

Revista Femass

eISSN 2675-6153

Número 7 - jan./jun., 2024

A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO DESEMPENHO DA DESCIDA DE TUBOS DE REVESTIMENTO EM METALÚRGICA ESPECIAL, EM POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS, 6


THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF CASING RUNNING, IN SPECIALTY METALLURGY, IN OIL AND GAS WELLS

Leonardo Rafael Brum

Mestre em Educação

Universidad Iberoamericana

leraf3@yahoo.com.br


 <https://orcid.org/0000-0003-4734-1390>

Samara Melo Rodrigues

Bacharel em Engenharia de Produção

Faculdade Miguel Ângelo da Silva Santos

smrodrigues.uned@gmail.com


 <https://orcid.org/0009-0002-1581-5889>

Sergio Moreira Cruz Filho

Bacharel em Engenharia de Produção

Faculdade Miguel Ângelo da Silva Santos

smc_filho@yahoo.com.br

 <https://orcid.org/0009-0003-7211-1439>

Recebido: 24/05/2024

Aprovado: 24/07/2024

DOI: <https://dx.doi.org/10.47518/rf.v7i1.185>



Os artigos publicados neste número estão em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite o uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições, desde que os trabalhos originais sejam corretamente citados.

Resumo: Condições meteorológicas podem influenciar na vida de todos, em terra, no mar, nos campos, e em diversos tipos de situações que dependem de boas condições para que os trabalhos ocorram de maneira segura e confiável. Na área de óleo e gás não diferente, plataformas flutuantes offshore costumam sofrer constantemente com as condições meteorológicas em suas operações, a depender da natureza do trabalho. Na utilização de tubos com metalurgia especial, por exemplo, as dificuldades podem aumentar e comprometer a produtividade, qualidade e segurança da instalação dos elementos tubulares. O presente trabalho trata-se de um estudo de caso que utiliza dados públicos, de organizações governamentais que disponibilizam informações sobre o vento e marés, além de utilizar indicadores de performance de operações da empresa, objeto de estudo sobre a instalação de revestimentos de poços de óleo e gás. Tubos em metalurgia especial costumam possuir uma maior sensibilidade em relação a manuseio e aperto das conexões durante as operações, entretanto, são necessários nos poços que indicam taxas de corrosão condizentes com a necessidade da utilização de tais elementos tubulares, portanto, sua aplicação se torna indispensável para atender os requisitos dos projetos.

Palavras-chave: Meteorologia. Metalurgia. Revestimento de poços. Produtividade.

Abstract: Weather conditions can influence everyone's life on land, at sea, in the fields, and in various situations that depend on good conditions for work to proceed safely and reliably. In the oil and gas sector, it is no different. Offshore floating platforms often constantly suffer from weather conditions in their operations, depending on the nature of the work. For example, when using pipes with special metallurgy, difficulties may increase and compromise the productivity, quality, and safety of the installation of these tubular elements. This study is a case study that uses public data from governmental organizations that provide information on wind and tides, as well as performance indicators from the company under study regarding the installation of oil and gas well casings. Pipes with special metallurgy tend to be more sensitive regarding handling and tightening of connections during operations; however, they are necessary in wells that indicate corrosion rates that justify the use of such tubular elements. Therefore, their application becomes indispensable to meet project requirements.

Key-words: Meteorology. Metallurgy. Wellbore casings. Productivity.

INTRODUÇÃO

Poços de petróleo costumam ser complexos, com diversas fases que ocorrem durante a sua construção. No período em que é perfurado, o poço passa por etapas que visam garantir a sua segurança operacional e integridade estrutural. Dentre essas etapas está a atividade de revestir o poço. A fase de revestimento é geralmente dividida entre revestimento condutor, revestimento de superfície, revestimento intermediário e revestimento de produção/*liners*¹.

Descidas de elementos tubulares são atividades repetitivas, demandam tempo e recursos importantes na fase de construção de poços marítimos. Trata-se de uma atividade com demasiadas vertentes e que, como em todo processo, inevitavelmente, geram desperdícios, seja de tempo ou de material.

Condições meteorológicas desfavoráveis costumam adicionar dificuldades na operação de instalação desse tipo de material, podendo causar perda de tubulares, parada de sonda, retrabalho e, conseqüentemente, perda de receita. A qualidade da aplicação do material não deve ser comprometida, logo, medidas mitigatórias devem ser tomadas para que a integridade do material seja preservada da melhor forma possível.

Os revestimentos de produção e *liners* de produção são objeto de estudo deste trabalho. Nessas operações costumam ser utilizados os tubos com metalurgia especial, portanto, é esse tipo de material que costuma apresentar reincidência de retrabalho e perda de tempo durante a descida de tubulares.

O objetivo do trabalho é investigar a correlação entre a qualidade do aperto mecânico das conexões presentes nos tubulares empregados nos revestimentos de poços e a meteorologia adversa. Para tanto são investigados dados meteorológicos da marinha, INMET, dados de qualidade de aperto nas conexões dos tubos de revestimento e relato de trabalhadores do setor obtidos em um questionário.

A escolha do tema justifica-se, pois, as condições meteorológicas em operações *offshore* é um tema extremamente relevante e discutido na indústria de óleo e gás, portanto, o estudo do comportamento de equipamentos durante a aplicação em diferentes condições meteorológicas faz-se necessário.

Tubos com adição de Cromo em sua liga, especialmente ligas de Super 13 Cromo e suas derivações, possuem peculiaridades durante o seu manuseio e aplicação no campo. Esses tubos são compostos por materiais extremamente sensíveis à temperatura e, conseqüentemente, suscetíveis a microssoldas por fricção, amplamente conhecidas como “galling”.

¹ *Liner* é uma coluna curta de revestimento, que fica ancorada um pouco acima da extremidade inferior do revestimento anterior e não na cabeça de poço, conforme revestimentos convencionais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

Poços de petróleo podem ser *onshore* ou *offshore* e o presente estudo dará ênfase aos poços de petróleo *offshore*. Segundo a PETROBRAS (2015), a perfuração de um poço é a etapa que demanda maior investimento dentre as etapas da exploração de um campo de petróleo. O processo é feito por meio de uma sonda de perfuração, que conta com uma coluna de tubos com uma broca na extremidade, dentre outros equipamentos. As rochas são perfuradas por meio de movimentos de rotação.

