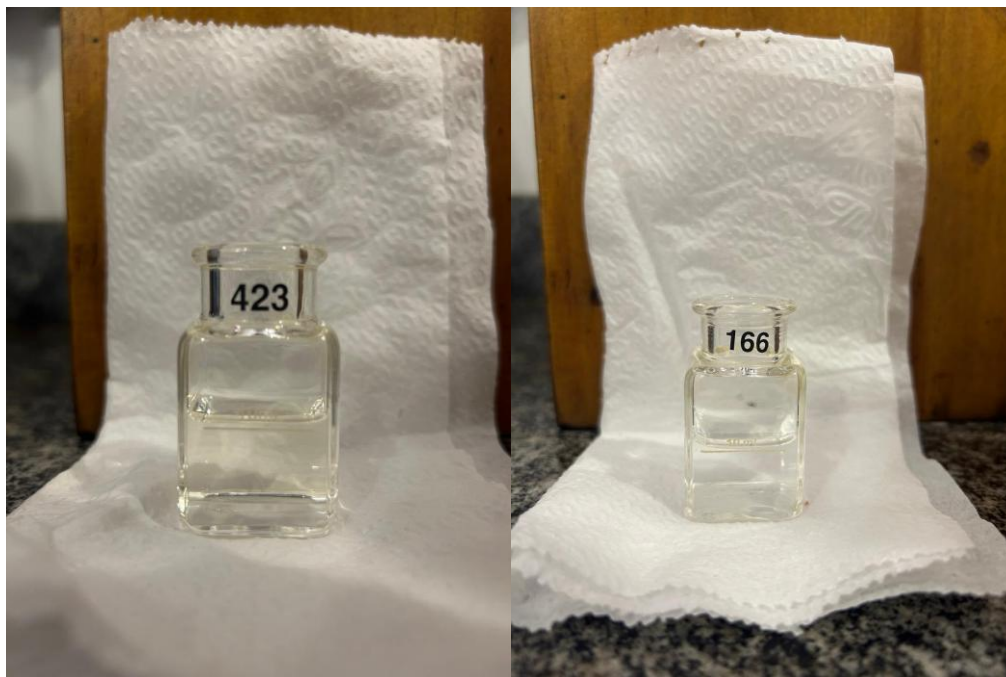
Com a adição do hexano no funil de separação é realizada uma agitação para que todo o óleo que está em suspensão na água seja capturado.

Figura 11 - Amostra após agitação e separação dos óleo e graxas da água.



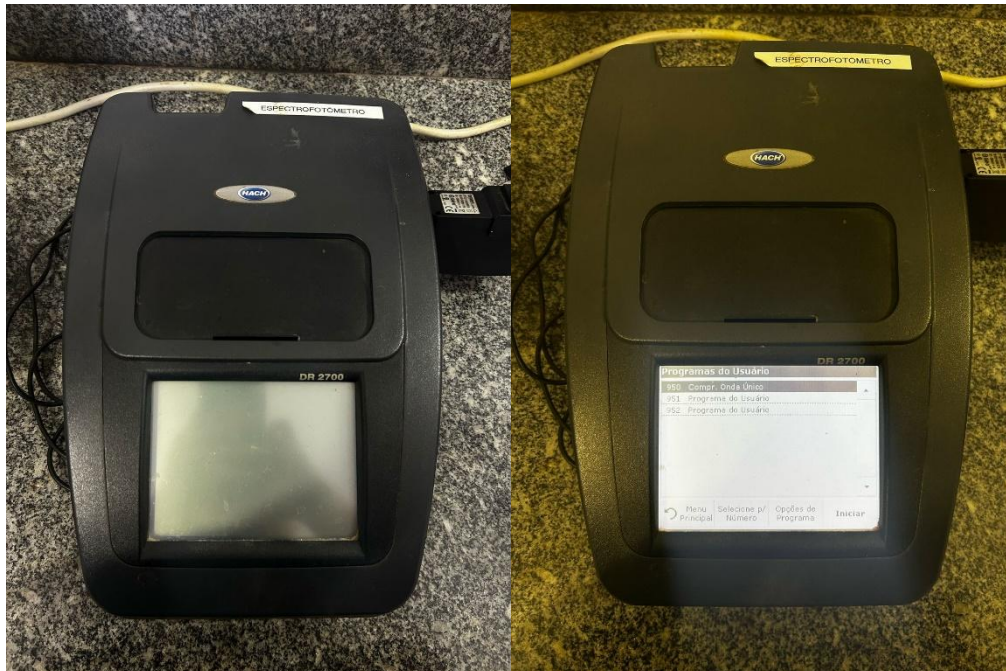
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 12 - Amostra para análise a esquerda e hexano para referência a direita.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 13 - Equipamento usado para as leituras de absorbância Hach DR2700 e seleção de módulo de leitura.



