

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AYSLAN DAVIDSON AGUIAR DOS SANTOS

**ELABORAÇÃO DE MODELOS PARA SEQUÊNCIA OPERACIONAL DA
ESTRUTURA DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE COM BASE EM DADOS
HISTÓRICOS**

Maceió

2024

AYSLAN DAVIDSON AGUIAR DOS SANTOS

**ELABORAÇÃO DE MODELOS PARA SEQUÊNCIA OPERACIONAL DA
ESTRUTURA DE POÇOS DE PETRÓLEO OFFSHORE COM BASE EM DADOS
HISTÓRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Aline da Silva Ramos Barboza

Maceió

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237e Santos, Ayslan Davidson Aguiar dos.

Elaboração de modelos para sequência operacional da estrutura de poços de petróleo *offshore* com base em dados históricos / Ayslan Davidson Aguiar dos Santos. - 2024.
130 f. : il.

Orientadora: Aline da Silva Ramos Barboza.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 128-130.

1. Estrutura de poços. 2. Sequência operacional. 3. Revestimentos. 4. Cimentação. 5. Perfuração - Cronograma. I. Título.

CDU:621.95

Dedico este trabalho a José Ferreira Leandro (*In Memoriam*) que para mim foi amigo, professor e padrinho. E a meu colega Marcelo Filipe (*In Memoriam*), que teria sido um engenheiro brilhante, e continua sendo fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e me dar a força necessária para enfrentar meus desafios.

À minha família, Valdez, José, Juliana, Octávio e Marcos, por todo o tempo dedicado, paciência e confiança nas escolhas que fiz.

À professora Aline da Silva Ramos Barboza pelas oportunidades, a paciência e acima de tudo, por se importar.

À Tássio Jorge Figueiredo de Araújo, pela experiência, conhecimentos e atenção dispensadas ao longo deste trabalho.

À Carlos, Erasmo e Josivaldo, pelas ideias e conselhos.

A Petrobrás pelo suporte financeiro.

A equipe do EDGE e do LCCV pela atenção e conhecimentos passados.

Aos professores Joao Paulo Lima Santos e Roberto Barbosa dos Santos, pelas importantes contribuições a este trabalho.

Tudo o que um homem pode imaginar, outros homens poderão realizar.

(Júlio Verne)

RESUMO

Na exploração de petróleo *offshore*, a construção de um poço necessita de operações longas e complexas, o que acarreta altos custos, principalmente relativos ao aluguel de sondas. Nesse contexto, é essencial analisar a sequência de operações necessárias para a sua construção, em especial no tocante a sua estrutura, tendo em vista sua importância em toda a vida útil do poço, de forma a buscar a diminuição de erros e tempo de execução. Uma ideia promissora de análise é a de utilizar dados históricos no planejamento de novas operações *offshore*, objetivando trazer mais previsibilidade ao processo de avaliação e projeto de novos poços. Para tal, buscou-se elaborar modelos de sequência operacional da estrutura de poço com base em cronogramas de perfuração reais, a fim de estabelecer parâmetros de duração e anomalias, para poços de produção, injeção e especiais. As análises se deram com a utilização de um banco de dados de cronogramas de perfurações executadas por uma empresa petrolífera. Os cronogramas foram importados em planilhas eletrônicas, onde foram agrupados de acordo com seu tipo de poço, e as atividades específicas de estrutura de poço foram separadas das demais, com o propósito de estabelecer a sequência operacional e seus parâmetros. Os modelos elaborados podem ser usados tanto no projeto de novos poços, como na avaliação de cronograma já executados, visando a redução de erros e de tempo ocioso de equipamentos e pessoas, e, conseqüentemente, a redução de custos.

Palavras-Chave: Estrutura de poço. Sequência operacional. Revestimento. Cimentação Cronograma.

ABSTRACT

In offshore oil exploration, the construction of a well requires long and complex operations, which results in excessive costs, related to the rental of drilling rigs. It is essential to analyze the sequence of operations required for its construction, particularly concerning its structure, given its importance throughout the well's lifecycle, to seek a reduction in errors and execution time. A promising analytical approach is to use historical data in the planning of new offshore operations, aiming to bring more predictability to the assessment and design process of new wells. To do so, operational sequence models of the well structure were developed based on actual drilling schedules to establish parameters for duration and anomalies for production, injection, and special wells. The analyses were conducted using a database of drilling schedules conducted by an oil company. The schedules were imported into spreadsheets, where they were grouped according to well type, and specific well structure activities were separated from others to establish the operational sequence and its parameters. The developed models can be used for both the design of new wells and the evaluation of previously executed schedules, aiming to reduce errors, downtime of equipment and personnel, and, consequently, cost reduction.

Keywords: Well structures. Operational sequence. Casing. Cementing. Schedule.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Terminologia de tubo de revestimento	28
Figura 2 - Programas típicos de revestimento	29
Figura 3 - Relação entre o diâmetro de broca, furo e revestimento.....	33
Figura 4 - Principais aditivos do cimento	37
Figura 5 - Coluna de testes	40
Figura 6 - Contexto de iniciação de projetos.....	43
Figura 7 - EAP da reforma de uma casa.....	45
Figura 8 - Tipos de dependência no Método do Diagrama de Precedência (MDP).....	49
Figura 9 - Elementos característicos de uma atividade	50
Figura 10 - Diagrama de rede, com caminho crítico marcado em vermelho	51
Figura 11 - Gráfico de Gantt em barras	54
Figura 12 - Gráfico de Gantt com marcos	54
Figura 13 - Gráfico de Gantt detalhado	55
Figura 14 - Etapas do trabalho.....	58
Figura 15 - Processo de aquisição dos dados em estudo	59
Figura 16 - EAP de perfuração	60
Figura 17 - Representação do cronograma em atividades.....	61
Figura 18 - Sequência operacional da estrutura de poço de um cronograma	63
Figura 19 - Fluxograma da etapa 2 da metodologia	65
Figura 20 - Fluxograma da etapa 3 da metodologia	66
Figura 21 - Exemplo de EAP de uma intervenção	68
Figura 22 - Exemplo de percentis de duração	69
Figura 23 - Relatório geral em formato Gantt (Curva S)	71
Figura 24 - Quadro de parâmetros de perfuração	73
Figura 25 - Distribuições de tempo para poço de produção	75
Figura 26 - Distribuições de tempo para poço de injeção	77
Figura 27 - Distribuições de tempo para poço especial.....	79
Figura 28 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 0 de um poço de produção	80
Figura 29 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 1 de um poço de produção	82

Figura 30 - Distribuição das operações da estrutura na fase 1 de um poço de produção e a localização das anomalias observadas	82
Figura 31 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 2 de um poço de produção	84
Figura 32 - Distribuição das operações da estrutura na fase 2 de um poço de produção e a localização das anomalias observadas	84
Figura 33 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 com liner de um poço de produção.....	86
Figura 34 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 com liner de um poço de produção e a localização das anomalias observadas	86
Figura 35 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 sem liner de um poço de produção.....	88
Figura 36 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 sem liner de um poço de produção e a localização das anomalias observadas	88
Figura 37 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 com liner de um poço de produção.....	90
Figura 38 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 com liner de um poço de produção e a localização das anomalias observadas	90
Figura 39 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 5 com liner de um poço de produção.....	93
Figura 40 - Distribuição das operações da estrutura na fase 5 com liner de um poço de produção e a localização das anomalias observadas	93
Figura 41 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 0 de um poço de injeção.....	95
Figura 42 - Distribuição das operações da estrutura na fase 0 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	95
Figura 43 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 1 de um poço de injeção.....	97
Figura 44 - Distribuição das operações da estrutura na fase 1 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	97
Figura 45 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 2 de um poço de injeção.....	99
Figura 46 - Distribuição das operações da estrutura na fase 2 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	99

Figura 47 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 de um poço de injeção.....	103
Figura 48 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	104
Figura 49 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 com liner de um poço de injeção	107
Figura 50 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 com liner de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	107
Figura 51 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 sem liner de um poço de injeção	109
Figura 52 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 sem liner de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	110
Figura 53 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 5 com liner de um poço de injeção	111
Figura 54 - Distribuição das operações da estrutura na fase 5 com liner de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas	111
Figura 55 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 0 de um poço especial	113
Figura 56 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 1 de um poço especial	114
Figura 57 - Distribuição das operações da estrutura na fase 1 de um poço especial e a localização das anomalias observadas.....	115
Figura 58 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 2 de um poço especial	116
Figura 59 - Distribuição das operações da estrutura na fase 2 de um poço especial e a localização das anomalias observadas.....	117
Figura 60 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 de um poço especial	119
Figura 61 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 de um poço especial e a localização das anomalias observadas.....	119
Figura 62 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 de um poço especial	121
Figura 63 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 de um poço especial e a localização das anomalias observadas.....	121

Figura 64 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 5 de um poço especial
..... 122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificações de poços segundo ANP.....	22
Tabela 2 - Tipos de brocas utilizadas nas diferentes formações.....	24
Tabela 3 - Funções e propriedades físicas dos fluidos de perfuração	27
Tabela 4 - Classes de cimento API.....	36
Tabela 5 - Principais perfis a cabo.....	39
Tabela 6 - Síntese dos trabalhos estudados	56
Tabela 7 - Parâmetros de poços de produção	74
Tabela 8 - Parâmetros de poços de injeção.....	76
Tabela 9 - Parâmetros de poços especiais	78
Tabela 10 - Fase 0 da sequência operacional de um poço de produção	80
Tabela 11 - Fase 1 da sequência operacional de um poço de produção	81
Tabela 12 - Fase 2 da sequência operacional de um poço de produção	83
Tabela 13 - Fase 3 da sequência operacional de um poço de produção com liner.....	85
Tabela 14 - Fase 3 da sequência operacional de um poço de produção sem liner	87
Tabela 15 - Fase 4 da sequência operacional de um poço de produção com liner.....	89
Tabela 16 - Fase 5 da sequência operacional de um poço de produção com liner.....	91
Tabela 17 - Fase 1 da sequência operacional de um poço de injeção	94
Tabela 18 - Fase 1 da sequência operacional de um poço de injeção	96
Tabela 19 - Fase 2 da sequência operacional de um poço de injeção	98
Tabela 20 - Fase 3 da sequência operacional de um poço de injeção	101
Tabela 21 - Fase 4 da sequência operacional de um poço de injeção com liner	105
Tabela 22 - Fase 4 da sequência operacional de um poço de injeção sem liner.....	108
Tabela 23 - Fase 5 da sequência operacional de um poço de injeção com liner	110
Tabela 24 - Fase 0 da sequência operacional de um poço especial.....	112
Tabela 25 - Fase 1 da sequência operacional de um poço especial.....	113
Tabela 26 - Fase 2 da sequência operacional de um poço especial.....	115
Tabela 27 - Fase 3 da sequência operacional de um poço especial.....	117
Tabela 28 - Fase 4 da sequência operacional de um poço especial.....	120
Tabela 29 - Fase 5 da sequência operacional de um poço especial.....	122
Tabela 30 - Parâmetros de comparação entre tipos de poço.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOP	<i>Blowout Preventer</i>
BHA	<i>Bottom Hole Assembly</i>
CABP	Cabeça de poço
COI	Coluna de Injeção
COP	Coluna de Perfuração
CVE	Conjunto de Vedação Específico
CVU	Conjunto de Vedação Universal
DMA	<i>Dynamic Motion Analysis</i>
DMM	<i>Dynamic Positioning Marine</i>
DTM	<i>Dynamic Top Drive Marine</i>
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
ESCP	Equipamentos de Controle de Poço
LDB / LDS	Equipamentos Adicionais de Travamento
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>
WOB	<i>Weight On Bit</i>
ROP	<i>Rate of Penetration</i>
RPM	<i>Revolutions Per Minute</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
1.2	Justificativa.....	18
1.3	Delimitação do trabalho.....	20
1.4	Organização do texto	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	Perfuração de poços de petróleo	21
2.1.1	Classificação dos poços	21
2.1.2	Ferramental e mão de obra	22
2.1.2.1	Coluna de perfuração	23
2.1.2.2	Brocas.....	23
2.1.2.3	Perfuração direcional.....	24
2.1.2.4	Controle do poço	25
2.1.2.5	Fluido de perfuração.....	26
2.1.3	Estrutura do poço.....	27
2.1.3.1	Revestimento.....	27
2.1.3.2	Cimentação.....	33
2.1.4	Testes de poço	37
2.1.4.1	Perfil litológico.....	37
2.1.4.2	Perfil da taxa de penetração	38
2.1.4.3	Perfil de fluido.....	38
2.1.4.4	Perfis a cabo	38
2.1.4.5	<i>Leak-off test</i>	39
2.1.4.6	Teste de formação	39

2.1.5	Problemas na perfuração	40
2.1.5.1	Prisão de coluna de perfuração.....	41
2.1.5.2	Perda de circulação.....	41
2.1.5.3	Tortuosidade.....	41
2.1.5.4	Falhas na tubulação	41
2.1.5.5	Instabilidade de poço.....	42
2.1.5.6	Contaminação de fluido de perfuração.....	42
2.1.5.7	Dano a formação	42
2.2	Gestão de empreendimentos.....	42
2.2.1	Gestão de escopo	44
2.2.1.1	Definição do escopo	44
2.2.1.2	Definição de requisitos.....	44
2.2.1.3	Definição da EAP.....	44
2.2.2	Gestão do cronograma	45
2.2.2.1	Definição de atividades	45
2.2.2.2	Estimativa de durações.....	46
2.2.2.3	Sequenciação de atividades.....	48
2.2.2.4	Montagem do cronograma	53
2.3	Sequência operacional da estrutura de poços: estudos recentes.....	55
3	METODOLOGIA.....	58
3.1	Etapa 1	58
3.2	Etapa 2.....	59
3.2.1	Caracterização de dados	59
3.2.2	Aquisição de dados.....	59
3.2.3	Categorização	60
3.2.4	Análise.....	60
3.3	Etapa 3.....	65

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1	Cronogramas de perfuração.....	67
4.1.1	Definição da EAP.....	67
4.1.2	Definição das durações.....	68
4.1.3	Definição da precedência.....	69
4.1.4	Montagem do cronograma.....	70
4.2	Sequência Operacional.....	72
4.2.1	Análise do cronograma de perfuração.....	72
4.2.1.1	Poço de produção.....	74
4.2.1.2	Poço de injeção.....	76
4.2.1.3	Poço especial.....	77
4.3	Análise de sequência operacional de estrutura de poço.....	79
4.3.1	Poço de produção.....	79
4.3.1.1	Fase 0.....	79
4.3.1.2	Fase 1.....	81
4.3.1.3	Fase 2.....	83
4.3.1.4	Fase 3.....	84
4.3.1.5	Fase 4.....	89
4.3.2	Poço de injeção.....	94
4.3.2.1	Fase 0.....	94
4.3.2.2	Fase 1.....	96
4.3.2.3	Fase 2.....	98
4.3.2.4	Fase 3.....	100
4.3.2.5	Fase 4.....	104
4.3.2.6	Fase 5.....	110
4.3.3	Poço especial.....	112
4.3.3.1	Fase 0.....	112

4.3.3.2	Fase 1.....	113
4.3.3.3	Fase 2.....	115
4.3.3.4	Fase 3.....	117
4.3.3.5	Fase 4.....	120
4.3.3.6	Fase 5.....	122
4.4	Análise de resultados	123
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
5.1	Conclusões.....	126
5.2	Sugestões de trabalhos futuros	127
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é encontrado a quilômetros de profundidade, inserido em formações rochosas que se localizam tanto em terra firme quanto em alto mar. Segundo Mitchell e Miska (2011), para que se possa extrair o petróleo da natureza é necessário que se perfure o solo, seja ele terrestre ou oceânico, e se estabeleça um poço, resistente o suficiente para suportar as pressões das rochas no seu entorno e a pressão do fluido interno que está sendo transportado. Além disso, equipamentos de segurança possibilitam que esse processo ocorra de forma a não prejudicar o meio ambiente nem a equipe da sonda.