Ainda, segundo a PETROBRAS (2023), a maioria das reservas de petróleo está em campos marítimos, o que favorece às atividades de perfuração a atingirem profundidades cada vez maiores. As plataformas marítimas podem ser de perfuração, de produção ou ter as duas funções. Para cada operação, são analisadas as condições para determinar o tipo de plataforma mais adequado (O PETRÓLEO, 2023).

Em unidades flutuantes, os ventos podem aumentar o balanço das embarcações e afetar as marés, comprometendo a estabilidade das unidades de perfuração e influenciando no sucesso ou não das operações de instalação do revestimento. A perda de uma conexão com metalurgia especial durante a tentativa de aperto em um ambiente desfavorável pode gerar o que é denominado de “efeito cascata”, que ocorre quando um tubo já conectado à coluna deve ser retirado após ser rejeitado. Quando retirado, o tubo anterior também é danificado e assim, sucessivamente.

A Tabela 1 (subitem 37.20.4.10.1 da NR-37) evidencia que as operações com guindastes em unidades marítimas devem ser suspensas quando o vento atinge a velocidade de 61 km/h. Trata-se de um número fixo, que torna a parada das operações uma ação incontestável e factível, já que temos um número exato e limítrofe. Já em instalação de revestimento, a parada da operação é completamente empírica, e a decisão deve ser tomada pelas partes interessadas para ocorrer efetivamente.

Tabela 1 - Condições para operação do guindaste

Velocidade do vento	Condições para operação do equipamento de guindar
0 a 38 km/h	- Permitidas todas as operações de movimentação de cargas.
39 a 49 km/h	- Acionamento de alarme sonoro a partir de 39 km/h; - Operações ordinárias de movimentação de cargas devem ser interrompidas; e - Permitidas apenas as operações assistidas, inclusive entre a plataforma e embarcações, com observação contínua das condições climáticas.
50 a 61 km/h	- Permitidas apenas as operações assistidas e realizadas somente dentro da própria plataforma, com observação contínua das condições climáticas.
Acima de 61 km/h	- Todas as operações devem ser interrompidas.

Fonte: NR-37 (2022, p.49)

Dentre as várias interfaces que um poço de petróleo demanda em sua construção, estão as operações de instalação de revestimentos nos poços, onde tubos de aço são posicionados em locais específicos como forma de prover a integridade, segurança e estanqueidade das respectivas fases que compõem os poços.

O número de fases e o cumprimento das colunas de revestimentos variam, sendo determinadas em função das pressões de poros e de fraturas previstas, que indicam o risco de prisão de coluna por diferencial de pressão, ocorrências de *kicks*, desmoronamento das paredes do poço ou perda do fluido de perfuração para as formações (Thomas, 2001).

Conforme Rocha e Azevedo (2009), cada fase de um poço é determinada pelo diâmetro da broca que está sendo utilizada na perfuração. Um poço típico é composto pelas fases de trinta e seis polegadas, vinte e seis polegadas, dezessete polegadas e meia, doze e um quarto de polegada e oito polegadas e meia. Após uma fase ser finalizada, é descido o revestimento, sendo realizado assim o assentamento da sapata do revestimento e, posteriormente, cimentação da fase. Os diâmetros típicos dos revestimentos referentes às fases citadas são trinta polegadas, vinte polegadas, treze e três oitavos de polegada, nove e cinco oitavos de polegada e sete polegadas.

Ainda de acordo com Rocha e Azevedo (2009), revestimentos possuem múltiplas funções primordiais para os poços, podendo ser classificados como condutor, de superfície, intermediário, de produção e *liner* de produção, esses dois últimos, objetos de nosso estudo.

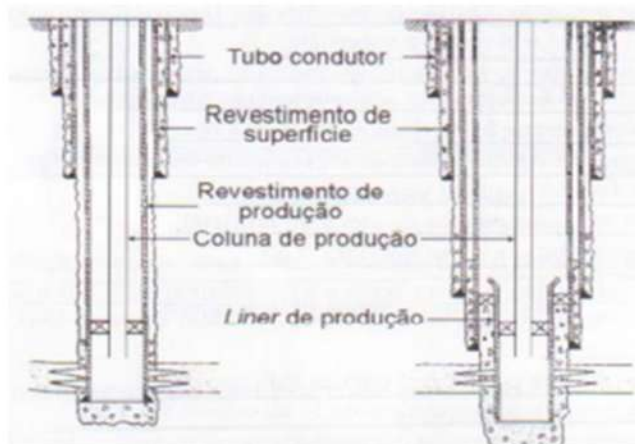
O revestimento de produção, que faz parte do estudo, é um revestimento que tem como principal objetivo abrigar a coluna de produção, permitindo que os hidrocarbonetos sejam conduzidos até a superfície de maneira segura e econômica. Alguns diâmetros típicos são nove e cinco oitavos de polegada, sete polegadas e cinco polegadas e meia.

Liner é uma coluna curta de revestimento, que fica ancorada um pouco acima da extremidade inferior do revestimento anterior e não na cabeça de poço, conforme revestimentos convencionais. Pode ser utilizado em substituição ao revestimento intermediário, sendo chamado *liner* de perfuração, ou substituindo o revestimento de produção, chamado *liner* de produção. Alguns diâmetros típicos são dezesseis polegadas, treze e três oitavos de polegada, onze e três quartos de polegada, nove e cinco oitavos de polegada, sete polegadas e cinco polegadas e meia.

A figura 1 representa um esquemático das fases de revestimento disponíveis em poços de petróleo. Nela, podem-se ver exemplos das fases de revestimento condutor, revestimento de superfície, revestimento de produção, *liner* de produção e coluna de produção.

O presente artigo irá utilizar as fases de revestimento de produção e liner de produção como fontes principais de objeto de estudo.

Figura 1 - Esquema do revestimento de poços



Fonte: THOMAS (2001, p.90)

De acordo com as informações citadas, as fases de revestimento que possuem interface com a coluna de produção, instaladas durante a completção dos poços são revestimento de produção e os *liners* de produção. Essas são as fases que costumam ser mais expostas a ambientes corrosivos.