Fonte: Autoria própria (2025).

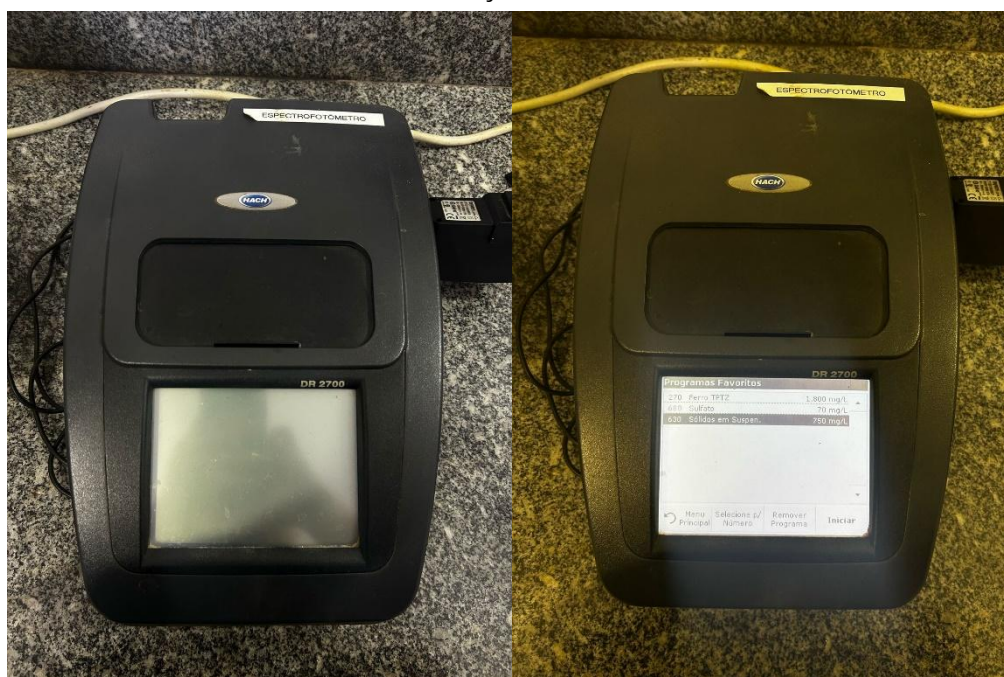
Se faz importante frisar que a limpeza e descarte dos materiais usados para a análise de TOG devem ser feitas de forma cuidadosa, priorizando a não contaminação tanto do meio quanto dos equipamentos utilizados para a manutenção da precisão da análise, por se tratar de um processo muito sensível.

4.2.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS

Os sólidos suspensos presentes na água são os que foram arrastados desde a formação junto com o óleo extraído, em alguns casos o próprio poço produz areia devido a erosão e o esforço realizado pela bomba succionando o óleo para fora. Dessa forma é de suma importância avaliar esse teor de sólidos e caracterizá-los e tratá-los como a legislação citada a cima. Dessa forma aplica-se a análise de TSS para mensurar a quantidade de sólido que é produzido pelo campo e o quanto é injetado ou usado para irrigação, buscando entender se fará algum dano ou não. Para a análise do TSS o processo inicial é similar ao do TOG, a referência dessa vez será água destilada e diferente do TOG esse processo não pode passar por diluição, para a realização da análise são necessários os seguintes passos:

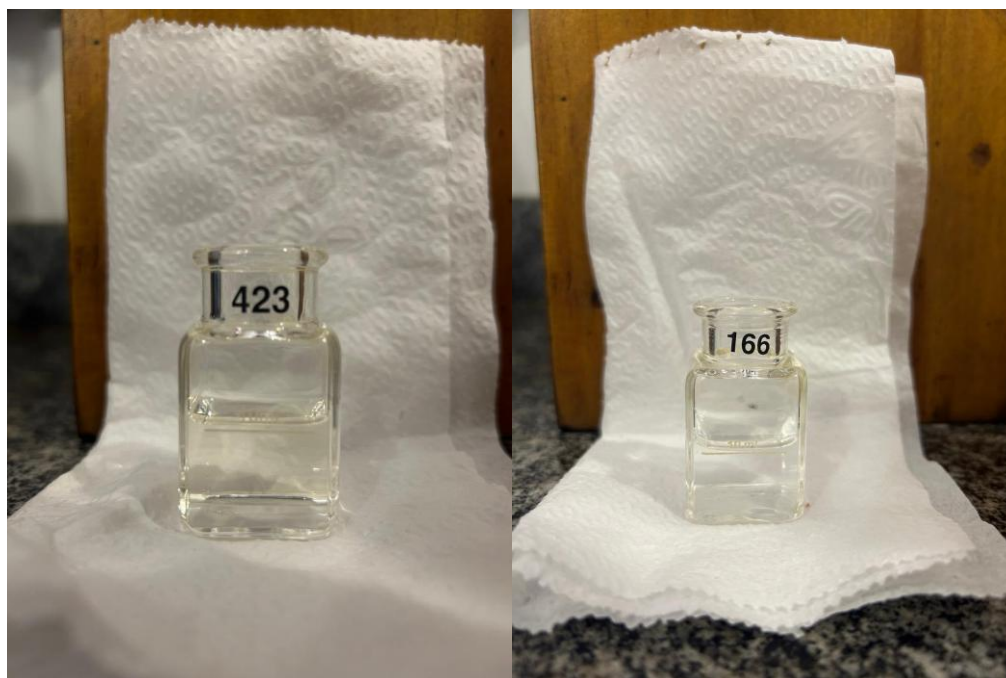
- Realizar agitação da amostra no recipiente em que foi coletado;
- Transferir volume igual ou superior à 10 mL da amostra para uma cubeta, remover as bolhas, em seguida limpar e secar com papel macio;
- Inserir cubeta no espectrofotômetro, selecionar a opção “ler”;
- Fazer a leitura da amostra. Os resultados dos testes em mg/L dos sólidos suspensos totais (TSS) são medidos a 810 nm;
- Anotar valor após a leitura no espectrofotômetro;
- Concluída a análise, limpar, desligar, guardar e secar o material utilizado.

Figura 14 - Equipamento usado para as leituras de concentração de sólidos suspensos em mg/L Hach DR2700 e seleção de módulo de leitura.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 15 - Amostra de água com pouca quantidade de sólidos a esquerda e água destilada para referência a direita.



Fonte: Autoria própria (2025).

5 A IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES PARA A MANDACARU ENERGIA

As análises citadas são um norte para as operações na empresa, cada uma com seu impacto e sua relevância, seja com um retorno econômico direto ou indireto. Assim pode-se classificar a importância das análises da seguinte forma.

5.1 ANÁLISES DE ÓLEO

As análises de óleo representam um retorno direto financeiro, por qualificar e especificar o óleo, indicando o tipo segundo o grau API o que implicará diretamente no valor recebido por carreta de óleo, sendo o valor atribuído diretamente proporcional ao quão alto é o grau API ou o quão leve é aquele óleo. A análise de BSW é um fator definitivo para o valor retornado na venda para as refinarias, por qualificar a quantidade de óleo que está contendo realmente naquela remessa e a quantidade de água que está acumulada no meio, em casos em que o processo não é eficiente seja por parte dos químicos injetados no poço ou na separação eficiente do óleo de seus contaminantes, o óleo deve passar mais ou menos tempo em decantação nos tanques buscando maximizar a quantidade de óleo, consequentemente aumentando o lucro por carreta enviada.

Figura 16 - Tanques para especificação do óleo e carreta para transporte.



Fonte: Autoria própria (2025)

5.2 ANÁLISES DE ÁGUA

As análises de água por sua vez não apresentam um retorno financeiro direto para o processo, contudo principalmente em relação a legislação reduzem de forma considerável a questão multas e possíveis paradas de produção devido irregularidades ambientais, impactando assim no processo de injeção e consequentemente no processo de produção.

O processo de irrigação por sua vez reestabelece zonas previamente desmatadas com a vegetação nativa buscando gerar créditos de carbono para a empresa, devido ao alto impacto que a mesma gera ao meio ambiente devido a exploração do petróleo e supressão vegetal de locações de poços. A Mandacaru Energia também tem zonas de reflorestamento buscando aumentar o acúmulo de créditos para que as operações sigam as tendências da economia circular, atrelado a isso a empresa investe financeiramente em pesquisas junto a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). O Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA) é o programa que é atrelado a empresa, avaliando espécies propícias ao uso de água produzida tratada advinda da ETAP, gerando uma possibilidade de destino para a água e também novas possibilidades em relação ao tipo de cultivo para geração de créditos de carbono com mais eficiência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi observado as análises são um dos alicerces para as empresas petrolíferas, classificando o óleo e seus coprodutos além de ser um fator determinante na tomada de decisão em casos de dúvidas ou incertezas, norteando os processos e sendo um fator limitante para operações complexas como as sondas por exemplo. Dessa forma se torna de suma importância a execução correta e seguindo de forma rígida o que são determinados nos procedimentos levando em consideração o impacto que as análises apresentam para a empresa.