A perfuração *offshore* é uma série de complexas operações que visa a construção de um poço por meio do qual são extraídas as jazidas de hidrocarboneto localizadas abaixo do leito oceânico, sendo assim, uma intervenção que requer a alocação significativa de recursos. Notadamente, o aluguel de sondas se apresenta como um dos principais custos envolvidos na perfuração, por conta de seu valor ser diretamente proporcional à duração das operações nas quais estão alocadas.

A construção do poço geralmente é dividida em fases, que estão sequenciadas de forma lógica a fim de serem finalizadas no mais curto espaço de tempo possível. À essa lógica de construção se dá o nome de sequência operacional. Dentre as fases da construção, a fase que compreende a estrutura do poço é crítica, pois além de ser a de maior duração, é onde acontece a maior parte das situações adversas durante as operações. A estrutura consiste nos elementos que se localizam abaixo da cabeça do poço, particularmente os revestimentos e cimentações, tendo o papel de proteger o interior e estabilizar todo o sistema.

Objetivando planejar e gerenciar a execução da estrutura do poço, uma sequência operacional é definida pelo projetista com base nas informações colhidas através de pesquisas e explorações prévias no local, bem como um cronograma representativo dessa sequência, contendo tempos de execução previstos e realizados. Situações adversas, conhecidas como anomalias, podem ocorrer no andamento das operações, provocando tempo ocioso da sonda e incremento nas durações. Esses incrementos devem ser levados em conta na fase planejamento, com o intuito de gerar estimativas de tempo realistas e assegurar que o prazo final seja cumprido.

A fase de planejamento da construção poço se mostra de grande importância para todo o processo, visto que, quanto mais precisa for a sequência operacional e o cronograma do poço, menor será a duração da operação. Portanto, considerando que a construção da estrutura do poço representa uma fase crítica da perfuração, ela se mostra como um ponto chave na melhoria da elaboração de sequências operacionais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral a elaboração de modelos de sequência operacional da estrutura de poços de petróleo *offshore* com base na análise de dados históricos.

1.1.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Estabelecer uma revisão bibliográfica acerca da estrutura de poços *offshore*, bem como de gestão de empreendimentos;
- b) Caracterizar o processo de elaboração dos cronogramas do banco de dados em estudo;
- c) Analisar o banco de dados de cronogramas reais, a fim de caracterizar as atividades específicas da construção da estrutura do poço e seu relacionamento com as demais atividades, em poços de produção, injeção e especiais;
- d) Desenvolver modelos de sequência operacional da estrutura de poço, bem como parâmetros padrão e anomalias, para cada tipo de poço.

1.2 Justificativa

Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (2022), a construção do poço é um conjunto de operações técnicas que tem a finalidade de atingir objetivos geológicos, avaliá-los e/ou instalar equipamentos para produção ou injeção de fluidos na zona de interesse do reservatório, conforme viabilidade do processo.

A sequência operacional estabelece a lógica pela qual as operações se encadeiam, de forma a possibilitar a construção do poço. Assim, é preciso que seja bem planejada e esteja alinhada com o cenário no qual o poço será inserido. Carbognin (2017) afirma que o planejamento da sequência operacional é feito principalmente com base na experiência do projetista e em

informações de poços já construídos, de forma que quanto menos experiente é o projetista, mais ele se apoia nos dados históricos.

A análise de cronogramas de poços já executados, permite que se estabeleçam padrões de repetição que podem ser empregados em novos poços, ou mesmo na avaliação de operações. As sequências operacionais já executadas e validadas, servirão de base para o projeto de novos poços, reduzindo sua imprevisibilidade e promovendo uma maior otimização de duração de operações. As anomalias típicas podem ser pré-estabelecidas no ato do planejamento, reduzindo consideravelmente a necessidade de contingências.

Todavia, a literatura disponível sobre o tema de planejamento de operações de exploração de petróleo tem como foco quase que exclusivo a implementação computacional aliada a abordagem probabilística do planejamento, o que pode ser observado em Kaiser (2019), Sotomayor (2011) e Wang et al (2019). Algumas abordagens diferentes foram adotadas por Vasconcellos e Moreira Filho (2006), que estudaram o uso da restrição de recursos na resolução de problemas no planejamento; e Moreira et al (2010), que fez uma análise de alocação de tempo em um projeto de poço de petróleo.

O tema de sequência operacional em geral é pouco abordado, e raros são os trabalhos que focam na sequência operacional da construção do poço, que é um componente vital para as operações. Guimarães (2011) desenvolveu uma abordagem probabilística baseada no método de Monte Carlo para a estimativa de tempos de perfuração, elaborando também uma sequência padronizadas de operações, divididas em fases, baseada no poço do campo estudado por ele. Já Silva (2023) propôs uma prática de gestão sobre o ciclo de vida de um poço de petróleo e gás, com foco nos aspectos referentes a garantia da integridade do poço, elaborando também uma sequência operacional para uma operação de completação, focando nas atividades específicas à segurança operacional e integridade do poço. Carbognin (2017) propõe a criação de uma metodologia de verificação do planejamento da sequência operacional de completação, buscando direcionar a atenção do projetista para os riscos operacionais, baseando-se na análise de dimensões referentes a segurança operacional, condição de limpeza de poço e compatibilidade dos equipamentos com a condição do poço.

Desta forma, fica evidente a necessidade da criação de modelos para a sequência operacional da estrutura de poço, se estabelecendo como uma promissora metodologia de trabalho, visto que que, partindo de uma sequência padrão, o projetista pode adaptá-la conforme

as particularidades do poço que esteja projetando no momento, poupando tempo de pesquisa e aumentando a previsibilidade das operações.

1.3 Delimitação do trabalho

O trabalho se limita à análise dos cronogramas presentes no banco de dados da empresa petrolífera, que se referem aos poços executados em bacias na costa brasileira. São 21 cronogramas de poços localizados em 20 diferentes campos de exploração.

A escolha pelos cronogramas de perfuração, em especial os de poços de produção, injeção e especial, se deu pela maior presença de atividades específicas de estrutura.

O foco do estudo é a lógica de sequenciamento das atividades de cada tipo de perfuração, suas durações e anomalias mais frequentes. Não serão abordadas questões técnicas sobre o dimensionamento dos elementos estruturais presentes na estrutura, nem no que tange a análises de custos.

1.4 Organização do texto

Neste primeiro capítulo, apresenta-se uma introdução ao tema abordado, quais os objetivos que se deseja atingir, a justificativa para sua elaboração, sua delimitação e um breve resumo da organização textual do trabalho.

O segundo capítulo consiste no referencial teórico, onde são apresentados importantes conceitos sobre perfuração de poços *offshore* e gestão de empreendimentos, que serão a base das análises deste estudo.

O terceiro capítulo se destina a explicitar a metodologia empregada no trabalho, onde é explorado minuciosamente os procedimentos utilizados nas fases de caracterização, aquisição e análise dos dados em estudo.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões do trabalho, sendo apresentadas as análises, que resultam nas sequências operacionais típicas de cada tipo de poço, bem como suas anomalias mais frequentes e sua localização na sequência.

O quinto capítulo apresenta as considerações finais acerca da análise dos resultados obtidos, fazendo também sugestões para estudos futuros que venham a dar continuidade a este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo dedica-se a embasar teoricamente as análises que serão abordadas no trabalho. Desta forma, ele inicia a caracterização o processo de perfuração de poços de petróleo, dando enfoque maior no que tange a construção da estrutura do poço. Em seguida são apresentados os conceitos de gestão de empreendimentos, encerrando-se com uma breve discussão sobre os trabalhos mais recentes sobre o tema.

2.1 Perfuração de poços de petróleo

Para a obtenção de petróleo e gás é necessária a perfuração da crosta terrestre, de forma a se estabelecer um poço. Kaiser (2009) define que: “O objetivo na perfuração de um poço de hidrocarbonetos é fazer o furo o mais rápido possível, estando sujeito às limitações tecnológicas, operacionais, de qualidade e de segurança no processo.”

Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (2022), a perfuração é o conjunto de operações que tem a finalidade de atingir objetivos geológicos, em que para poços exploratórios, busca-se sua avaliação; e para poços de desenvolvimento, busca-se sua exploração.

Durante a perfuração, é necessário a construção de uma estrutura de revestimento e sustentação para o poço, para que se possa ocorrer a exploração com segurança. Essa estrutura vai da cabeça do poço até seu fundo e tem o objetivo de proteger o interior do tubo tanto de contaminação quanto de pressões exercidas pela formação. Acima da cabeça existem equipamentos que podem ou não adentrar no furo do poço, servindo tanto para a perfuração quanto para o controle e segurança dele.

A seguir estão apresentados os principais aspectos da operação de perfuração de poços de petróleo, dando um enfoque maior no que tange sua estrutura.

2.1.1 Classificação dos poços

Segundo Mitchel e Miska (2011), o poço cujo objetivo é de descobrir uma nova jazida de petróleo é chamado de poço exploratórios (ou pioneiro). Quando um poço pioneiro se mostra promissor, poços de avaliação são executados para obter mais informações sobre a jazida em

questão. Após a viabilidade de uma jazida ser atestada, poços de desenvolvimento (ou exploratórios/produção) são executados, para iniciar de fato sua exploração.

Ainda segundo Mitchell e Miska (2011), além dos poços de exploração e produção mais comuns, poços especiais podem ser perfurados para uma variedade de finalidades, incluindo testes estratigráficos e alívio de *blowout*. Na Tabela 1 a seguir é apresentada uma classificação geral dos poços de acordo com a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

Tabela 1 - Classificações de poços segundo ANP

Categoria	Finalidade
1	Poço Exploratório Pioneiro
2	Poço Exploratório Estratigráfico
3	Poço Exploratório de Extensão
4	Poço Exploratório Pioneiro Adjacente
5	Poço Exploratório para Prospecto Mais Raso
6	Poço Exploratório para Prospecto Mais Profundo
7	Poço Exploratório de Produção
8	Poço Exploratório de Injeção
9	Poço Especial
10	Poço de Estocagem

Fonte: ANP, 2017.

2.1.2 Ferramental e mão de obra

Azar e Samuel (2017) definem que: “Perfuração de petróleo e gás natural necessita de dois componentes principais que são mão de obra e ferramental. A mão de obra consiste em uma equipe de engenharia de perfuração e a equipe operacional da plataforma”. O ferramental consiste nos equipamentos que se localizam acima da cabeça do poço, podendo ou não ser introduzidos em seu furo durante ou após a perfuração.

Para a perfuração *offshore*, o principal componente de ferramental utilizado é a plataforma, ou sonda, de perfuração, que antes de tudo, é uma grande embarcação em alto mar. Mitchell e Miska (2011) comentam que, as plataformas de perfuração são usadas para construir o poço, o

que inclui perfurar, descer e cimentar o revestimento, além de outras várias operações auxiliares, como perfilagem e teste de poço.

2.1.2.1 Coluna de perfuração

De acordo com Mitchell e Miska (2011), a coluna de perfuração é o principal componente da perfuração rotativa, sendo a mesma tipicamente composta por um *kelly* ou por um *topdrive*; sendo eles mutuamente excludentes, um tubo de perfuração com juntas ferramentadas, colares de perfuração e estabilizadores. A porção da coluna que se localiza acima da broca é chamada de conexão de fundo de poço (BHA).

Os cascalhos gerados pela perfuração são removidos através do fluido de perfuração, que é circulado dentro da coluna e através da broca para o espaço anular entre a coluna de perfuração e a parede do poço. Em resumo, as principais funções de uma coluna de perfuração em operações convencionais de perfuração rotativa são transmitir o movimento rotativo da mesa rotativa para uma broca, transportar fluido de perfuração para a superfície de trabalho da broca, produzir peso na broca (WOB) para ação de perfuração eficaz e fornecer controle da direção do poço.

2.1.2.2 Brocas

Heriot Watt University (2005) define uma broca como sendo uma ferramenta, localizada a ponta da coluna de perfuração, que tem o objetivo de perfurar as formações rochosas no fundo do poço por meio de raspagem, moagem, lascamento ou goivagem. Durante o procedimento, o fluido de perfuração é introduzido através canalizações na broca, a fim de resfriar a mesma e remover o cascalho produzido. A depender do tipo de formação, diferentes tipos e variações de brocas serão necessárias, sendo essa seleção feita durante de projeto da coluna de perfuração.

As brocas podem ser classificadas basicamente em brocas de rolos cortantes (partes móveis) e brocas de corte fixo (partes fixas). O primeiro tipo de broca é formado por elementos cônicos móveis que giram em torno de seu próprio eixo, ao mesmo passo que a broca gira no fundo do poço. As brocas tricônicas são as mais usadas. O segundo tipo de broca é formado por um elemento cortante integral e único, que perfura pelo princípio raspagem. As brocas tipo draga, diamante (natural ou artificial) e híbridas são os tipos mais usados.

De acordo com Silva (2017), o IADC (*International Association of Drilling Contractors*) agrupou as brocas de acordo com a formação na qual seu uso é o mais apropriado, que está apresentada na Tabela 2 a seguir

Tabela 2 - Tipos de brocas utilizadas nas diferentes formações

Classificação IADC	Formações
1 - 1 1 - 2 5 - 1 6 - 2	Formações moles apresentando baixo esforço compressivo e alta capacidade de perfuração (folhelhos moles, argilas, red beds, sais, calcários moles, formações inconsolidadas, etc.)
1 - 3 6 - 1	Formações moles a médias ou moles interpostas por camadas duras (folhelhos firmes, inconsolidados ou com areia, red beds, sais, anidrita, calcários moles, etc.)
2 - 1 6 - 2	Formações médias a médio-duras (folhelhos mais duros, folhelhos com areia, folhelhos alternando com camadas de arenitos ou calcários, etc.)
2 - 3 6 - 2	Formações médio-duras abrasivas a duras (rochas de alto esforço compressivo, dolomita, calcários duros, etc.)
3 - 1 7 - 2	Formações duras semi-abrasivas (dolomita, granito, chert, etc.)
3 - 2 3 - 4 8 - 1	Formações duras e abrasivas (chert, quartzito, pirita, granito, etc.)

Fonte: Adaptado de BOURGOYNE et al., 1986.

2.1.2.3 Perfuração direcional

De acordo com Azar e Samuel (2017), a principal preocupação com relação a perfuração rotativa era a de executar uma perfuração econômica, mantendo a sua direção ao longo de uma trajetória a muitos metros de profundidade. Com o passar dos anos e o advento de novas tecnologias, a perfuração vem buscando atingir reservatórios de hidrocarboneto a grandes distâncias horizontais da plataforma de perfuração, possibilitando intervenções menos invasivas e mais econômicas. A perfuração direcional nada mais é do que a execução de um poço que se inicia vertical e tem sua trajetória inclinada, a depender do cenário encontrado na formação.

Existem dois tipos de trajetória, onde no tipo 1 existe uma seção inicial vertical, uma seção de ganho de ângulo, e pode ou não ter uma seção tangente; no tipo 2, existe uma seção de perda de ângulo, que surge pela necessidade de contornar as geopressões da formação.

Segundo Henriot Watt University (2005) as principais finalidades da perfuração direcional são a perfuração de plataforma de múltiplos poços, perfuração de falhas, locações inacessíveis, desvio e reposicionamento, perfuração de domos de sal, poços de alívio.