A corrosão pode aparecer de formas distintas, tais como corrosão uniforme; por placas; alveolar; puntiformes ou por pites; intergranular; intragranular; filiforme; por esfoliação; gráfitica; dezincificação; empolamento pelo hidrogênio; em torno do cordão de solda; em frestas; sobtensão; e galvânica (ARRUDA, 2009).

Segundo Gentil (2007), a corrosão eletroquímica é o tipo de corrosão bastante comum, uma vez que ocorre com os metais, geralmente na presença de água. Pode ser gerada por dois motivos principais: quando o metal está em contato direto com um eletrólito (solução condutora ou condutora iônica que envolve áreas anódicas e catódicas ao mesmo tempo), formando uma pilha de corrosão, e quando dois metais são ligados por um eletrólito, formando uma pilha galvânica.

Aços que possuem teores de cromo superior a 12% apresentam excelente resistência à corrosão e são comumente designados como aços inoxidáveis. O cromo é o elemento de liga predominante e é diretamente responsável pela formação de uma camada superficial uniforme e protetora (OLIVEIRA, 2015).

Aços Super 13Cr são conhecidos como supermartensíticos. No campo, enquadram-se na família de metalurgia especial (aços com percentual de cromo igual ou superior a 13). Eles possuem propriedades melhoradas por meio da adição de níquel e molibdênio e diminuição do teor de carbono em sua composição química (MENG, 2011).

Blackstone (1987) define *galling* como uma forma de desgaste adesivo relacionada à falta de lubrificação que ocorre em conexões manufaturadas e utilizadas em poços de óleo e gás. Portanto, a estabilidade das unidades marítimas durante a aplicação do produto deve ser a melhor possível, uma vez que o *galling* está relacionado diretamente com o aumento de temperatura provocado por falta de lubrificação e atrito.

Conexões que não foram submetidas a microssoldas por fricção “*galling*” apresentam um aspecto íntegro durante a inspeção visual, em que toda a conexão encontra-se em bom estado de conservação, conforme pode-se observar na figura 2.

Figura 2 - Conexão íntegra



Fonte: Autores (2020)

Já em conexões provenientes de tubos com metalurgia especial submetida à alta temperatura e a atrito durante o aperto mecânico, pode-se observar, durante a inspeção visual, a presença de danos severos, causados por *galling*, conforme figura 3.

Figura 3 - Conexão danificada (galling)



Fonte: Autores (2020)

De acordo com o INMET (2023), a meteorologia define-se como a ciência responsável por entender os fenômenos que ocorrem na atmosfera, estando relacionada ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera, as interações entre elas e a superfície terrestre subjacente.

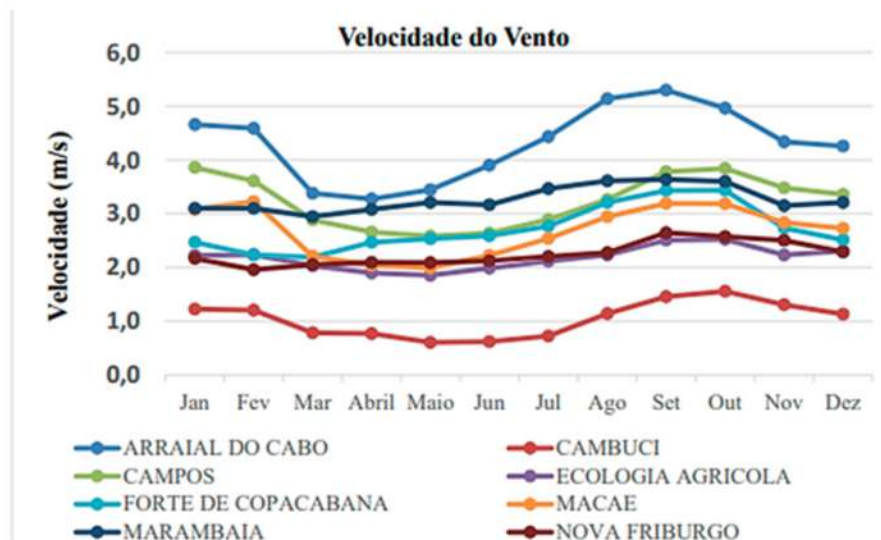
Conforme Oliveira e Costa (2010), os ventos apresentam ciclos bem definidos, todavia está sujeito a variabilidades influenciadas por fenômenos meteorológicos que tornam obrigatório o entendimento da alteração climática sazonal.

De acordo com Castelo e Krug (2017), o processo de transferência de energia do vento para o mar, na forma de ondas, carece de tempo e espaço, ou seja, para que o vento seja capaz de gerar um mar realmente grande, é necessário que o vento, além de forte, tenha atuação sobre uma área relevante e suficientemente grande do oceano e tenha tempo necessário para conseguir transferir a própria energia para o mar.

Conforme os autores supracitados, as ondas do oceano tendem a variar de acordo com a época do ano, uma vez que os ventos possuem características sazonais. O presente estudo de caso pretende fazer uma comparação, objetivando indicar uma queda de produtividade na descida de revestimento com metalurgia especial de acordo com a época do ano.

O gráfico 1 demonstra a alteração do vento de acordo com as regiões do litoral fluminense em função dos meses do ano nas estações meteorológicas de Arraial do Cabo, Campos, Forte de Copacabana, Marambaia, Cambuci, Ecologia Agrícola, Macaé e Nova Friburgo. É possível notar acréscimo da velocidade do vento em todas as estações meteorológicas a partir do mês de junho.

Gráfico 1 - Média mensal de velocidade do vento a 10m de altura (2007 a 2015)



Fonte: Da Silva Pereira (2022, p.8)

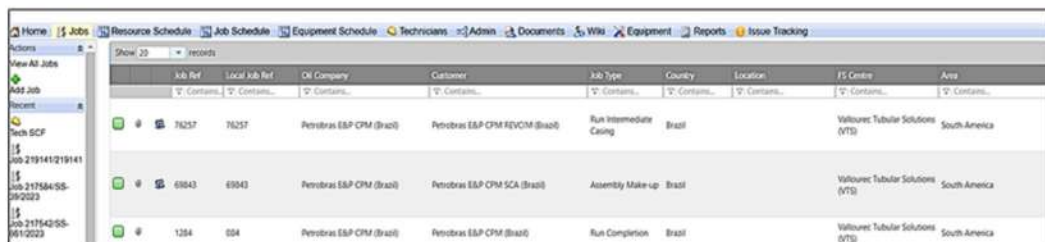
METODOLOGIA:

Para o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia apresenta abordagem quanti-quali, uma vez que utiliza dados quantitativos coletados, em parte, diretamente da plataforma web (de propriedade da empresa, objeto de estudo), em um período dos últimos 2 anos de operações (2021-2022), cujos técnicos especialistas em instalação de revestimento registram os dados operacionais para obtenção de banco de dados e consultas futuras.