É importante avaliar também a relevância do investimento externo, fomentando a pesquisa e diversificando assim a forma de obtenção de informação, não se restringindo apenas a bolha do contexto industrial o que muitas vezes é um fator distanciador da academia. Com esse fomento há a possibilidade de expansão e crescimento tanto da empresa que adquire conhecimentos de alto nível com os pesquisadores, quanto dos pesquisadores que muitas vezes não tem o contato com o mercado e dessa forma passam a ter, entendendo as necessidades e resolvendo problemas complexos.

O viés ambiental também foi um ponto impactante, já que muitas das vezes empresas ligadas ao petróleo são conhecidas apenas como poluidoras ou devastadoras ambientais, fazendo assim existir um preconceito as atividades exercidas. Contudo a visão ambiental em reflorestar e preservar a flora nativa é uma qualidade ímpar, que pôde ser observada quando se é utilizada a água produzida tratada para lidar com problemas da região como a seca e a própria necessidade dos poços vindas da própria empresa.

Assim sendo, as análises são e continuarão sendo necessárias para o processo produtivo petrolífero, seja para a especificação da qualidade do petróleo que é extraído por um determinado campo produtor ou para a qualificação da água produzida, para saber se é possível haver a utilização da mesma para outros fins ou não.

REFERÊNCIAS

- CHRISTOPOULOS SILVA, Priscila; FERRAZ, Nathália Pereira; PERPETUO, Elen Aquino; ASENCIOS, Yvan Jesús Olortiga.** Oil produced water treatment using advanced oxidative processes: Heterogeneous-Photocatalysis and Photo-Fenton. *Journal of Sedimentary Environments*, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 99-107, jan./mar. 2019.
- GURGEL, C. A. V.; QUEIROZ, G. B. de; SANTOS, E. L. S. C. dos; GALVÃO, M. L. M.** Impactos de extração do petróleo (óleo e gás) no Rio Grande do Norte, na região do Alto do Rodrigues/RN. *HOLOS*, v. 29, n. 3, p. 130-147, 2013.
- MARTINS, S. S. S.; SILVA, M. P.; AZEVEDO, M. O.; SILVA, V. P.** Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. *HOLOS*, v. 31, n. 6, p. 54-76, 2015.
- BRASIL. PETROBRAS.** Monitoramento de Água Produzida. Comunicação Bacia de Campos, 2022. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/monitoramento-de-agua-produzida>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- SANTOS, M. de J. R.; CASTRO, A. O. de S.; LETA, F. R.; DE ARAUJO, J. F. M.; FERREIRA, G. de S.; SANTOS, R. de A.; LIMA, C. B. de C.; LIMA, G. B. A.** Statistical analysis of offshore production sensors for failure detection applications / Análise estatística dos sensores de produção offshore para aplicações de detecção de falhas. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 7, n. 8, p. 85880–85898, 2021.
- SPEIGHT, J. G.** Handbook of Petroleum Product Analysis. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2002. 461 p.
- FILGUEIRAS, P. R.; SAD, C. M. S.; LOUREIRO, A. R.; SANTOS, M. F. P.; CASTRO, E. V. R.; DIAS, J. C. M.; POPPI, R. J.** Determination of API gravity, kinematic viscosity and water content in petroleum by ATR-FTIR spectroscopy and multivariate calibration. *Fuel*, v. 116, p. 123–130, 2014.
- ASSUNÇÃO, Marcus Vinicius Dantas de; VIEIRA, Marcela Marques; ALMEIDA, Mariana Rodrigues de.** Fatores influenciadores na produção indesejada da água produzida de petróleo: um estudo na bacia potiguar/brasil. *Holos*, [S.L.], v. 2, p. 146-160, 11 jun. 2018.
- SANTOS, M. F. O.; JESUS, V. S. A. de; SILVA, G. F. da; SILVA, M. S.; SANTOS, J. P. L. dos.** DESENVOLVIMENTO DE UM TENSOATIVO A BASE DE ÓLEO DE BABAÇU PARA FORMULAÇÃO DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS USADO PARA QUEBRA DE EMULSÕES DO TIPO ÁGUA EM ÓLEO. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Viçosa/MG, BR, v. 5, n. 2, p. 0179–0183, 2019.

DIAS, R. B. Análises comparativas dos valores de sedimentos básicos e água em amostras de petróleo. Monografia de graduação. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D1298: 2012. Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Metho. West Conshohocken: ASTM, 2012.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D287: 2022. API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method). West Conshohocken: ASTM, 2022.

ABNT. NBR 5419:2013. Petróleo e produtos de petróleo – Determinação da massa específica, densidade relativa e °API – Método do densímetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. NBR 14647:2010. Produtos de petróleo — Determinação de água e sedimentos em petróleo e óleos combustíveis pelo método de centrifugação. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.