Azar e Samuel (2017) definem os requisitos necessários para que uma perfuração direcional seja bem sucedida como sendo o uso de sistemas orientáveis de fundo de poço e ferramentas de medição durante a perfuração (MWD), uso de protetores de borracha na coluna de perfuração para proteger o desgaste do tubo/revestimento em poços altamente desviados, uso de aditivos lubrificantes especiais em fluidos de perfuração para reduzir os requisitos de torque e arrasto, uso de sistema hidráulico superior para limpeza eficaz do anular, uso de tubo de perfuração articulado em perfuração de raio curto, cálculos de engenharia de planos direcionais para a trajetória de furo de poço pré-selecionada, composição única de conjuntos de fundo de poço (BHA) para manter a trajetória no curso e transferência eficaz de peso para broca, ferramentas especiais para direcionar a broca ao longo de caminhos pré-selecionados, ferramentas de deflexão e mais centralização da coluna de revestimento.

2.1.2.4 Controle do poço

Para que a perfuração de poços de petróleo seja possível, é necessário que exista um equilíbrio entre a pressão nos poros da formação perfurada e a pressão hidrostática exercida pela coluna de fluido de perfuração aplicado no furo do poço. Se por acaso esse equilíbrio é desfeito, ocorre um fluxo de fluido partindo da formação em direção ao furo do poço, chamado de *kick*. Caso esse fluxo não seja controlado, e atinja a superfície, ocorre um fenômeno chamado de *blowout*, acarretando consequências catastróficas, como perda de vidas, danos ambientais, e, conseqüentemente, prejuízos financeiros consideráveis.

Henriot Watt University (2005) comenta que com o objetivo de evitar que esses problemas ocorram, existe o sistema de controle de poço, formado por duas seções que são controle primário e controle secundário. O controle primário visa garantir que a pressão devido à coluna de fluido de perfuração seja superior à pressão de poros da formação. O controle secundário entra em ação quando o primário falha e já existe a presença de *kick*, tendo como objetivo interromper o fluxo de fluidos da formação para o furo do poço, e depois, levar esse fluxo para a superfície e o descarregar em segurança.

Ainda segundo a Henriot Watt University (2005), as etapas do controle secundário são as seguintes: fechamento do espaço anular por meio das válvulas BOP (*blowout preventer*); circulação de fluido pesado para baixo pela coluna de perfuração e depois para cima pelo anular, para interromper o *kick* e substituir o fluido que ocasionou o problema. Após essas duas etapas serem concluídas com sucesso, o poço volta a ficar sob o controle primário.

Mitchell e Miska (2011) descrevem os principais equipamentos utilizados no controle de poço como sendo:

a) Conjunto de preventores

É um conjunto de BOPs que é usado para vedar o furo de poço e, assim, conter um *kick*. Os principais tipos utilizados hoje na indústria são o preventor anular e o preventor tipo aríete.

b) Linha de *choke*

Tem a função de direcionar o fluxo para fora do furo do poço para o coletor de *choke*.

c) Coletor de *choke*

É uma parte crucial de todo o sistema de controle de poço, sendo responsável por controlar a contrapressão no poço enquanto circula um *kick* para fora do sistema.

d) Acumuladores

Fornece a energia hidráulica necessária para operar o equipamento de controle do poço (preventores, válvulas automáticas e *chokes*).

2.1.2.5 Fluido de perfuração

O fluido de perfuração é um dos mais importantes componentes da perfuração rotativa, estando diretamente relacionado à penetração da broca na formação, limpeza da broca, transporte de cascalhos para a superfície e sustentação das paredes do poço. Mitchel e Miska (2017) comentam que, por desempenhar um papel tão central na operação, pode-se correlacionar o fluido à maioria dos problemas que surgem durante a perfuração de poços de petróleo.

Heriot Watt University (2005) relaciona as principais funções dos fluidos de perfuração com suas características físicas, conforme apresentado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Funções e propriedades físicas dos fluidos de perfuração

Função	Propriedade química/física
Transportar cascalhos de dentro do poço	Ponto de rendimento, viscosidade aparente, celeridade, força do gel
Evitar que fluidos da formação penetrem dentro do poço	Densidade
Manter a estabilidade do poço	Densidade, reatividade com argila
Resfriar e lubrificar a broca	Densidade, celeridade
Transmitir potência hidráulica para a broca	Celeridade, densidade, viscosidade

Fonte: Adaptado de Heriot Watt University, 2005.

2.1.3 Estrutura do poço

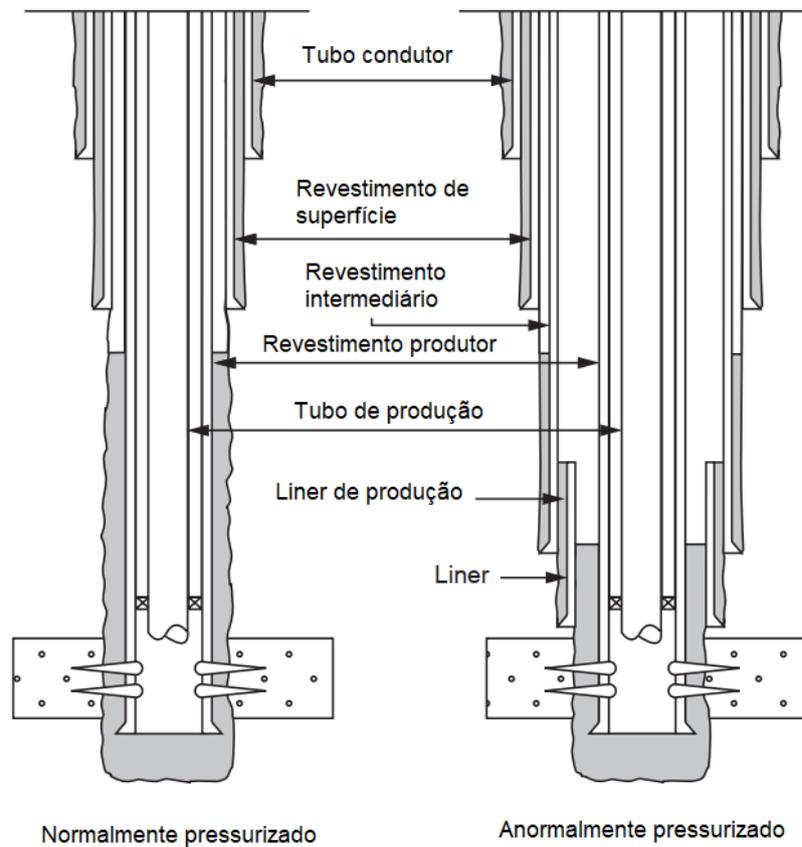
A estrutura vai da cabeça até o fundo do poço, sendo constituída principalmente pelo revestimento e a cimentação. Tais componentes atuam dentro do furo do poço durante toda sua vida útil, preservando a segurança, a estabilidade e a estanqueidade do sistema.

2.1.3.1 Revestimento

Segundo Heriot Watt University (2005), a perfuração de um poço é dividida em seções de furo, onde suas paredes internas são seladas por meio da inserção de tubos de aço chamados de revestimento; e do preenchimento com cimento do espaço anular entre revestimento e paredes, antes da perfuração da próxima seção.

A coluna de revestimento é formada por tubos de aço de comprimentos de 9m, 12m e 15m que são unidos por juntas rosqueadas. Além disso, um dispositivo chamado de sapata guia é fixado no fundo da coluna; e um suspensor, que permite a sustentação do revestimento na cabeça do poço, ou no topo do revestimento, caso sua coluna seja um *liner*. Essas dimensões dependem inteiramente das condições geológicas e de poro pressões das formações a serem perfuradas. A depender das condições encontradas, três ou quatro colunas de perfuração podem ser utilizadas para atingir a profundidade de projeto. Na Figura 1 a seguir está apresenta a terminologia da coluna de revestimento.

Figura 1 - Terminologia de tubo de revestimento



Fonte: Adaptado de Heriot Watt University, 2005.

De acordo com Heriot Watt University (2005), os principais objetivos do revestimento são:

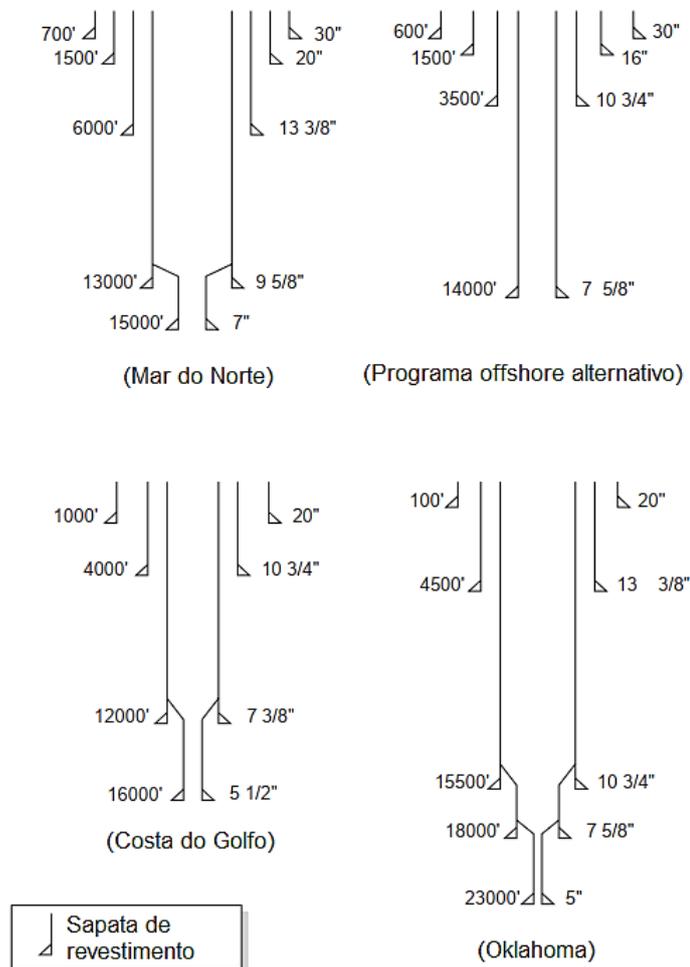
- a) Evitar que formações instáveis desabem;
- b) Proteger as formações menos resistentes de pesos elevados de fluido que podem ser necessários nas seções subsequentes do poço, que podem fraturar zonas mais frágeis;
- c) Isolar zonas com poro pressão anormalmente altas de zonas mais profundas e de pressão normalizada;
- d) Selar zonas de circulação perdida;
- e) Quando definido no intervalo de produção: para permitir acesso seletivo para produção/injeção/controlar o fluxo de fluidos de ou para o(s) reservatório(s);
- f) Uma das colunas de revestimento terá a função de fornecer suporte estrutural para a cabeça do poço e BOPs.

À medida que o poço vai se aprofundando, o diâmetro da seção é reduzido, dependendo basicamente de quesitos geológicos e particulares da localidade em que o poço está sendo

construído. Rocha (2009) comenta que o revestimento de um poço de petróleo constitui uma das parcelas mais expressivas do custo do poço, variando de 15% a 20% em perfurações *offshore*. Dessa forma é necessário que o número de colunas de revestimentos seja o menor possível, respeitando os requisitos de projeto.

Na Figura 2 a seguir estão apresentadas algumas configurações típicas de poços usadas ao redor do mundo, onde, no lado esquerdo de cada esquema estão indicadas profundidades e no lado direito, os diâmetros.

Figura 2 - Programas típicos de revestimento



Fonte: Heriot Watt University, 2005.

De acordo com Heriot Watt University (2005), os revestimentos podem ser classificados segundo sua função, da seguinte maneira:

a) Revestimento condutor

O revestimento condutor é a primeira coluna de revestimento a ser instalada e, conseqüentemente, possui o maior diâmetro. Geralmente, é instalado aproximadamente entre 30m e 100m abaixo do nível do solo ou leito do mar. Sua função é selar as formações inconsolidadas em profundidades rasas que, com a circulação contínua de fluido de perfuração, seriam lavadas. As formações superficiais também podem ter baixas resistências à fratura, que podem ser facilmente superadas pela pressão hidrostática exercida pelo fluido de perfuração ao perfurar uma seção mais profunda do poço. Em condições favoráveis, o condutor pode ser cravado na formação e, nesse caso, é referido como um tubo chaminé (*stove pipe*). Alguns diâmetros típicos são: 36" e 30".

b) Revestimento de superfície

A coluna de revestimento de superfície é instalada após o condutor e geralmente é posicionada a aproximadamente 305m a 457m abaixo do nível do solo ou leito do mar. Suas principais funções são selar quaisquer camadas de água e dar suporte aos equipamentos de cabeça do poço e BOP. A profundidade de instalação desta coluna de revestimento é importante em áreas onde são esperadas pressões anormalmente altas. Se ela for instalada muito alta, as formações abaixo da coluna podem não ter resistência suficiente para permitir o fechamento do poço e sua contenção caso ocorra um influxo de gás durante a perfuração da próxima seção do furo. Isso pode resultar no colapso das formações ao redor da coluna e o influxo fluir para a superfície ao redor do lado de fora da coluna. Alguns diâmetros típicos são 22", 20" e 13 3/8".

c) Revestimento intermediário

Pode ou não ser necessário, sendo usadas para isolar formações problemáticas entre a profundidade de instalação da coluna de revestimento superficial e a profundidade de instalação da coluna de revestimento de produção. Os tipos de problemas encontrados nesse intervalo incluem: argilas instáveis, zonas de perda de circulação, zonas com pressões anormalmente altas e sais que podem se expandir. O número de colunas de revestimento intermediárias dependerá da quantidade de problemas encontradas. Alguns diâmetros típicos são 13 3/8", 9 5/8" e 7".

d) Revestimento de produção

A coluna de revestimento de produção é instalada através da zona produtiva, ou posicionada logo acima da zona produtiva, no caso de completção de poço aberto, ou antes de instalar um *liner*. O principal objetivo desta coluna de revestimento é isolar o intervalo de produção de outras formações (por exemplo, camadas de água) e/ou servir como um conduto para a tubulação de produção. Uma vez que ela forma o conduto para a completção, deve ser submetida a um rigoroso teste de pressão antes de iniciar a completção do poço. Alguns diâmetros típicos são 9 5/8", 7" e 5 1/2".

e) *Liner*

Um *liner* é uma curta coluna de revestimento (geralmente com menos de 1524m de comprimento) suspensa no interior da coluna de revestimento adjacente por meio de um dispositivo conhecido como suspensor de *liner* (*liner hanger*). O suspensor de *liner* é anexado à junta superior do revestimento na coluna, consistindo em um colar que possui garras (dentes) que são acionados hidráulicamente ou mecanicamente e que, quando ativados, se prendem ao interior da coluna de revestimento anterior. Essas garras suportam o peso do *liner* e, portanto, ele não precisa se estender até a cabeça do poço. A sobreposição com a coluna de revestimento anterior (sobreposição de *liner*) geralmente varia de 61m a 122m. Os *liners* podem ser usados como uma coluna intermediária ou como uma coluna de produção. Alguns diâmetros típicos são 16", 13 3/8", 11 3/4", 9 5/8", 7" e 5 1/2".