Os dados sobre apertos mecânicos foram obtidos no banco de dados de uma empresa do ramo petrolífero que, neste estudo, é chamada de VLXC, incluindo o departamento de serviço de campo, o *Field Service*², que realiza os serviços *offshore* (suporte técnico), nas fases de revestimento, produção e *liners* de produção de poços marítimos. A empresa é uma multinacional com sua base de serviços situada em Rio das Ostras/RJ, possuindo plantas em MG, SP e ES, com sua matriz na França e contemplando, aproximadamente, 17.000 funcionários.

Uma vez solicitado pelo cliente, caso o serviço esteja no escopo de atendimento do *Field Service*, é criado um *job* no *website*, como mostra a figura 4, e os técnicos de campo são alocados para o serviço. Tudo relacionado a esse serviço será rastreável pelo número do *job*, gerado pelo sistema e não se repete.

Figura 4 - Tela de Jobs do Drive website



Job Ref	Local Job Ref	Oil Company	Customer	Job Type	Country	Location	FS Centre	Area
76257	76257	Petrobras ESP CPM (Brazil)	Petrobras ESP CPM EVCIM (Brazil)	Run Intermediate Gearing	Brazil		Valloirec Tubular Solutions (VTS)	South America
69043	69043	Petrobras ESP CPM (Brazil)	Petrobras ESP CPM SCA (Brazil)	Assembly Make-up	Brazil		Valloirec Tubular Solutions (VTS)	South America
1264	004	Petrobras ESP CPM (Brazil)	Petrobras ESP CPM (Brazil)	Run Completion	Brazil		Valloirec Tubular Solutions (VTS)	South America

Fonte: VLXC (*Drive website*)

Para todos os serviços, os dados relevantes são registrados no sistema e ao final da operação, o serviço é encerrado e os dados ficam armazenados no banco de dados do Drive (*website*).

Na operação, os dados são registrados, manualmente, por meio de *checklist* impresso e por ferramentas digitais, sendo posteriormente inseridos no *website*. Os dados das operações registrados no sistema podem ser exportados em formato Excel, o que facilita a compilação posterior, exemplificados na tabela 2.

² *Field Service* é o nome do setor de Serviço de Campo que presta serviços em áreas externas da Empresa.

Tabela 2 - Relatório com dados operacionais extraído do website

Drive#	Rig Type	Year	Diameter	Weight	Grade	Steel Type	Thread
171880	Semi-submersible	2019	14"	93	API T95	API 5CT carbon	VAM® TTR NA
131034	Semi-submersible	2019	13 3/8"	72	API P110	API 5CT carbon	VAM® TOP KX
131034	Semi-submersible	2019	13 3/8"	72	VM 110 NCS	High Collapse + Sour Service	VAM® TOP KX
131034	Semi-submersible	2019	13 3/8"	72	API P110	API 5CT carbon	VAM® TOP KX
131034	Semi-submersible	2019	13 3/8"	72	API P110	API 5CT carbon	VAM® TOP KX

Fonte: VLXC (Drive website)

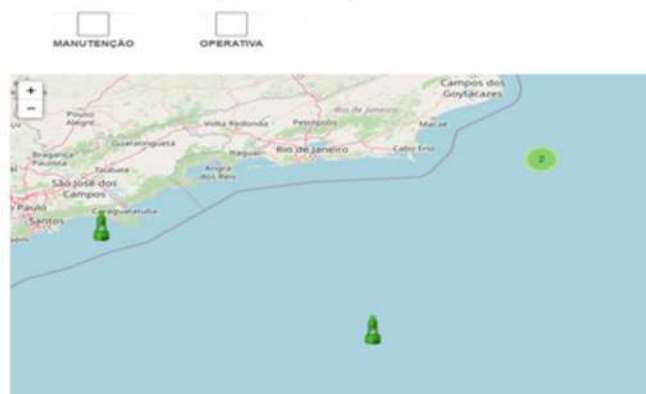
Dúvidas serão esclarecidas em consulta aos documentos relacionados aos respectivos serviços arquivados de forma rastreável, tais como, relatórios, procedimentos técnicos e questionário fechado via *forms* com a participação dos membros da equipe de operações do departamento.

O estudo selecionou as fases específicas de revestimento de poços de petróleo que contemplam tubos com metalurgia especial, elencando indicadores das operações de instalação de revestimentos e investigando a criticidade meteorológica sobre a produtividade das fases selecionadas por meio de indicadores de desempenho. O estudo também caracterizou as percepções dos membros da equipe de serviço de campo no que concerne às dificuldades enfrentadas na instalação de tubos com metalurgia especial em condições meteorológicas adversas e comparou a produtividade da instalação das fases de revestimento em função das condições meteorológicas que se distinguem em diferentes períodos climáticos do ano.

Foram coletados dados meteorológicos no site da marinha, onde são disponibilizados boletins que informam condições oceanográficas de hora em hora nas boias do litoral brasileiro. Devido à proximidade dos campos de petróleo explorados em nossa costa, a boia da marinha utilizada foi a boia da bacia de Santos que forneceu dados no período entre 10/12/2020 e 30/08/2023, sendo considerados na análise os anos de 2021 e 2022.