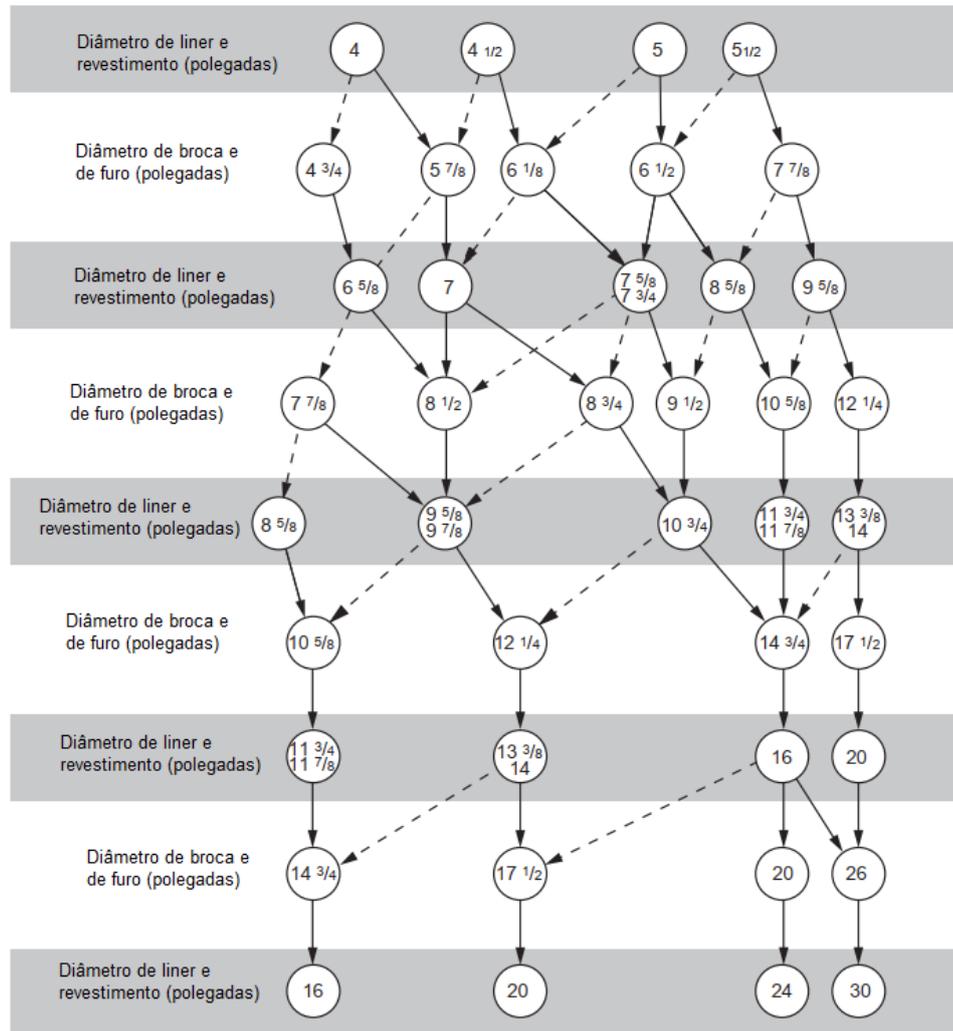
Após a instalação e cimentação do *liner*, pode ser necessário instalar uma coluna de revestimento do mesmo diâmetro e conectá-la à parte superior do suspensor de *liner*, efetivamente estendendo-o de volta até a superfície. A coluna de revestimento que é conectada à parte superior do suspensor de *liner* é chamada de coluna *tie-back*. Essa coluna *tie-back* pode ser necessária para proteger a coluna de revestimento anterior das pressões que serão encontradas quando o poço estiver em produção.

Além de serem usados como parte de uma coluna de revestimento, *liners* também podem ser usados como uma coluna intermediária para isolar zonas problemáticas antes de atingir a zona de produção, sendo chamado de *liner* de perfuração, neste caso. Os *liners* também podem ser usados como um remendo sobre o revestimento existente para reparar áreas danificadas ou para fornecer proteção adicional contra a corrosão. Nesse caso, ele é conhecido como *liner* de reparo (*stub liner*).

Segundo Mitchell e Miska (2011), o diâmetro do revestimento está relacionado ao diâmetro interno da coluna de produção e à quantidade de colunas de revestimento intermediárias para atingir a profundidade de projeto. A coluna de produção só pode ser inserida no poço, caso a broca usada no último trecho do poço seja ligeiramente menor que o diâmetro externo dos conectores da coluna de revestimento. A broca deve fornecer folga suficiente para formação de uma camada de fluido de perfuração na parede do furo e para acessórios da coluna de revestimento, como centralizadores e raspadores, determinando por consequência, o diâmetro mínimo da segunda coluna de revestimento mais profunda. Esta mesma lógica é utilizada para a escolha dos diâmetros da broca e das colunas de revestimento das seções do poço localizadas acima.

Na Figura 3 a seguir está apresentado um esquema de relacionamento entre os diâmetros de broca, furo e revestimento. As linhas contínuas indicam as brocas comumente usadas para aquele tamanho de tubo e podem ser consideradas como fornecendo folga adequada para instalar e cimentar a coluna de revestimento ou *liner*. As linhas tracejadas indicam diâmetros de furo menos comuns. A seleção de um desses caminhos tracejados requer atenção especial à conexão, densidade do fluido de perfuração, cimentação e à presença de curvas acentuadas (*doglegs*) no poço.

Figura 3 - Relação entre o diâmetro de broca, furo e revestimento



Fonte: Adaptado Heriot Watt University, 2005.

2.1.3.2 Cimentação

A partir do momento em que a coluna de revestimento é executada, é necessário que o espaço anular entre ela e a formação seja selada, a fim de que não haja a penetração de fluidos na formação. Esse selo é composto por uma pasta de cimento, água e aditivos, que é bombeada para dentro do poço partindo da superfície.

A cimentação contribui também para a sustentação do revestimento, em especial o de superfície, quando há o risco de flambagem devido à elevada compressão aplicada no topo da coluna devido ao peso da cabeça do poço e do BOP, bem como das forças transferidas pelo *riser* de perfuração em ambiente *offshore*. A cimentação constitui também, uma barreira protetora contra fluidos corrosivos advindos da formação, preservando a vida útil do sistema.

Segundo Henriot Watt University (2005), a cimentação pode ocorrer de forma primária ou secundária, como descrito a seguir:

a) Cimentação primária

O objetivo de uma operação de cimentação primária é posicionar a pasta de cimento no espaço anular atrás do revestimento. Na maioria dos casos, isso pode ser feito em uma única operação, bombeando o cimento pelo revestimento, através da sapata de revestimento e para cima no espaço anular. No entanto, em colunas de revestimento mais longas e, em particular, onde as formações são fracas e podem não ser capazes de suportar a pressão hidrostática gerada por uma longa coluna de pasta de cimento, a operação de cimentação pode ser realizada em duas etapas.

A primeira etapa é concluída sem que a pasta de cimento preencha todo o espaço anular, atingindo apenas uma altura previamente estabelecida acima da sapata de revestimento. A segunda etapa é realizada incluindo uma ferramenta especial na coluna de revestimento que pode ser aberta, permitindo que o cimento seja bombeado da coluna de revestimento e para o espaço anular. Ela é chamada de ferramenta de cimentação de múltiplas etapas e é colocada na coluna de revestimento no ponto em que o fundo da segunda etapa é necessário. Quando a pasta da segunda etapa está pronta para ser bombeada, a ferramenta de múltiplas etapas é aberta e a pasta é bombeada pela coluna de revestimento, através da ferramenta apropriada. Quando a quantidade necessária de pasta foi bombeada, a ferramenta de múltiplas etapas é fechada.

A altura da camada de cimento acima da sapata de revestimento no espaço anular depende dos objetivos específicos das operações de cimentação. No caso dos revestimentos condutor e de superfície, geralmente todo o espaço anular é cimentado para evitar que a coluna de revestimento sofra flambagem devido a cargas axiais muito altas geradas pelo peso da cabeça do poço e do BOP. No caso do revestimento intermediário e de produção, a parte superior da camada de cimento é geralmente selecionada para estar aproximadamente de 92m a 153m acima de qualquer formação que possa causar problemas no espaço anular da coluna de revestimento que está sendo cimentada. Por exemplo, formações que contenham gás que possa migrar para a superfície no espaço anular seriam cobertas pelo cimento.

b) Cimentação secundária

Este tipo de operação de cimentação pode precisar ser feito em uma fase posterior na vida do poço, geralmente em poços que estão produzindo há algum tempo. Elas fazem parte do trabalho de remediação no poço, como selar zonas produtoras de água ou reparar vazamentos na coluna de revestimento. Essas operações de cimentação são frequentemente chamadas de operações de cimentação *squeeze* porque envolvem a injeção de cimento através de furos ou perfurações na coluna de revestimento para o espaço anular e/ou para a formação.

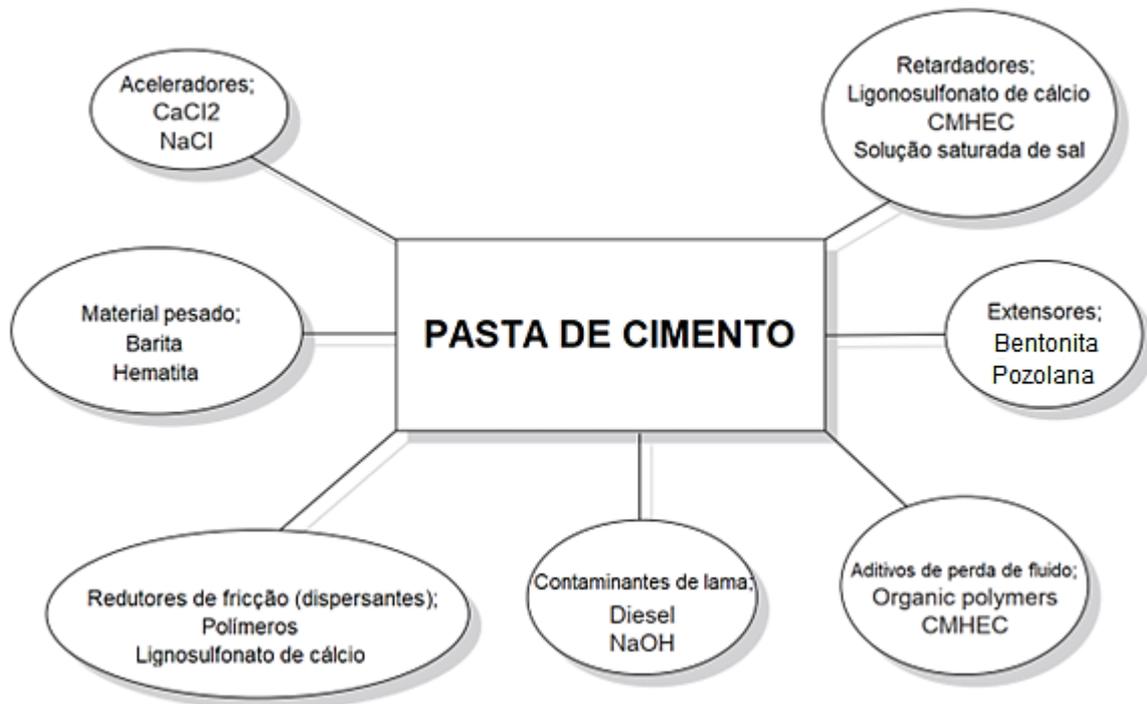
Um ponto importante da cimentação é a definição das características da pasta de cimento que será utilizada nas operações, que dependem do uso específico, bem como das condições de uso. A pasta é composta por cimento, água (doce ou salgada) e aditivos químicos. Na Tabela 4 a seguir estão apontados os tipos de composição de cimento estabelecidos pela *American Petroleum Institute* (API) para a cimentação de poços de petróleo. Na Figura 4 estão indicados os principais aditivos empregados na cimentação.

Tabela 4 - Classes de cimento API

Classe A	Uso da superfície a 6.000 ft (1830 m), quando propriedades especiais não são requeridas. Disponível apenas em tipo ordinário (similar ao ASTM C 150 Tipo I)
Classe B	Uso da superfície a 6.000 ft (1830 m), quando as condições exigem moderada a alta resistência a sulfato. Disponível em tipos de moderada (similar ao ASTM C 150 Tipo II) e alta resistência a sulfato.
Classe C	Uso da superfície a 6.000 ft (1830 m), quando as condições exigem alto esforço inicial. Disponível em tipos de moderada (similar ao ASTM C 150 Tipo III) e alta resistência a sulfato.
Classe D	Uso de 6.000 ft a 10.000 ft (1830 m a 3050 m) em condições de pressões e temperaturas moderadamente altas. Disponível em tipos de moderada ou alta resistência a sulfato.
Classe E	Uso de 10.000 ft a 14.000 ft (3050 m a 4270 m) em condições de altas temperaturas e pressões. Disponível em tipos de moderada ou alta resistência a sulfato.
Classe F	Uso de 10.000 ft a 16.000 ft (3050 m a 4880 m), sob condições de extremamente altas temperaturas e pressões. Disponível em tipos de moderada ou alta resistência a sulfato.
Classe G	Uso como cimento básico da superfície a 8.000 ft (2440 m) e pode ser usado com aceleradores e retardadores para cobrir uma grande variedade de profundidades e temperaturas. Nenhuma adição além de sulfato de cálcio e água deve ser misturada ao clínquer durante a manufatura do cimento classe H. Disponível em tipos de moderada ou alta resistência a sulfato.
Classe H	Uso como cimento básico da superfície a 8.000 ft (2440 m) e pode ser usado com aceleradores e retardadores para cobrir uma grande variedade de profundidades e temperaturas. Nenhuma adição além de sulfato de cálcio e água deve ser misturada ao clínquer durante a manufatura do cimento classe H. Disponível apenas em tipo de moderada resistência a sulfato.

Fonte: Adaptado de Bourgoyne et al., 1986.

Figura 4 - Principais aditivos do cimento



Fonte: Adaptado de Heriot Watt University, 2005.

2.1.4 Testes de poço

Silva (2017) afirma que a completação de um poço costuma ser mais cara que sua perfuração. Sendo assim, testes devem ser efetuados a fim de avaliar a viabilidade econômica desta operação seguinte à perfuração. Hyne (2001) descreve os diferentes tipos de testes realizados ao longo da vida útil do poço como:

2.1.4.1 Perfil litológico

O perfil litológico para a formação perfurada é desenvolvido a partir dos cascalhos retirados durante a perfuração. O fluido carrega pedaços de rocha até a superfície e esses são retirados e avaliados em intervalos de tempo definidos. Para que se forme um perfil adequado, leva-se em conta o tempo de locomoção do local de origem à superfície (*lag time*). De posse das informações, se constrói um documento que exhibe cada faixa específica de rocha esperada em cada camada do solo.

Outra maneira de se definir a litologia do subsolo é a testemunhagem, que, em vez de fragmentos carreados, retira pedaços reais da formação. Essa opção exhibe maior precisão, já que amostras de um local específico são adquiridas. Para isso, a coluna de perfuração precisa

ser retirada, de forma que uma broca especial seja instalada para retirar o testemunho (amostra cilíndrica de rocha. Uma alternativa interessante é a amostragem da parede lateral, que é mais barata que a técnica tradicional. Após a perfuração, a ferramenta é descida e as amostras das paredes laterais são coletadas nas profundidades de interesse. Esse método faz uso de explosivos que podem alterar as propriedades do testemunho a serem analisadas.

2.1.4.2 Perfil da taxa de penetração

A taxa de penetração (ROP) é o registro, normalmente em pés por minuto (ft/min), do comprimento perfurado por unidade de tempo ao longo da perfuração. Essa é afetada por parâmetros como rotação da broca (RPM), peso sobre a broca (WOB), vazão do fluido e tipo de broca, mas também pelas propriedades das rochas presentes. Se os parâmetros forem mantidos relativamente constantes, as rochas serão a principal causa de variação na taxa.