Os dados da marinha são públicos e foram obtidos no portal da instituição, onde os coautores puderam pesquisar as boias meteocceanográficas presentes no litoral brasileiro que se dividem em “operativa” e “manutenção, conforme Figura 5:

Figura 5 - Situação das boias



Fonte: Marinha do Brasil (2023)

A boia selecionada para o estudo está localizada na baía de Santos, e informações como latitude, longitude, situação operacional, lançamento e dados em tempo real são disponibilizados, conforme figura a seguir:

Figura 6 - Boia selecionada para estudo



Fonte: Marinha do Brasil (2023)

As boias apresentam diversos aspectos físicos que as diferem umas das outras, a depender de sua característica, posicionamento, aplicação e necessidade. A figura 7 demonstra os aspectos físicos da boia selecionada no estudo:

Figura 7 - Boia selecionada para estudo (Aspectos físicos)



Fonte: Marinha do Brasil (2023)

Uma vez selecionada a boia, os metadados são obtidos em formato Excel, determinando as informações relevantes que são objetos de estudo. Na tabela 3, é possível observar o banco de dados disponível:

Tabela 3 - Metadados das boias

date_time	latitude	longitude	battery	flag_batna_rh	flag_rh	swp01	flag_swpd_wdrl	flag_wdrlswp02	flag_swpd_wdrl	flag_wdrlswp01	flag_swpd_wdrl	flag_wdrlswp01	flag_gust1gust2	flag_gust2atmp	flag_atmp_sws	flag_pres_srad	
10/12/2020 01:00	-252.251	-424.434	12.7	0.83.4	0.557	0	137	0.011	0	126	0.204	0.101	0.24.3	0.102.9	0	0	
10/12/2020 02:00	-252.993	-424.679	12.6	0.82.9	0.534	0	180	0.9999	2	182	0.113	0.045	0.24.3	6.102.1	0	0	
10/12/2020 03:00	-253.756	-425.071	12.6	0.83.8	0.688	0	214	0.01	6	207	0.317	0.112	0.24.3	6.102.1	0	0	
10/12/2020 04:00	-254.489	-425.452	12.6	0.80.2	0.17	0	155	0.078	0	178	0.431	0.213	0.24.6	0.102.6	0	0	
10/12/2020 05:00	-254.655	-426.012	12.6	0.79.7	0.147	0	252	0.067	0	250	0.408	0.224	0.24.5	0.102.8	0.0059		
10/12/2020 06:00	-254.782	-426.481	12.7	0.78.9	0.079	0	235	0.045	0	232	0.329	0.246	0.24.5	0.102.1	0.0264		
10/12/2020 07:00	-254.809	-426.517	12.8	0.76.4	0.088	0	249	0.045	0	250	0.351	0.291	0.24.9	0.102.5	0.0205		
10/12/2020 08:00	-255.307	-427.302	13.2	0.74.5	0.283	0	229	0.134	0	235	0.521	0.302	0.25.1	0.102.8	0.0139		
10/12/2020 09:00	-254.881	-427.221	14.1	0	68	0.125	0	175	0.09	0	190	0.385	0.302	0.26.2	0.102.7	0.0355	
10/12/2020 10:00	-254.881	-427.243	14.3	0.72.9	0.589	0	147	0.537	0	165	0.759	0.741	0.24.8	0.102.7	0.0389		
10/12/2020 11:00	-254.856	-427.283	13.2	0.72.3	0.544	0	143	0.504	0	153	0.725	0.727	0.24.7	0.102.1	0.1049		
10/12/2020 12:00	-255.043	-427.381	13.3	0.72.9	0.68	0	135	0.604	0	159	0.929	0.906	0.24.7	0.102.4	0	1.022	
10/12/2020 13:00	-255.129	-427.399	13.1	0.72.3	0.487	0	139	0.47	0	159	0.646	0.638	0.24.6	0.102.8	0.0261		
10/12/2020 14:00	-255.147	-427.395	13.5	0.71.8	0.544	0	142	0.504	0	145	0.725	0.705	0.24.5	0.102.9	0.0205		
10/12/2020 15:00	-255.154	-427.389	13.4	0.69.7	0.442	0	144	0.436	0	160	0.612	0.604	0.24.6	0.102.9	0.0179		
10/12/2020 16:00	-255.156	-427.381	13.1	0.71.5	0.521	0	133	0.492	0	150	0.714	0.683	0.24.5	0.102.6	0.0208		
10/12/2020 17:00	-255.152	-427.384	13.7	0.72.5	0.408	0	111	0.425	0	127	0.578	0.604	0.24.2	0.102.45	0	0	
10/12/2020 18:00	-255.154	-427.381	12.7	0.71.8	0.419	0	112	0.448	0	127	0.612	0.593	0.24.2	0.102.48	0	0	
10/12/2020 19:00	-255.155	-427.381	12.7	0.72.3	0.385	0	89	0.392	0	107	0.544	0.526	0.24.1	0.102.58	0	0	
10/12/2020 20:00	-255.155	-427.379	12.7	0.72.6	0.442	0	88	0.459	0	105	0.601	0.593	0	24	0.102.5.6	0	0
10/12/2020 21:00	-255.161	-427.376	12.7	0.72.8	0.248	0	95	0.246	0	112	0.363	0.347	0	24	0.102.5.4	0	0
11/12/2020 00:00	-255.168	-427.371	12.7	0.71.1	0.329	0	62	0.313	0	80	0.431	0.425	0	23.9	0.102.5.3	0	0
11/12/2020 01:00	-255.177	-427.363	12.5	0.71.5	0.261	0	50	0.257	0	68	0.397	0.392	0.23.8	0.102.4	0	0	
11/12/2020 02:00	-255.182	-427.352	12.6	0.71.8	0.199	0	67	0.19	0	84	0.34	0.391	0.23.7	0.102.2	0	0	
11/12/2020 03:00	-255.184	-427.348	12.6	0.71.2	0.17	0	49	0.168	0	66	0.317	0.302	0.23.6	0	102.4	0	0
11/12/2020 04:00	-255.183	-427.341	12.5	0.71.4	0.283	0	26	0.269	0	43	0.385	0.38	0.23.6	0.102.5	0	0	
11/12/2020 05:00	-255.182	-427.333	12.6	0.71.6	0.34	0	47	0.324	0	63	0.445	0.439	0.23.6	0.102.19	0.0054		
11/12/2020 06:00	-255.177	-427.333	13.1	0.74.8	0.385	0	46	0.358	0	64	0.499	0.439	0.24.1	0.102.2	0.0195		
11/12/2020 07:00	-255.168	-427.311	13	0.76.6	0.408	0	49	0.392	0	67	0.544	0.504	0.23.9	0.102.4	0.0112		
11/12/2020 08:00	-255.151	-427.295	13.2	0	75	0.431	0	36	0.403	0	54	0.601	0.571	0.24.4	0.102.6	0.0497	
11/12/2020 09:00	-255.146	-427.283	13.8	0.74.3	0.498	0	47	0.418	0	46	0.627	0.534	0.24.4	0.102.6	0.0497		

Fonte: Marinha do Brasil (2023)

Os dados obtidos nas colunas “date time” e “swvht1” relacionam a data dos eventos com a altura significativa das ondas e foram utilizados para análise da influência da altura significativa das ondas em função dos apertos malsucedidos em tubos com metalurgia especial.