Uma mudança brusca na taxa de penetração é chamada de *drilling break* e é indicativa de possível mudança na litologia. Essa mudança é utilizada para a identificação do início e do fim de cada uma das camadas atingidas. Ainda se podem perceber diferenças de porosidade, já que regiões muito porosas apresentam menor densidade.

2.1.4.3 Perfil de fluido

Testes no fluido de perfuração são feitos em um caminhão de perfilagem. Petróleo e gás presentes no fluido são analisados e concentrações mais altas são detectadas para que análises químicas mais detalhadas sejam rodadas. Assim, se calculam porcentagens de hidrocarbonetos presentes e se comparam os resultados com os outros perfis.

2.1.4.4 Perfis a cabo

Na Tabela 5 a seguir estão indicados os principais perfis geofísicos a cabo corridos em poços de petróleo e suas respectivas aplicações.

Tabela 5 - Principais perfis a cabo

Perfil	Aplicação
Potencial Espontâneo	Identificar potenciais rochas reservatório.
Raios Gama	Medir radioatividade natural; Identificar potenciais rochas reservatório; Correlacionar formações; Determinar conteúdo de folhelho nas rochas.
Resistividade	Determinar presença de fluidos nas formações.
Laterolog	
Indução elétrica	
Neutrônico	Determinar porosidade das formações.
Densidade	Determinar densidade e porosidade das formações.
Sônico	Determinar tempos de trânsito das ondas S e P; Calcular porosidade; Determinar litologia.
Caliper	Medir diâmetro do poço.

Fonte: Adaptado de Hyne, 2001.

2.1.4.5 *Leak-off test*

Teste também conhecido como Teste de Absorção, é realizado a cada descida de revestimento. Após a cimentação, o poço é fechado e fluido é bombeado até atingir o limite suportado pela formação. Quando a formação começa a ser invadida, define-se a pressão máxima a que o poço pode ser submetido. Esse teste é utilizado para estimativa da tensão horizontal mínima e da pressão de fratura. Um fator de segurança é adotado e o peso do fluido aplicado na perfuração subsequente será ligeiramente abaixo do resultado do *Leak-off test* (SILVA, 2017).

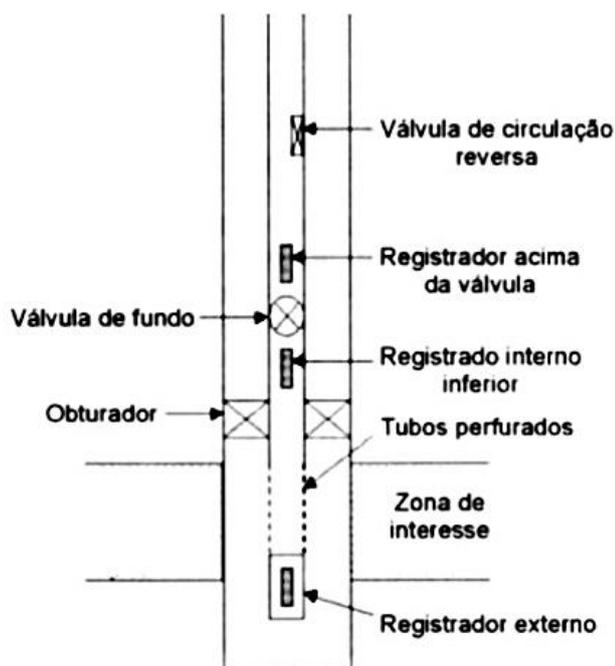
2.1.4.6 Teste de formação

O operador pode, a seu critério, optar por realizar testes de poço como parte da avaliação de um poço. O Teste de Formação é aquele realizado por tubulação com fluxo em superfície, excluindo-se, portanto, testes a cabo, mesmo que haja coleta de amostras em subsuperfície (ANP, 2020).

O teste de formação é feito com ferramentas que permitem uma completção temporária do poço. Na Figura 5 a seguir estão apontados os equipamentos que são descidos de forma a permitir a realização desse teste. A zona de interesse é isolada pelos obturadores (*packer*) que podem ocorrer apenas acima da zona de interesse ou acima e abaixo. Esses isolam o anular,

impedindo entrada do fluido de perfuração ou completação e permitindo o fluxo da formação ao interior da coluna (THOMAS, 2004).

Figura 5 - Coluna de testes



Fonte: Thomas, 2001.

No momento do teste, a válvula de fundo é aberta e, devido à diferença de pressão entre o reservatório e o poço, fluido invade a coluna e é produzido. A válvula é então fechada e aberta algumas vezes e as pressões durante cada operação são registradas. Assim, as informações da análise do fluido produzido e das variações de pressões são utilizadas para a definição do potencial produtivo daquela formação (THOMAS, 2004).

2.1.5 Problemas na perfuração

Segundo Azar e Samuel (2007), durante perfurações é quase certo o aparecimento de algum tipo de problema. As anomalias, como são chamados, decorrem principalmente da variabilidade geológica presente no subsolo marinho, que mesmo para dos poços construídos em uma mesma região, podem possuir comportamento estrutural distinto. O que dita o sucesso de uma intervenção, é a capacidade de seu planejamento antever os possíveis problemas. Nesse âmbito, a prevenção é uma opção mais segura e econômica em comparação com as possíveis contenções e remediações. As principais anomalias que podem ocorrer são:

2.1.5.1 Prisão de coluna de perfuração

Ocorre quando uma coluna de perfuração não pode ser removida do poço sem que o tubo e os equipamentos sejam danificados. Pode ocorrer devido à diferença de pressão do fluido de perfuração ou fatores mecânicos, como excesso de cascalhos no espaço anular e instabilidade do poço.

2.1.5.2 Perda de circulação

Fenômeno no qual o fluido de perfuração é perdido para a formação, total ou parcialmente. A perda ocorre geralmente ao perfurar zonas naturalmente fraturadas e muito permeáveis, podendo ocorrer também por conta de fraturas causadas por erros na perfuração, como excesso de pressão e profundidade incorreta de assentamento do revestimento intermediário.

2.1.5.3 Tortuosidade

Quando ocorre o distanciamento involuntário da broca de perfuração da trajetória estabelecida, seja em poços verticais ou direcionais, causando aumento de custos e problemas legais devido aos limites de perfuração permitidos. A causa principal é uma resultante de forças atuando na broca que causa a mudança de direção. Os mecanismos que causam o desvio de trajetória são diversos, geralmente relacionados à problemas no BHA, na interação entre broca e rocha, nas condições de operação da broca e no comportamento hidráulico do fluido de perfuração.

2.1.5.4 Falhas na tubulação

É quando a coluna de perfuração se danifica e perde sua capacidade de trabalho. As principais falhas são:

- a) Torção: causada por torque excessivo;
- b) Separação: causada por tração excessiva;
- c) Colapso: causada por pressão externa excessiva;
- d) Ruptura: causada por pressão interna excessiva;
- e) Fadiga: causada por carregamentos mecânicos atuando ciclicamente, com ou sem corrosão.

2.1.5.5 Instabilidade de poço

É a situação em que um intervalo aberto do poço não consegue manter sua integridade estrutural, muitas vezes mudando suas dimensões e formato. Pode ocorrer devido à fatores mecânicos, erosão e fatores químicos.

2.1.5.6 Contaminação de fluido de perfuração

Ocorre quando materiais indesejáveis adentram o sistema de fluido, causando mudanças nas propriedades do fluido de perfuração, como densidade, viscosidade e filtração. Pode acontecer devido ao excesso de aditivos no fluido, ou a entrada de sujeira no sistema.

2.1.5.7 Dano a formação

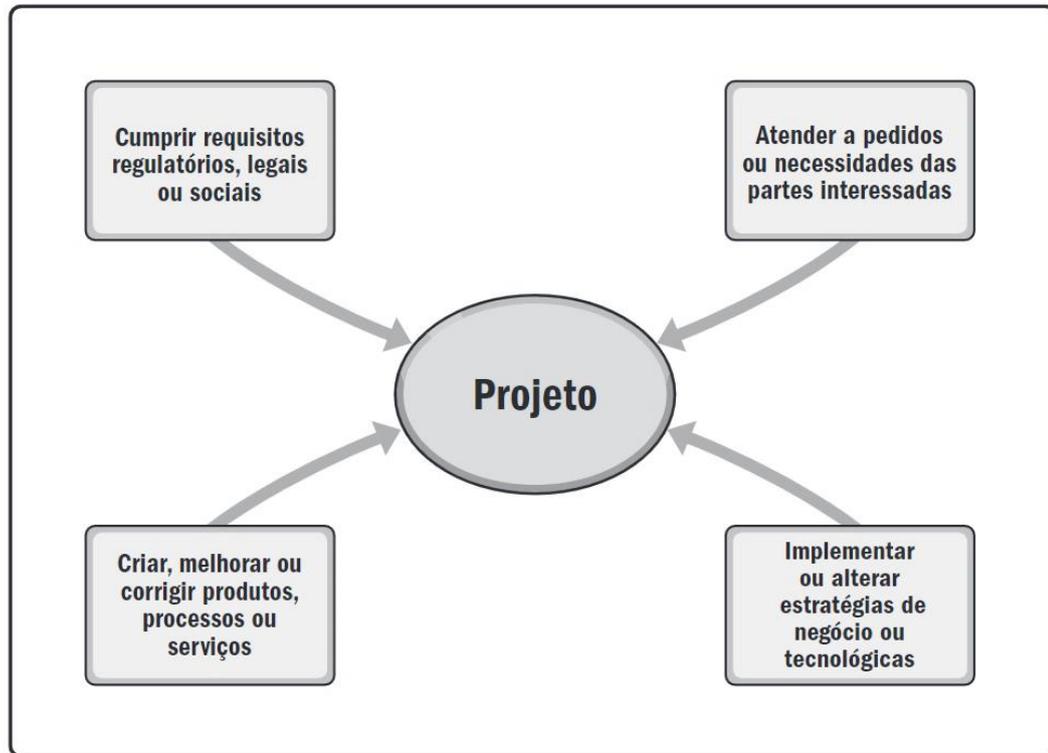
É o enfraquecimento de um reservatório, causado por fluidos usados nas operações de perfuração, completação e *workover*. Os fluidos adentram o reservatório, diminuindo sua permeabilidade e prejudicando sua capacidade de produção.

Após discorrer sobre os aspectos técnicos da perfuração de petróleo, partimos para o que tange a gestão de empreendimentos aplicada no contexto estudado.

2.2 Gestão de empreendimentos

De acordo com PMI (2017), um projeto ou empreendimento é o esforço que é empregado temporariamente a fim de se atingir um objetivo específico, podendo ser ele um produto, serviço ou resultado único. Seu surgimento vem como resposta a fatores que afetem as organizações, fatores esses que podem ser demandas legais, demandas de mercado, avanços tecnológicos ou correções e melhorias de produtos. Sua duração dependerá de quando ocorrerá seu fim, estando atrelado aos cenários onde os objetivos são atingidos, não há possibilidade de atingir os objetivos, ou quando cessa a necessidade do projeto. Na Figura 6 a seguir estão ilustrados os fatores envolvidos na iniciação de um projeto.

Figura 6 - Contexto de iniciação de projetos



Fonte: PMI, 2017.

Segundo Camargo (2014), a fase de iniciação do projeto começa quando o projeto é selecionado pela empresa, sendo então feito um estudo de viabilidade, com o intuito de verificar se o empreendimento está alinhado com o plano de negócios da organização. Esse processo dá origem ao Termo de Abertura, um documento de extrema importância, que formalmente autoriza o início dos trabalhos no projeto, bem como registra as primeiras informações e necessidades do empreendimento. Após a aprovação do Termo de Abertura, o projeto está pronto para ser planejado.

PMI (2017) comenta que no ambiente de negócio dinâmico atual, onde as mudanças ocorrem em ritmo acelerado, objetivando manter-se competitivas, as organizações precisam lidar com orçamentos cada vez mais apertados, prazos mais curtos, recursos mais escassos e a tecnologia que muda continuamente. Assim, o uso de técnicas, ferramentas e processos de gerenciamento de projetos fornece uma base sólida para as organizações atingirem suas metas e objetivos. Um dos pontos chave do gerenciamento é o equilíbrio de restrições do projeto, que incluem, mas não se limitam ao escopo, cronograma, custo, qualidade, recursos e risco. Cada projeto terá suas circunstâncias próprias, acarretando diferenças na implementação de processos gerenciais e priorização de restrições.

O gerenciamento pode ser dividido em diversas partes, ou etapas, onde cada aspecto do projeto é planejado de forma que possa ser verificado continuamente durante todo seu ciclo de vida. Esses aspectos estão relacionados com as restrições do projeto, e serão exploradas a seguir no texto.

2.2.1 Gestão de escopo

Segundo definição de Camargo (2014): “Escopo é o que o projeto se propõe a fazer para garantir que todo o trabalho, e somente esse trabalho, seja realizado no projeto”. Assim, o planejamento do escopo tem influência vital sobre os demais aspectos do projeto, visto que define tudo que faz ou não parte do empreendimento.

2.2.1.1 Definição do escopo

É a primeira etapa de seu planejamento, onde são definidos diversos aspectos, como a descrição do projeto, seus objetivos, sua justificativa, a equipe responsável, suas restrições, premissas, fatores de sucesso, entregas, valor alocado e critérios de aceitação. Essa etapa tem como principal objetivo, alinhar as opiniões e expectativas entre todas as partes interessadas no empreendimento, facilitando assim o andamento dos processos.

2.2.1.2 Definição de requisitos

É a etapa seguinte, e nela são explicitadas todas as condições impostas pelas partes interessadas, que devem ser respeitadas para que se obtenha o sucesso no empreendimento. Sua documentação é de extrema importância, visto que se algum quesito não for levado em conta desde o início, pode gerar retrabalhos e prejuízos futuros com a necessidade de uma ampliação posterior do escopo. Os requisitos se tornam a base para a elaboração da EAP, definida a seguir.

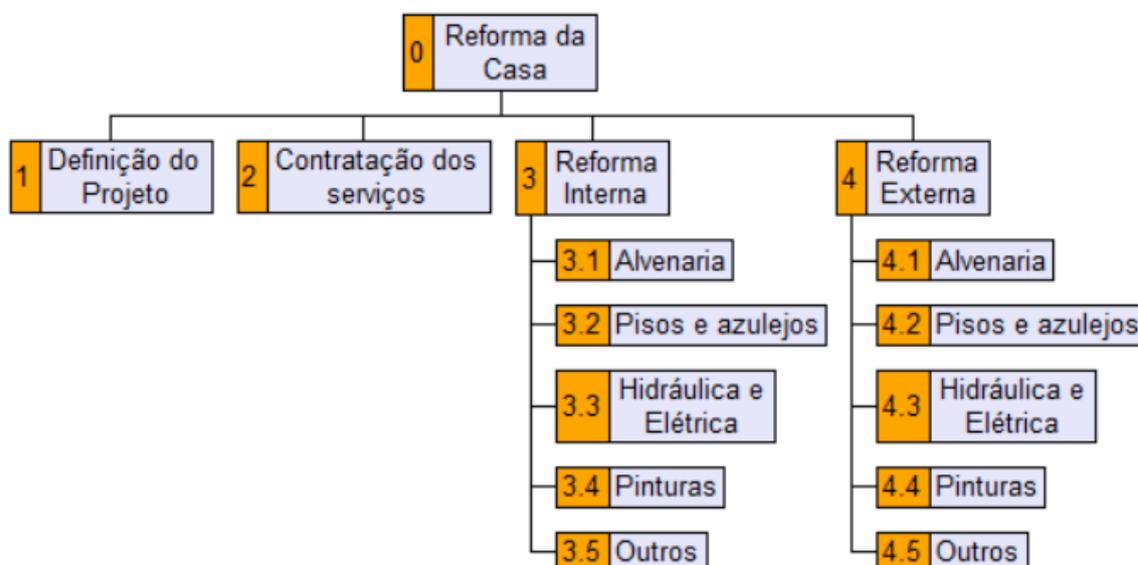
2.2.1.3 Definição da EAP

A criação de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), do original *Work Breakdown Structure* (WBS) é, segundo definição de (PMI, 2017), “[...] o processo de decompor as entregas e o trabalho do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis”.

Camargo (2014) comenta que o processo de decomposição se inicia com uma divisão macro de componentes, fases e entregas principais do trabalho. Logo após, esses itens são divididos mais ainda, resultando em entregar menores e pacotes de trabalho. De acordo com

Larson e Gray (2016), os pacotes de trabalho são tarefas de curta duração com início e fim bem definidos, que consomem recursos e geram custos, sendo assim, o mais baixo nível a aparecer na EAP. Na Figura 7 a seguir está ilustrado um exemplo de EAP da reforma de uma casa.

Figura 7 - EAP da reforma de uma casa



Fonte: Montes, 2023.

2.2.2 Gestão do cronograma

Segundo PMI (2017), o cronograma do projeto é um documento que fornece diretrizes sobre como e quando serão entregues seus resultados, atrelados ao seu escopo, bem como serve de ferramenta de comunicação e controle de expectativas entre as partes interessadas, servindo de base ainda para avaliação de desempenho.

Ainda de acordo com PMI (2017), o desenvolvimento do cronograma é um processo que consiste em fazer uma análise da sequenciação das atividades, suas durações, seus requisitos de recursos e restrições, com o propósito de estabelecer um modelo de cronograma para execução, monitoramento e controle do projeto.

2.2.2.1 Definição de atividades

As atividades, também podendo ser chamadas de tarefas, a serem realizadas são definidas de modo a englobar todo os processos necessários para a entrega de cada pacote de trabalho. Esta etapa requer atenção especial, pois atividades que não forem identificadas inicialmente,

não integrarão posteriormente o cronograma, causando divergências entre o planejamento e a execução que resultarão em prejuízo para o empreendimento.

2.2.2.2 Estimativa de durações

Após a definição e a sequenciação, se inicia a determinação da duração que as atividades irão possuir, essa determinação pode acontecer de forma paramétrica ou probabilística, ambas descritas a seguir.

a) Determinação paramétrica

O método paramétrico requer a elaboração das composições de custos unitários, que são tabelas contendo todos os insumos (mão de obra, materiais e equipamentos) necessários para a realização de cada atividade. A cada insumo, é atribuído um índice (ou coeficiente), que representa sua incidência por unidade de serviço, calculado com base em experiência de execuções anteriores. Para cada insumo é atribuído, ainda, seu valor de custo unitário, com base em valores reais de mercado, o que permite calcular outras informações como o custo total da atividade.

No cálculo da duração total da atividade, no entanto, a informação necessária é o índice do insumo tido como principal, ou seja, aquele que limitará a duração da atividade. De modo análogo, é possível eleger insumos principais a atividades tipicamente desenvolvidas na exploração e produção de petróleo e gás natural, como por exemplo a utilização da broca em atividades de perfuração de poço. Através do índice médio de produtividade da broca e da profundidade total de perfuração, pode-se estimar a duração da atividade.

b) Determinação probabilística

O método probabilístico envolve a utilização de ferramentas estatísticas no cálculo da duração das atividades. Há um grande leque dessas ferramentas disponíveis na literatura, no entanto apenas algumas delas são tipicamente utilizadas no planejamento da execução de projetos, devido à praticidade de uso ou da verossimilhança com os resultados reais coletados.

Da mesma forma que na estimativa paramétrica, a estimativa probabilística será fortemente influenciada por dados obtidos de execuções passadas, mas, devido à utilização da estatística na obtenção de resultados, tem uma menor participação da experiência do usuário. Esta experiência, no entanto, ainda estará presente em diversas etapas, como na definição dos

parâmetros O (duração otimista), P (duração pessimista) e M (duração mais provável) em situações em que os dados não sejam abundantes, no tratamento dado a *outliers*, e na utilização das durações obtidas por estimativa probabilística.

Na estimativa probabilística é possível usar diversas ferramentas, sendo a principal e mais conhecida a Técnica de Revisão e Avaliação de Programas ou *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). PMI (2017) define a estimativa de três pontos, que se baseia no PERT, como sendo um dos métodos clássicos mais conhecidos e utilizado atualmente. Este método utiliza a ideia de três possíveis durações: a otimista, a pessimista e a mais provável. Com essas possibilidades de duração é possível gerar parâmetros estatísticos para avaliar o quão confiável é o prazo total calculado para o projeto.

Na definição de durações das atividades, o método PERT se baseia na distribuição PERT, que é uma família de distribuições de probabilidade contínuas transformada a partir da distribuição Beta. A distribuição PERT é representada pela função abaixo, com os parâmetros O, P, M, α e β :

$$f(x) = \frac{(x - O)^{\alpha-1}(P - x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)(P - O)^{\alpha+\beta-1}} \quad (1)$$

Onde:

$$\alpha = 6 \left(\frac{E - O}{P - O} \right),$$

$$\beta = \left(\frac{P - E}{P - O} \right),$$

$B(\alpha, \beta)$ é a função Beta

Nesta distribuição, a duração de atividade esperada (E) é calculada a partir das durações otimista (O), pessimista (P) e mais provável (M) de acordo com a relação:

$$E = \frac{O + 4M + P}{6} \quad (2)$$

A duração otimista (O) é a menos provável de ocorrer, pois se refere ao melhor cenário possível, onde tudo ocorre conforme o planejado. A duração pessimista (P) também é pouco provável de se concretizar, pois refere-se ao pior cenário possível. Já a duração mais provável

(M) é a que possui a maior probabilidade de ocorrência no mundo real, pois é a que mais faz sentido com base em experiências passadas, possuindo um peso maior no cálculo da duração esperada. A variância desta distribuição pode ser calculada através da relação:

$$V = \frac{(E - O)(P - E)}{7} \quad (3)$$

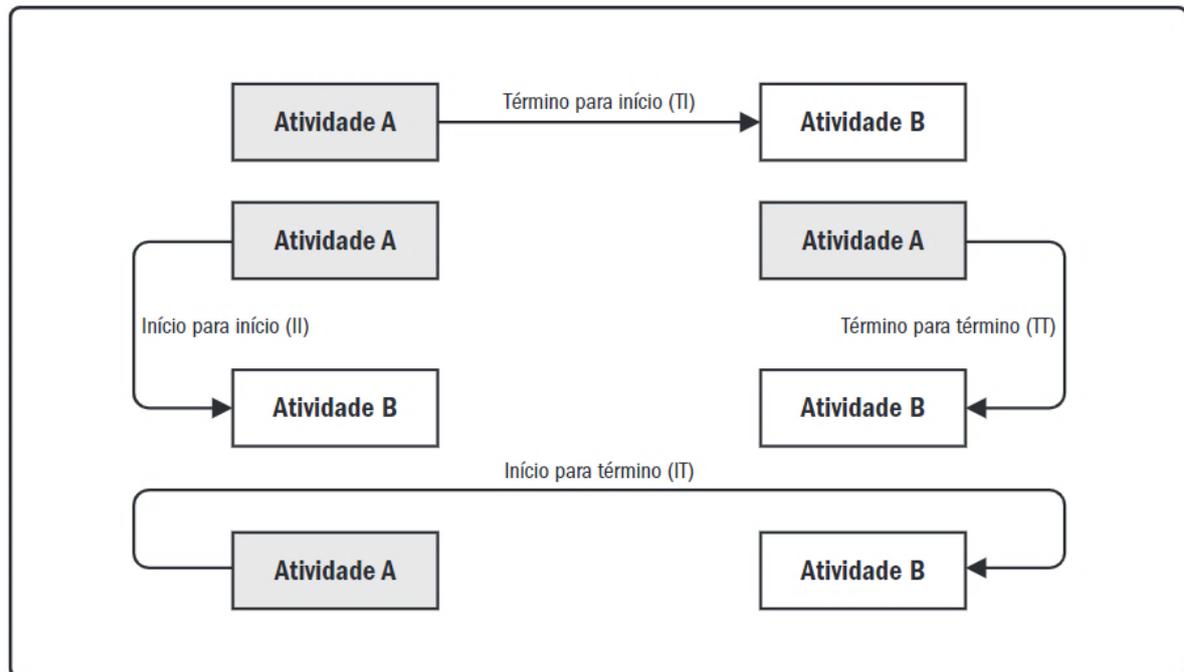
2.2.2.3 Sequenciação de atividades

Após a decomposição do escopo do projeto em atividades e determinação de suas durações, é necessário estabelecer um sequenciamento lógico entre elas, ao qual se dá o nome de precedência. É nesta etapa que se define a sequência de execução do cronograma e a relação de dependência entre as atividades que o compõem.

De acordo com PMI (2017), um dos métodos de sequenciação de atividades mais conhecidos e utilizados é o Método do Diagrama de Precedência (MDP), nele as atividades são representadas por nós e ligadas graficamente de modo lógico, a fim de mostrar a sequência de execução das atividades. Existem quatro tipos de relacionamentos ou dependências, eles estão definidos abaixo e ilustrados a seguir na Figura 8:

- a) Término – início (TI): É o tipo de dependência mais utilizado, que ocorre quando a atividade sucessora só pode ser iniciada mediante a finalização de sua predecessora;
- b) Início – término (IT): É o tipo de dependência onde a atividade sucessora só pode terminar mediante o início da atividade predecessora;
- c) Início – início (II): É a dependência em que uma atividade sucessora não pode ser iniciada até que uma atividade predecessora tenha sido iniciada;
- d) Término – término (TT): É a dependência em que uma atividade sucessora não pode ser terminada até que uma atividade predecessora tenha sido iniciada.

Figura 8 - Tipos de dependência no Método do Diagrama de Precedência (MDP)



Fonte: PMI, 2017.

A partir da definição da precedência, inicia-se o processo de elaboração da rede do projeto. Larson e Gray (2016) comentam que a rede do projeto é uma ferramenta que serve para planejar, programar e monitorar o progresso do projeto. Ela tem o formato de um fluxograma, que pode ilustrando as atividades que precisam ser concluídas, as sequências lógicas, as dependências e as durações das atividades. A partir dele, pode-se partir para definições sobre o cronograma, a depender da filosofia adotada para sua elaboração.

Após a definição das durações e das relações de dependência entre as atividades, é o momento de se determinar o prazo do projeto, ou seja, a duração total da intervenção. Com a montagem do diagrama de rede, é possível calcular os tempos de início mais cedo e mais tarde de cada atividade, ou evento, caso se utilize o diagrama de flechas.

a) Tempo mais cedo de um evento

É a primeira data em que ele pode ser alcançado. Um evento só pode ser considerado atingido quando todas as atividades que chegam nele tiverem sido completadas. Dessa forma, o tempo mais cedo de cada evento é o maior valor de duração entre as atividades que chegam nele, obtida através da soma da duração da própria atividade com o tempo do evento da qual a atividade se origina.

$$Tc = \max(Tc_{evento\ predecessor} + Duração_{atividade\ predecessora}) \quad (4)$$

b) Tempo mais tarde de um evento

É o tempo mais tarde que um evento pode ter sem atrasar o projeto como um todo. Algumas atividades possuem folgas, dessa forma é possível que exista uma flexibilidade nas durações em alguns pontos da rede montada. Para calcular o tempo mais tarde do evento, a conta é feita de trás para frente, do fim para o começo da rede. Começamos, portanto, do evento finalíssimo e procedemos em ordem reversa, daí o nome passada reversa (ou *bakward pass*), que consiste em começar as contas pelo último evento e ir subtraindo as durações das atividades até chegar ao evento inicial da rede. O tempo mais tarde de um evento é o mínimo valor obtido da subtração da duração das atividades que saem dele, do tempo tarde dos eventos a que elas se destinam.

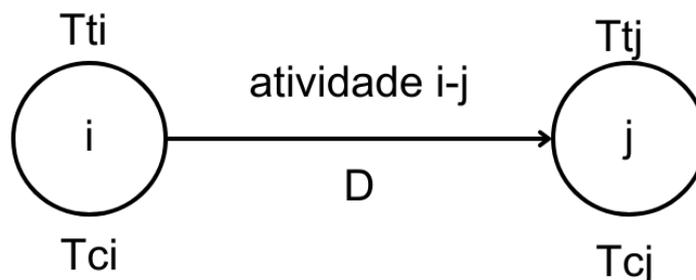
$$Tt_{final} = Tc_{final} \quad (5)$$

$$Tt = \min(Tt_{evento\ sucessor} + Duração_{atividade\ sucessora}) \quad (6)$$

c) Folga total

É a margem de tempo que garante a flexibilidade de atividades não críticas. No diagrama de flechas, toda atividade i-j de duração D está limitada entre dois eventos i e j, cada um deles com seu tempo mais cedo (Tc) e mais tarde (Tt). Na Figura 9 a seguir está ilustrada essa relação.

Figura 9 - Elementos característicos de uma atividade



Fonte: Adaptado de MATTOS, 2010.

Se a atividade for realizada na primeira chance, a folga fica armazenada após a atividade, representando uma margem de manobra. Se a atividade for realizada na última chance, a folga fica alocada antes da atividade e será consumida integralmente antes de sua execução. Qualquer situação intermediária entre a primeira e a última chance de ocorrência é admissível, contanto

que a atividade transcorra no intervalo de seu tempo disponível. Por opção da equipe executora da obra, a atividade pode até ser esticada em sua duração, porém dentro do tempo disponível. Desse modo, a folga total de uma atividade fica definida como:

$$Ft = Tt_j - Tc_i \quad (7)$$

d) Evento crítico

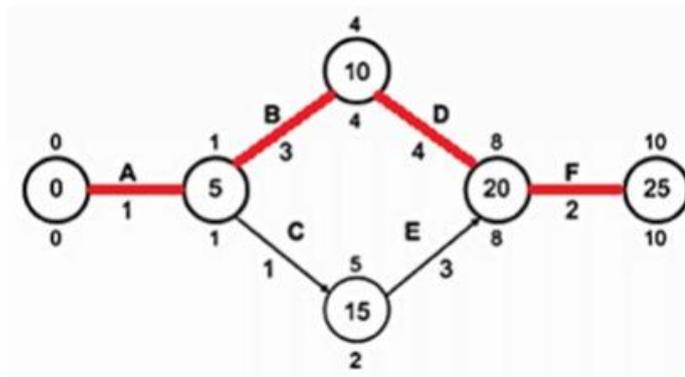
Os eventos cujos tempos mais cedo e mais tarde são idênticos são chamados de eventos críticos. A sequência de atividades que unem os eventos críticos é aquela que define o prazo total do projeto. A essas atividades se dá o nome de atividades críticas e o caminho que as une constitui o caminho crítico.

e) Método do caminho crítico (CPM)

O *Critic Path Method* (CPM) consiste basicamente em identificar (e dar atenção especial) à série de atividades que não tem folga ou flutuação em um cronograma de projeto. Esta técnica se tornou amplamente adotado quando os softwares de cronograma o incluíram como outro atributo do gráfico de Gantt (BALLESTEROS-PÉREZ et al., 2017).