O estudo também utilizou como referência dados do INMET, que demonstram a média mensal da velocidade de vento no litoral brasileiro, nos anos de 2021 e 2022.

Também foi realizado questionário fechado com os técnicos que participam da operação no campo, o propósito do questionário foi mapear o nível de experiência dos técnicos e suas funções, além de compreender a percepção dos especialistas em ambiente operacional.

Os dados consolidados serão analisados envolvendo tabulação, representação gráfica, criação de categorias analíticas para os fatores identificados, tais como influenciadores, pesquisa documental para obtenção de dados meteorológicos e, análise da performance da instalação da coluna de revestimento. Como resultado deste estudo, os dados trabalhados serão disponibilizados no presente estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A tabela 4 tem como proposta demonstrar os apertos realizados, destacando os malsucedidos, de acordo com a metalurgia aplicada: aço carbono ou metalurgia especial.

Tabela 4 - Quantidade de apertos realizados x Quantidade de apertos malsucedidos (Metalurgia + aço carbono)

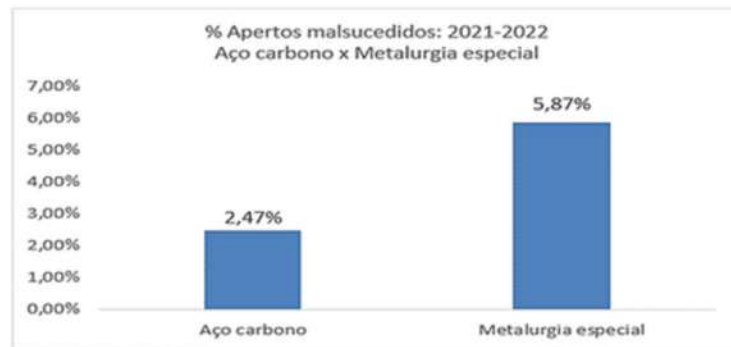
Metalurgia	Apertos realizados	Apertos malsucedidos	% Apertos malsucedidos
Aço carbono	30417	752	2,47%
Metalurgia especial	2130	125	5,87%

Fonte: Elaborada pelos autores com dados da VLXC (de: jan/2021 a dez/2022)

Os dados da tabela 4 foram estratificados por gráficos, ilustrando a performance dos grupos de metalurgia, aço carbono e especial³.

O gráfico 2 mostra o percentual de apertos malsucedidos em descidas de revestimento com material em aço carbono e em metalurgia especial. Observando o resultado gráfico desses dados, é visível que, percentualmente, há uma diferença significativa de performance em relação ao tipo de metalurgia do tubo aplicado.

Gráfico 2 - Performance: descida aço carbono x metalurgia especial



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da VLXC (de: jan/2021 a dez/2022)

Estratificando os dados pelo período do ano no qual o aperto foi realizado, observa-se, no gráfico 3, que, entre os anos de 2021 e 2022, o maior índice de apertos malsucedidos em tubos com metalurgia especial estão no período entre os meses de agosto e novembro:

Gráfico 3 - Apertos malsucedidos 2021/2022

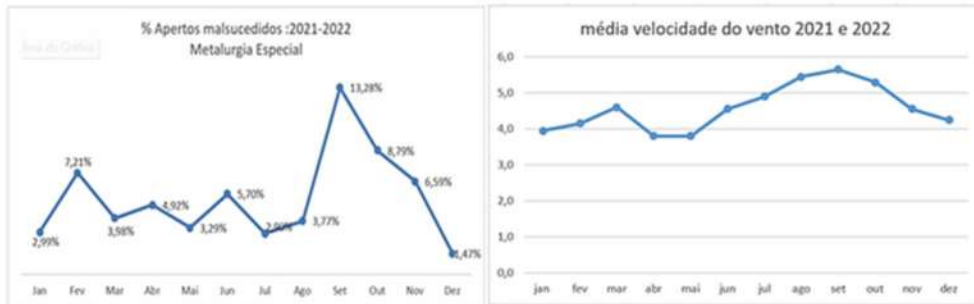


Fonte: Elaborada pelos autores com dados da VLXC (de: jan/2021 a dez/2022)

Quando analisados de forma comparativa em relação ao comportamento dos ventos da estação de Arraial do Cabo, nos anos de 2021 e 2022, tem-se a seguinte análise:

³ É considerada metalurgia especial: metalurgias com percentual de cromo $\geq 13\%$, podendo ser então: 13Cr (standard), 13Cr (Super) e Duplex e Super Duplex (Fonte: Tubulares).

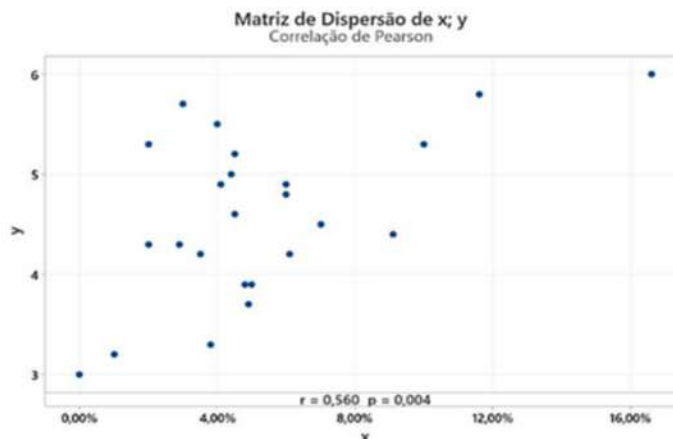
Gráfico 4 - Apertos malsucedidos e velocidade do vento



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da VLXC (de: jan/2021 a dez/2022)

Ao ser realizada a análise de correlação de Pearson, pode-se identificar um valor de $r = 0,560$ e $p = 0,004$, indicando que de fato a velocidade dos ventos influenciam no número de apertos mal sucedidos ,conforme indica o gráfico 5:

Gráfico 5 – Correlação de Pearson



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da VLXC e INMET (de jan/2021 a dez/2022)

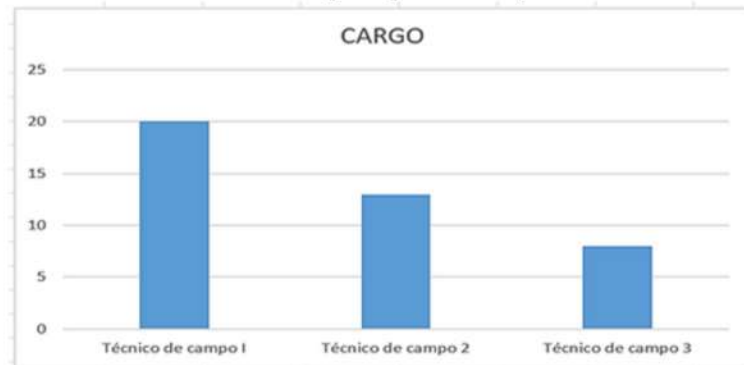
Na correlação entre o tamanho significativo de ondas e os apertos malsucedidos, nos anos de 2021 e 2022, o resultado de $r = - 0,053$ e $p = 0,805$ indica que a altura de ondas não influenciou nos apertos das conexões naquele intervalo de tempo.

Resultados do questionário

A seguir, são apresentadas as respostas fornecidas pelos especialistas no preenchimento do questionário, em que foram obtidos dados fornecidos por 41 técnicos participantes.

- A pergunta de número 1 teve como objetivo identificar a divisão dos cargos, demonstrando que 48,7% dos participantes são técnicos de nível 1, já 31,7% são técnicos de nível 2 e 19,5% técnicos de nível 3, conforme gráfico 6:

Gráfico 6 - Resposta questionário questão 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

- A pergunta de número 2 teve como objetivo demonstrar a maturidade e experiência da equipe e, conseqüentemente, indicar que os técnicos participantes já trabalharam com o material estudado. Em destaque, pode-se notar um quantitativo de 41,4% da equipe com mais de 10 anos na função.

Gráfico 7 - Resposta questionário questão 2

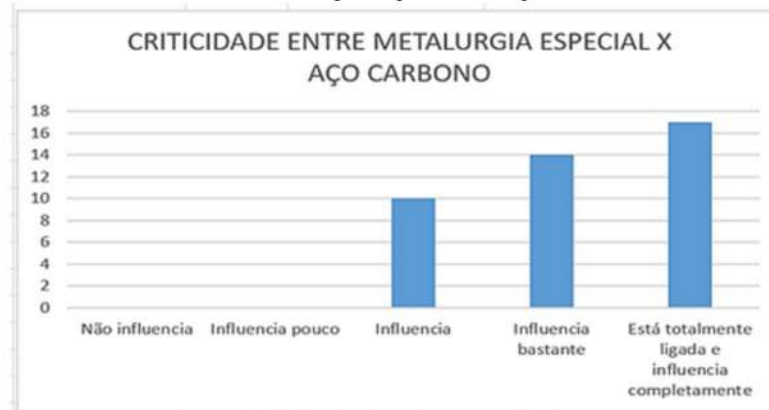


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

- O objetivo da terceira pergunta foi identificar a percepção dos técnicos sobre a relação das condições meteorológicas com apertos malsucedidos com qualquer tipo de metalurgia, com destaque para a resposta de 87,8% dos participantes que acreditam na influência direta, 12,2% acreditam na influência moderada enquanto nenhum participante acredita na ausência de influência.

- De maneira bem enfática, a pergunta número 4 busca obter a percepção dos técnicos sobre a maior dificuldade do aperto com tubos em metalurgia especial, independente das condições meteorológicas; 41,4% dos participantes acreditam que está totalmente ligada e influência diretamente, enquanto nenhum participante acredita na inexistência ou na baixa influência, conforme demonstrado no gráfico 8:

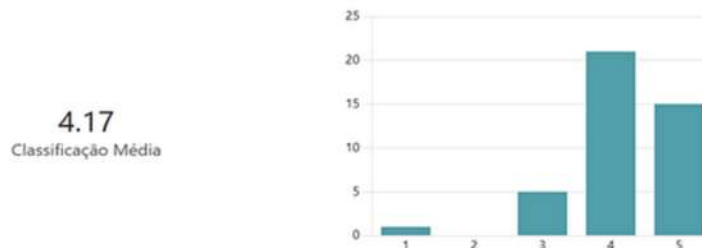
Gráfico 8 - Resposta questionário questão 4



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

- A pergunta de número 5 é a mesma pergunta anterior, porém suas opções de respostas foram modeladas de maneira diferente, como forma de se obter uma nota de 1 a 5. Os técnicos classificaram a criticidade média em 4,07.
- A pergunta de número 6 corrobora com uma classificação média de 4,17 em relação à percepção dos técnicos sobre a maior dificuldade da utilização de tubos com metalurgia especial em relação ao aço carbono em condições desfavoráveis, de acordo com o gráfico 9:

Gráfico 9 - Resposta questionário questão 6



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

- A pergunta de número 7 visa demonstrar que as condições meteorológicas podem influenciar até mesmo em tubos com metalurgia de aço carbono, conforme respondido por 73,1% dos técnicos e demonstrado no gráfico 10:

Gráfico 10 - Resposta questionário questão 7



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

- Na oitava pergunta, 90,2% dos técnicos responderam que já enfrentaram dificuldades operacionais quando o material apresenta metalurgia especial;
- A pergunta de número 9 procura enriquecer as teorias discutidas no referencial teórico e reforçar um dos objetivos específicos listados. Essa questão tem a possibilidade de mais de uma resposta; 52,7% dos técnicos afirmam identificar tubos com metalurgia especial, em sua maioria em revestimento de produção, e *Liners*, 33,7% das respostas;
- A décima e última questão tem como objetivo captar a percepção dos técnicos sobre a influência meteorológica nas operações com tubos compostos por metalurgia especial, 100% dos participantes responderam que consideram existente a influência nas operações de instalação dos tubulares, conforme gráfico 11:

Gráfico 11 - Resposta questionário questão 10



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O estudo demonstra um percentual de apertos malsucedidos, nos anos de 2021 e 2022, de acordo com os meses do ano, o que evidencia que entre os meses de agosto e outubro existe um pico de apertos defeituosos ocorridos dentro do período.