Mattos (2019) define o caminho crítico, propriamente dito, como sendo a sequência de atividades que define a duração total. Além disso, é também aquele em que os Tempos Mais Cedo e Mais Tarde são iguais, não havendo folga, o que faz com que um atraso nesse ponto se reflète como um atraso no projeto como um todo. Na Figura 10 a seguir está mostrado um exemplo de caminho crítico em um diagrama de flechas.

Figura 10 - Diagrama de rede, com caminho crítico marcado em vermelho



Fonte: Adaptado de MATTOS, 2010.

Ainda de acordo com Mattos (2019), para uma boa aplicação do CPM é necessário que o diagrama de rede esteja montado, que nada mais é do que uma representação gráfica da lógica de execução do projeto. Ele possibilita uma melhor leitura e interpretação do projeto como um fluxo de trabalho. Permite também a visualização clara do inter-relacionamento entre as atividades e serve de matriz para o cálculo do caminho crítico e das folgas pela técnica PERT/CPM. Adicionalmente, o diagrama é a ferramenta típica para a análise de alternativas e o estudo de simulações, necessidades bastante comuns nas empresas.

No contexto da exploração de petróleo, faz-se necessária a apropriação dos termos anomalia e contingência, dando a eles significados atrelados ao cenário em questão. A anomalia passa a ser definida como uma tarefa que ocorre de forma abrupta e não planejada, de forma a representar um problema nas operações que altera a duração das operações. Já a contingência pode ser definida como uma tarefa planejada, que tem uma probabilidade de ocorrer ou não, porém, com sua provável duração levada em conta no planejamento, não alterando a duração das operações.

Nas intervenções o caminho crítico é facilmente identificável, consistindo em todas as tarefas do cronograma que não são do tipo paralela. A duração total da intervenção é a soma da duração de todas as tarefas não paralelas que foram executadas. No entanto, na fase de planejamento, se faz o uso dos conceitos de tempo mais cedo, tempo mais tarde e folga, traduzindo-se nos seguintes parâmetros de planejamento descritos a seguir:

a) IMC (Início mais cedo)

Tempo previsto mais cedo para o início de cada tarefa e seus agrupadores, calculado em função da data de início da intervenção ou do término mais cedo da tarefa antecessora, desconsiderando a folga, as tarefas do tipo contingência ainda não executadas e as tarefas do tipo paralela;

b) TMC (Término mais cedo)

Tempo previsto mais cedo para o término de cada tarefa e seus agrupadores, calculado em função da data de início da intervenção ou do término mais cedo da tarefa antecessora, somado à duração da própria tarefa (prevista ou real, caso exista) desconsiderando a folga, as tarefas do tipo contingência ainda não executadas e as tarefas do tipo paralela;

c) IMT (Início mais tarde)

Tempo previsto mais tarde para o início de cada tarefa e seus agrupadores, calculado em função da data de início da intervenção ou do término mais tarde da tarefa antecessora, incluindo as tarefas antecessoras do tipo contingência, mas desconsiderando as tarefas do tipo paralela. o percentual de folga é atribuído às tarefas antecessoras ainda não executadas;

d) TMT (Término mais tarde)

Tempo previsto mais tarde para o término de cada tarefa e seus agrupadores, calculado em função da data de início da intervenção ou do término mais tarde da tarefa antecessora, incluindo as tarefas antecessoras do tipo contingência, bem como da própria duração da tarefa (prevista ou real, caso exista), mas desconsiderando as tarefas do tipo paralela. o percentual de folga é acrescido à própria tarefa, bem como às tarefas antecessoras (incluindo as do tipo contingente), caso ainda não tenham sido executadas;

e) DMC (Data mais cedo):

Equivale ao TMC da última tarefa do cronograma e representa uma projeção otimista de término da intervenção;

f) DMT (Data mais tarde):

Equivale ao TMT da última tarefa do cronograma e representa uma projeção pessimista de término da intervenção.

2.2.2.4 Montagem do cronograma

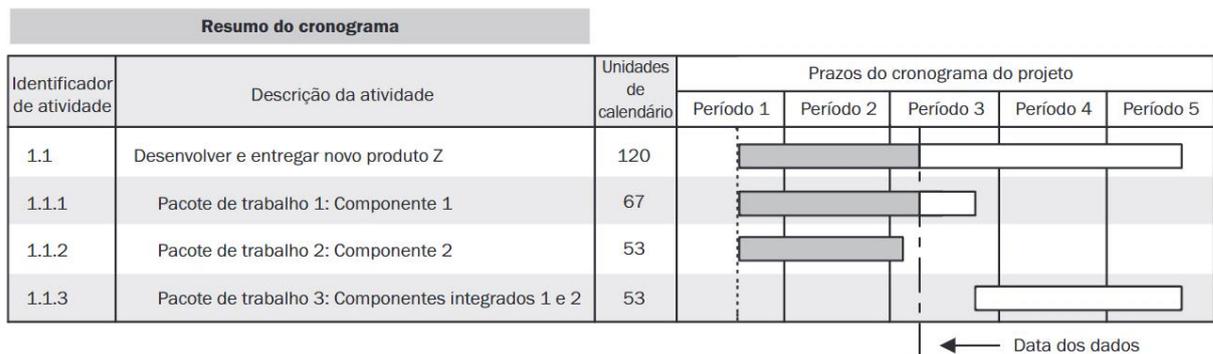
De acordo com PMI (2017), o cronograma do projeto é um modelo que apresenta a conexão entre as atividades com datas, durações, marcos e recursos planejados. Nele, para cada atividade, estão incluídas ao menos uma data de início e de término planejadas, que após a alocação de recursos, poderão sofrer alterações, tendo inicialmente caráter preliminar.

PMI (2017) ainda comenta que o cronograma pode ser apresentado de diversas formas, seja de forma resumida onde são apresentados os marcos, ou de forma detalhada. As representações mais utilizadas são as gráficas, optando-se por um ou mais dos seguintes formatos:

a) Gráficos de barras

Também conhecidos como gráficos de Gantt, esses gráficos representam as informações do cronograma em que as atividades são listadas no eixo vertical, as datas são mostradas no eixo horizontal, e as durações das atividades aparecem como barras horizontais posicionadas de acordo com as datas de início e término. Na Figura 11 a seguir está ilustrado esse tipo de representação gráfica.

Figura 11 - Gráfico de Gantt em barras

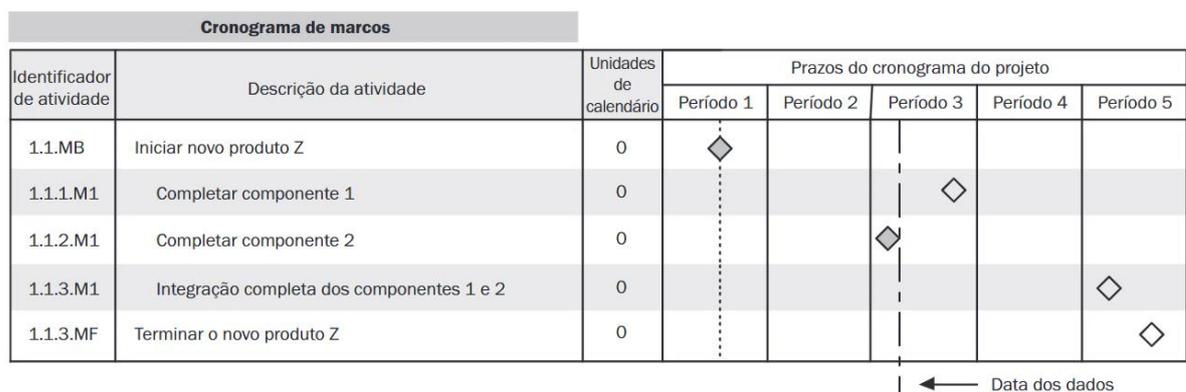


Fonte: Adaptado de PMI, 2017.

b) Gráficos de barras

Esses gráficos assemelham-se aos gráficos de barras, porém identificam somente o início ou término agendado para as entregas mais importantes e interfaces externas chaves. Na Figura 12 a seguir está ilustrado esse tipo de representação gráfica.

Figura 12 - Gráfico de Gantt com marcos

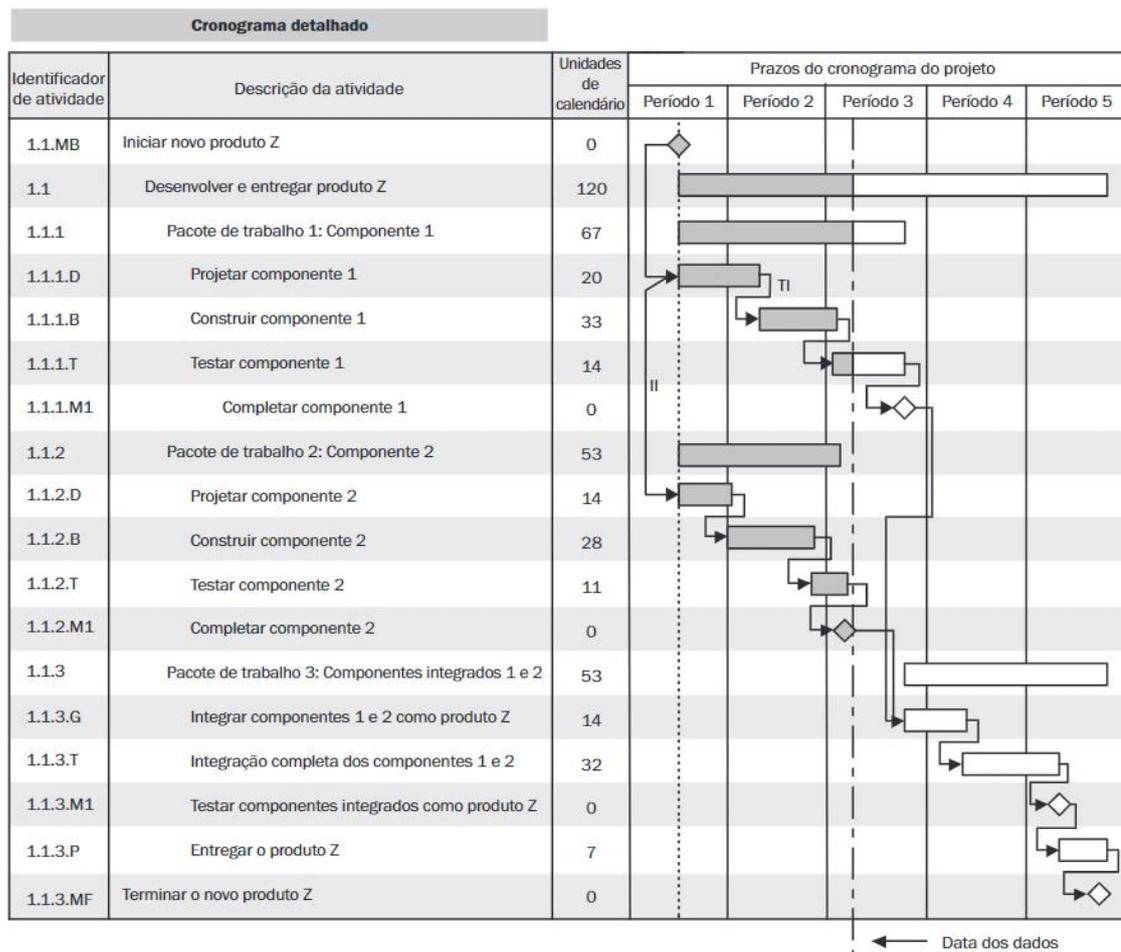


Fonte: Adaptado de PMI, 2017.

c) Diagramas de rede do cronograma do projeto

Esses diagramas são geralmente apresentados no formato de diagrama de atividade no nó mostrando atividades e relações com ou sem uma escala de tempo. Esses diagramas, com informações sobre as datas das atividades, normalmente mostram tanto a lógica de rede do projeto como suas atividades de caminho crítico do cronograma. Na Figura 13 a seguir está ilustrado um exemplo de representação gráfica de cronograma.

Figura 13 - Gráfico de Gantt detalhado



Fonte: Adaptado de PMI, 2017.

2.3 Sequência operacional da estrutura de poços: estudos recentes

A maior parte dos trabalhos sobre planejamento das operações de exploração de petróleo, focam principalmente na utilização de uma combinação de implementação computacional e estatística para elaboração de estimativas de duração de atividades, o que pode ser observado em Kaiser (2019), Sotomayor (2011) e Wang et al (2019). Algumas abordagens diferentes foram adotadas por Vasconcellos e Moreira Filho (2006), que estudaram o uso da restrição de

recursos na resolução de problemas no planejamento; e Moreira et al (2010), que fez uma análise de alocação de tempo em um projeto de poço de petróleo.

No que tange a sequência operacional de fato, Guimarães (2011) desenvolveu uma abordagem probabilística baseada no método de Monte Carlo para a estimativa de tempos de perfuração, elaborando também uma sequência padronizadas de operações, divididas em fases, baseada no poço do campo estudado por ele. Já Silva (2023) propôs uma prática de gestão sobre o ciclo de vida de um poço de petróleo e gás, com foco nos aspectos referentes a garantia da integridade do poço, elaborando também uma sequência operacional para uma operação de completação, focando nas atividades específicas à segurança operacional e integridade do poço. Carboognin (2017) propõe a criação de uma metodologia de verificação do planejamento da sequência operacional de completação, buscando direcionar a atenção do projetista para os riscos operacionais, baseando-se na análise de dimensões referentes a segurança operacional, condição de limpeza de poço e compatibilidade dos equipamentos com a condição do poço.

Na Tabela 6 a seguir está apresentada uma síntese dos trabalhos estudados.

Tabela 6 - Síntese dos trabalhos estudados

Ano	Abordagem	Autor
2006	Foco em desenvolver um algoritmo genético para a resolução de um problema real de scheduling com restrições de precedência e de recursos, a serem executadas em um conjunto de 33 poços de petróleo, de um mesmo campo, desde a perfuração até a sua finalização, de forma que os poços entrem em produção no menor tempo possível.	VASCONCELLOS, R.V. J. C.; FERREIRA FILHO, V. J. M.
2009	Foco em desenvolver o arcabouço conceitual para modelar o tempo e o custo de perfuração de um poço offshore e ilustrar a metodologia em um conjunto de testes de poços no Golfo do México.	KAISER, M. J.
2010	Foco no gerenciamento de tempo em um projeto de petróleo, com o intuito de analisar o cronograma de atividades de acordo com a ferramenta de tempo, o Gráfico de Gantt, no software MS Project 2003.	MOREIRA et al
2011	Foco em desenvolver uma abordagem probabilística para realizar estimativas do tempo para perfuração de poços de petróleo utilizando-se o método de Monte Carlo.	GUIMARÃES, B. R.
2011	Foco em apresentar uma metodologia que combina diferentes tipos de incertezas na previsão de tempo de perfuração em poços complexos e compara os resultados do enfoque probabilístico, largamente usado pela indústria, com uma abordagem híbrida, isto é, uma abordagem probabilística-possibilística, para o tratamento das incertezas na estimativa do tempo de perfuração, a partir de uma base de dados de campo marítimo em águas profundas.	SOTOMAYOR, G. P. G.
2017	Foco em criar uma metodologia de verificação do planejamento da sequência operacional. Esta proposta permite verificar o planejamento, tornando-o mais seguro ao atentar o projetista quanto aos possíveis riscos operacionais durante sua elaboração. As dimensões analisadas neste trabalho são: segurança operacional, condição de limpeza do poço e compatibilidade dos equipamentos com a condição do poço.	CARBOGNIN, B.
2019	Foco em apresentar um modelo de programação linear mista de inteiros (MILP) para facilitar a comparação e seleção de cenários na fase de projeto para o desenvolvimento sustentável de campos de petróleo offshore.	Wang et al
2023	Foco em propor uma prática de gestão sobre o ciclo de vida de um poço de petróleo e gás e os aspectos referentes a garantia da integridade do poço durante sua fase de operação.	SILVA, A. S.