Foi realizado um comparativo entre os apertos malsucedidos ocorridos nos anos de 2021 e 2022 e a velocidade média do vento na área de Arraial do Cabo, no mesmo período, onde é possível comparar e constatar que a incidência dos apertos falhos aumenta em função da velocidade do vento. Não foi possível observar a mesma correlação entre as variáveis altura significativa de onda x apertos malsucedidos, uma vez que a correlação de Pearson não demonstrou valores de influência entre as variáveis.

Sobre o questionário aplicado à equipe de especialistas, as respostas de 41 técnicos demonstram que a percepção no campo vai de acordo com os resultados dos dados obtidos nos indicadores de aperto malsucedidos, média de velocidade do vento e de altura significativa de ondas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo utilizou dados de diferentes entidades (governamentais e privadas) para descrever de maneira clara que as instalações de revestimentos de poços em metalurgia especial são impactadas pelas condições meteorológicas, influenciando na produtividade das atividades que utilizam tais elementos tubulares em poços de óleo e gás. Também foram realizadas pesquisa e aplicação de questionário como forma de validar as hipóteses propostas pelo objetivo dos coautores.

O estudo permitiu a identificação e seleção das fases de revestimentos específicas em que são utilizados tubos com metalurgia especial por meio de publicações e livros específicos da área de óleo e gás, além da percepção dos técnicos ao darem resposta a uma questão específica do questionário.

A percepção dos técnicos sobre as dificuldades encontradas nas operações de instalação de tubos com metalurgia especial em função da criticidade meteorológica foi confirmada pela aplicação do questionário, cujas respostas foram compartilhadas e analisadas, no artigo, juntamente com a comparação da produtividade entre os materiais citados.

Vale acrescentar que 100% dos técnicos, que participaram da pesquisa, acreditam que as condições meteorológicas influenciam na produtividade das operações de instalação de tubulares com metalurgia especial. Destaca-se o ponto que, dos participantes que participaram da pesquisa, 41,4% possuem mais de 10 anos na função, o que indica uma percepção de participantes experientes na tarefa.

Foi demonstrado no estudo que a produtividade das operações que envolvem tubos de revestimento com metalurgia especial cai, uma vez que se tem um aumento de apertos malsucedidos em determinados meses dos anos que apresentam oscilação de condições meteorológicas, como a média de 13,28% de apertos malsucedidos ocorridos nos meses de setembro de 2021/2022.

LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS

A localização das boias e estações meteorológicas estudadas em relação ao posicionamento das sondas durante a perfuração podem alterar significativamente os resultados do estudo, aumentando a precisão de acordo com a diminuição da distância das boias para os poços perfurados.

Contribuições futuras, com dados meteorológicos provenientes diretamente das unidades marítimas, podem gerar um banco de dados bastante preciso e facilitar a tomada de decisão em paradas operacionais/segurança devido a projeções da piora das condições meteorológicas em ambientes marítimos.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, E. A. **Estudo comparativo do processo corrosivo do aço patinável e do aço carbono comum**. Monografia (Engenharia Mecânica) – Belém – PA Universidade Federal do Pará - UFPA, 80p, 2009.

BERNT, S.A. **Modern Well Design**. 2. ed. CRC Press. Stavanger, Norway, University of Stavanger, 2014.

BLACKSTONE, William Robert. **The development of a new test method for the evaluation of galling in OCTG connections**, 1987-12. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2346/12310>. Acesso em: 29 mai. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência, Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT). **Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo - NR 37**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, 2022.

CASTELLO, P. J.; KRUG, L. C. **Introdução as Ciências do mar**. Pelotas: Textos, 2017.

DA SILVA PEREIRA, Donisete et al. Análise sazonal dos ventos de superfície do estado do Rio de Janeiro com base em dados do período 2007-2015: Seasonal analysis of surface winds in the state of Rio de Janeiro based on data for the period 2007-2015. **Brazilian Journal of Development**, p. 58366-58386, 2022.

FGV PROJETOS. **O MERCADO DO PETRÓLEO: Oferta, Refino e Preço**. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10438/9816> . Acesso em: 17 jun. 2023.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <://portal.inmet.gov.br>. Acesso em 19 jun. 2023.

MENG, J., CHAMBERS, B., YUNOVICH, M., “Whats is Really Known bout Using 3Cr Tubulars in Sour Service?”, **Materials Performance (NACE International)**, v. 50, nº 8, pp. 72 – 78, 2011.

O PETRÓLEO. **Tipos de plataformas de Petróleo no mar**. Disponível em: <https://opetroleo.com.br/o-petroleo-se-reinventa-descubra-o-seu-novo-portal-de-bem-estar-estilo-de-vida-e-noticias-atualizadas/>. Acesso em: 03 mai. 2023.

OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. A. Estudo de Variabilidade do Vento em Escala Sazonal sobre o Nordeste Brasileiro Utilizando o RAMS: Os Casos De 1973-1974 E 1982-1983. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 53-66, 2011.

OLIVEIRA, J. H. R. **Método para avaliação de indicadores de sustentabilidade organizacional**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002

ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. DE. **Projeto de poços de petróleo: geopressões e assentamento de colunas de revestimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2009.

SITE PETROBRAS. **A descoberta de um campo de petróleo e gás natural em 5 passos**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/a-descoberta-de-um-campo-de-petroleo-e-gas-natural-em-5-passos.htm>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SITE PETROBRAS. **Exploração e Produção de Petróleo e Gás**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/#:~:text=Nossas%20atividades%20de%20explora%C3%A7%C3%A3o%20e%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20petr%C3%B3leo,incorpora%C3%A7%C3%A3o%20de%20reservas%20de%20petr%C3%B3leo%20e%20g%C3%A1s%20natural..> Acesso em: 19 jun. 2023.

THOMAS, José E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2.ed. Rio de Janeiro Editora Interciência, 2001.

VALLOUREC. **13CR & SUPER 13CR Grades brochure - Solutions Vallourec**. Disponível em: URL. Acesso em: 13 mai. 2023.

VAM® **FIELD SERVICE INTERNATIONAL**. Disponível em: <https://solutions.vallourec.com/en/Oil-and-Gas/OCTG/Services/Vam-Field-Service>. Acesso em: 28 mai. 2023.