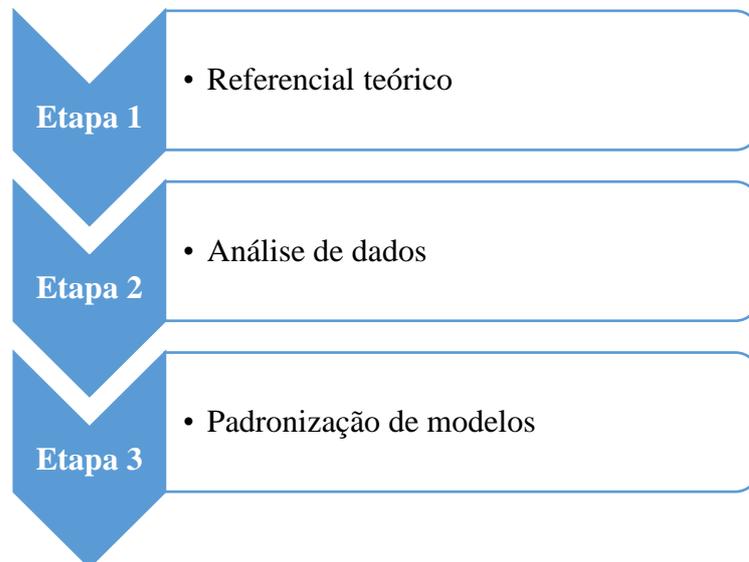
Fonte: Autor, 2023.

É notável a falta de trabalhos publicados tendo como tema a sequência operacional; raros, são os que dão ênfase à sequência operacional de construção da estrutura do poço, componente extremamente complexo e crucial para as operações. Neste contexto, a criação de modelos para a sequência operacional da estrutura de poço surge como uma promissora metodologia de trabalho, visto que, partindo de uma sequência padrão, o projetista pode adaptá-la conforme as particularidades do poço que esteja projetando no momento, poupando tempo de pesquisa e aumentando a previsibilidade das operações.

3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, uma metodologia em três etapas foi estabelecida. A primeira etapa consiste em uma revisão bibliográfica sobre estrutura de poços *offshore* e gestão de empreendimentos, a segunda etapa compreende a análise de dados dos cronogramas em estudo, e a terceira fase trata da padronização dos modelos de sequência operacional propostos. Na Figura 14 a seguir está ilustrado o processo, e as etapas citadas são descritas em detalhes nos tópicos a seguir.

Figura 14 - Etapas do trabalho



Fonte: Autor (2023).

3.1 Etapa 1

Foi realizada uma revisão bibliográfica acerca da estrutura de poços de petróleo *offshore*, bem como de técnicas de planejamento. O estudo da estrutura do poço proporcionou o entendimento do processo necessário para a perfuração de um poço *offshore*, bem como, de que forma sua estrutura é composta e as ações necessárias para sua construção. Os dados utilizados no estudo consistem em cronogramas de poços executados, assim, para analisá-los devidamente, surgiu a necessidade do estudo da gestão de empreendimentos neste âmbito. Assim, estabeleceu-se o arcabouço teórico necessário para a análise da execução da estrutura de um poço *offshore* como um processo construtivo, representado por seu cronograma.

3.2 Etapa 2

3.2.1 Caracterização de dados

Os dados em estudo foram obtidos em um banco de dados de cronograma de poços *offshore* já executados, disponibilizados por uma empresa petrolífera, que conta com 107 poços localizados em 20 diferentes campos na costa brasileira, com diferentes porcentagens de conclusão. As intervenções *offshore* registradas foram classificadas como perfuração, completação e *workover*.

O estudo teve como foco os cronogramas de perfuração, devido ao fato dessa intervenção ser a mais complexa e custosa entre as três, e concentrar as atividades relacionadas a construção da estrutura do poço de fato. Assim, uma filtragem foi feita utilizando como critérios a porcentagem de conclusão das operações acima de 89% e o tipo de intervenção como perfuração, chegando-se a um grupo de 21 cronogramas.

3.2.2 Aquisição de dados

Visando uma melhor visualização e análise dos dados em estudo, optou-se pela adoção de planilhas eletrônicas no formato .XLSX. Todavia, a versão utilizada do banco de dados apenas exporta os cronogramas no formato .PDF, o que fez surgir a necessidade de uma conversão que mantivesse a fidelidade das informações de origem.

Assim, os arquivos de origem foram utilizados como *input* nas planilhas eletrônicas, e para que se mantivesse a forma e o esquema de cores original, foi elaborado um algoritmo de formatação condicional. Os cronogramas foram agrupados conforme seus campos de origem, formando o banco de dados de estudo. Na Figura 15 a seguir está esquematizado o processo de aquisição de dados em estudo.

Figura 15 - Processo de aquisição dos dados em estudo



Fonte: Autor (2023).

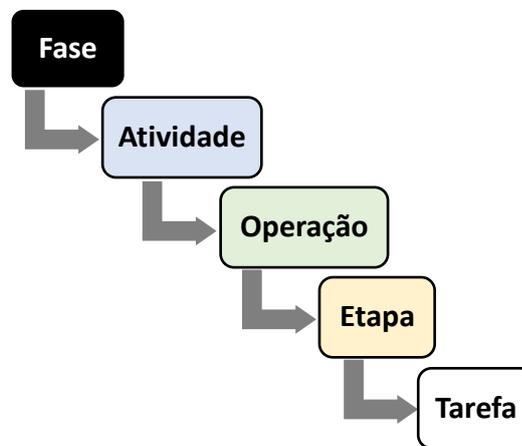
3.2.3 Categorização

Com o banco de dados de estudo estabelecido, foi necessário categorizar os tipos de poços, a fim de poder realizar as análises de forma mais coerente possível, considerando as diferenças entre cada tipo. Assim, os cronogramas foram agrupados em 10 poços de produção, 9 poços de injeção e 2 poços especiais.

3.2.4 Análise

A EAP dos cronogramas de perfuração em estudo está dividida hierarquicamente em fases, cada uma representando o revestimento que está sendo utilizado no momento da operação. A depende da janela operacional, existe uma relação diretamente proporcional entre a profundidade do objetivo e o número de fases. Cada fase é subdividida em atividades, operações, etapas e tarefas, que são as menores parcelas da hierarquia. Na Figura 16 a seguir está ilustrada a hierarquia presente na EAP de perfuração, cujo esquema de cores foi o utilizado no trabalho.

Figura 16 - EAP de perfuração



Fonte: Autor (2023).

Em primeira análise, estudou-se o cronograma mantendo-se na hierarquia de atividade da EAP. Com essa representação, foi possível utilizar os tempos de execuções reais e previstas (em dias) a fim de determinar os valores padrão e proporções que cada fase representa na perfuração como um todo, bem como também das atividades de estrutura de poço, anomalias e contingências. Na Figura 17 está ilustrado o modelo de representação em atividades.

Figura 17 - Representação do cronograma em atividades

	Duração da Atividade (dias)		Duração da Fase (dias)		% sobre Duração Total Real	
	Prevista	Real	Prevista	Real		
FASE 0	Atividade 1: DMM/DTM/DMA	0,94	2,98	2,65	4,44	62,46%
	Atividade 2: Estrutura de Poço	0,13	0,00			
	Atividade 3: Perfuração	0,08	0,00			
	Atividade 4: Estrutura de Poço	0,25	0,13			
	Atividade 5: Perfuração	0,50	0,17			
	Atividade 6: Estrutura de Poço	0,31	0,79			
	Atividade 7: Perfuração	0,44	0,38			
FASE 1	Atividade 8: Perfuração	0,53	0,58	14,90	0,58	8,21%
FASE 2	Atividade 9: Perfuração	5,93	2,08	12,48	2,08	29,33%
	Atividade 10: Estrutura de poço	2,85	0,00			
	Atividade 11: ESCP	2,48	0,00			
FASE 3	Atividade 12: Perfuração	1,21	0,00	12,90	0,00	0,00%
	Atividade 13: Perfuração	7,34	0,00			
	Atividade 14: Estrutura de poço	4,38	0,00			
	Atividade 15: ESCP	0,00	0,00			
FASE 4	Atividade 16: Perfuração	1,19	0,00	20,33	0,00	0,00%
	Atividade 17: Perfuração	12,41	0,00			
	Atividade 18: Estrutura de poço	4,17	0,00			
	Atividade 19: Equipamentos submarinos	0,56	0,00			
	Atividade 20: Estrutura de poço	0,21	0,00			
	Atividade 21: ESCP	1,56	0,00			
FASE 5	Atividade 22: Perfuração	1,42	0,00	12,93	0,00	0,00%
	Atividade 23: Perfuração	10,41	0,00			
	Atividade 24: Aquisição de dados geológicos	2,17	0,00			
	Atividade 25: Estrutura de poço	0,17	0,00			
	Atividade 26: Aquisição de dados geológicos	0,19	0,00			

Perfuração		
Duração Total Prevista (dias)	76,18	
Duração Total Real (dias)	7,10	
Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	69,08	90,67%
Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	3,79	53,37%
Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	0,98	13,78%

Estrutura de poço		
Duração Total Prevista (dias)	12,46	
Duração Total Real (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	0,92	12,90%
Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	11,54	92,64%
Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço	0,40	43,18%
Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de poço	0,23	25,00%

Fonte: Autor (2023).

Após descrever cada cronograma neste formato e calcular seus valores padrão e proporções, eles foram agrupados por tipo e as médias de seus valores foram calculadas. Dessa forma, chegou-se a um quadro de valores médios, adotados como padrão, para um determinado conjunto de dados.

Nas análises seguintes o foco foi de fato a construção da estrutura de poço, sendo assim necessário o avanço para as hierarquias de operação e etapa na EAP, pois dessa forma foi

possível avaliar como estas atividades estão sequenciadas. Primeiramente, se fez a separação de todas as atividades de estrutura do poço em cada cronograma, com base nas durações reais (em dias), calculou-se os valores médios, adotados como padrão e as proporções em relação a duração real total. Da mesma forma, adicionou-se uma coluna ao modelo com as durações de anomalias em cada etapa do cronograma, calculando-se valores médios, adotados como padrão e proporções em relação a duração real total. Assim, a sequência operacional da execução da estrutura de poço de cada cronograma foi estabelecida. Na Figura 18 está ilustrado o modelo de representação de sequência operacional da estrutura de poço de um cronograma utilizado.

Figura 18 - Sequência operacional da estrutura de poço de um cronograma

	Duração Total Real (dias)	% Sobre Duração Total Real	Anomalias (dias)	% Sobre Duração Total Real
1 Fase 0	0,40		0,00	0,00%
12 Atividade 2: Estrutura de poço	0	0,00%	0,00	0,00%
121 Operação 3: Revestimento condutor	0	0,00%	0,00	0,00%
1211 Etapa 6: Montando seção de cimentação	0	0,00%	0,00	0,00%
14 Atividade 4: Estrutura de poço	0	0,00%	0,00	0,00%
141 Operação 5: Revestimento de superfície	0	0,00%	0,00	0,00%
1411 Etapa 8: Montando conjunto suspensor	0	0,00%	0,00	0,00%
16 Atividade 6: Estrutura de poço	0	0,00%	0,00	0,00%
161 Operação 7: Revestimento condutor	0	0,00%	0,00	0,00%
1611 Etapa 10: Montando/acunhando por seção	0	0,00%	0,00	0,00%
1612 Etapa 11: Descendo revestimento em mar aberto	0	0,00%	0,00	0,00%
1613 Etapa 12: Montando/acunhando por unidade	0	0,00%	0,00	0,00%
3 Fase 2	11,63		0,02	0,18%
32 Atividade 10: Estrutura de poço	0,25	2,15%	0,00	0,00%
321 Operação 12: Revestimento de superfície	0,25	100,00%	0,00	0,00%
3211 Etapa 26: Preparando plataforma	0,25	100,00%	0,00	0,00%
34 Atividade 12: Estrutura de poço	4,08	35,13%	0,02	100,00%
341 Operação 14: Revestimento de superfície	4,08	100,00%	0,02	100,00%
3411 Etapa 28: Preparando plataforma	0,19	4,59%	0,00	0,00%
3412 Etapa 29: Montando/acunhando por unidade	0,90	21,94%	0,00	0,00%
3413 Etapa 30: Montando manuseio de revestimento	0,10	2,55%	0,00	0,00%
3414 Etapa 31: Conectando stinger	0,44	10,71%	0,00	0,00%
3415 Etapa 32: Descendo revestimento em mar aberto	0,23	5,61%	0,00	0,00%
3416 Etapa 33: Descendo revestimento no poço	0,31	7,65%	0,00	0,00%
3417 Etapa 34: Preparativo cimentação	0,06	1,53%	0,00	0,00%
3418 Etapa 35: Circulando para cimentar	0,08	2,04%	0,00	0,00%
3419 Etapa 36: Cimentando	0,29	7,14%	0,00	0,00%
34110 Etapa 37: Retirando coluna de assentamento	1,48	36,22%	0,02	100,00%
4 Fase 3	12,71		1,65	12,95%
42 Atividade 18: Estrutura de poço	0,15	1,15%	0,00	0,00%
421 Operação 21: Revestimento Intermediário/Produção	0,15	100,00%	0,00	0,00%
4211 Etapa 70: Montando seção de cimentação	0,15	100,00%	0,00	0,00%
44 Atividade 20: Estrutura de poço	6,54	51,48%	1,21	73,42%
441 Operação 23: Revestimento Intermediário/Produção	5,08	77,71%	1,21	100,00%
4411 Etapa 72: Montando conjunto suspensor	0,21	4,10%	0,00	0,00%
4412 Etapa 73: Montando manuseio de revestimento	0,17	3,28%	0,00	0,00%
4413 Etapa 74: Montando/acunhando por unidade	1,65	32,38%	0,33	27,59%
4414 Etapa 75: Descendo revestimento no poço	1,96	38,52%	0,88	72,41%
4415 Etapa 76: Preparativo cimentação	0,08	1,64%	0,00	0,00%
4416 Etapa 77: Circulando para cimentar	0,25	4,92%	0,00	0,00%
4417 Etapa 78: Cimentando	0,21	4,10%	0,00	0,00%
4418 Etapa 79: Retirando coluna de assentamento	0,27	5,33%	0,00	0,00%
4419 Etapa 80: Cimentando	0,00	0,00%	0,00	0,00%
44110 Etapa 81: Retirando coluna de assentamento	0,29	5,74%	0,00	0,00%
442 Operação 24: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	1,17	17,83%	0,00	0,00%
4421 Etapa 82: Montando coluna de instalação	0,73	62,50%	0,00	0,00%
4422 Etapa 83: Descendo coluna de instalação	0,15	12,50%	0,00	0,00%
4423 Etapa 84: Jateando CABP	0,04	3,57%	0,00	0,00%
4424 Etapa 85: Energizando CVU/CVE	0,25	21,43%	0,00	0,00%
443 Operação 25: Instalação de bucha de desgaste	0,29	4,46%	0,00	0,00%
4431 Etapa 86: Retirando coluna de instalação	0,29	100,00%	0,00	0,00%
47 Atividade 23: Estrutura de poço	0,13	0,98%	0,00	0,00%
471 Operação 28: Revestimento Intermediário/Produção	0,13	100,00%	0,00	0,00%
4711 Etapa 89: Retirando coluna de assentamento	0,13	100,00%	0,00	0,00%

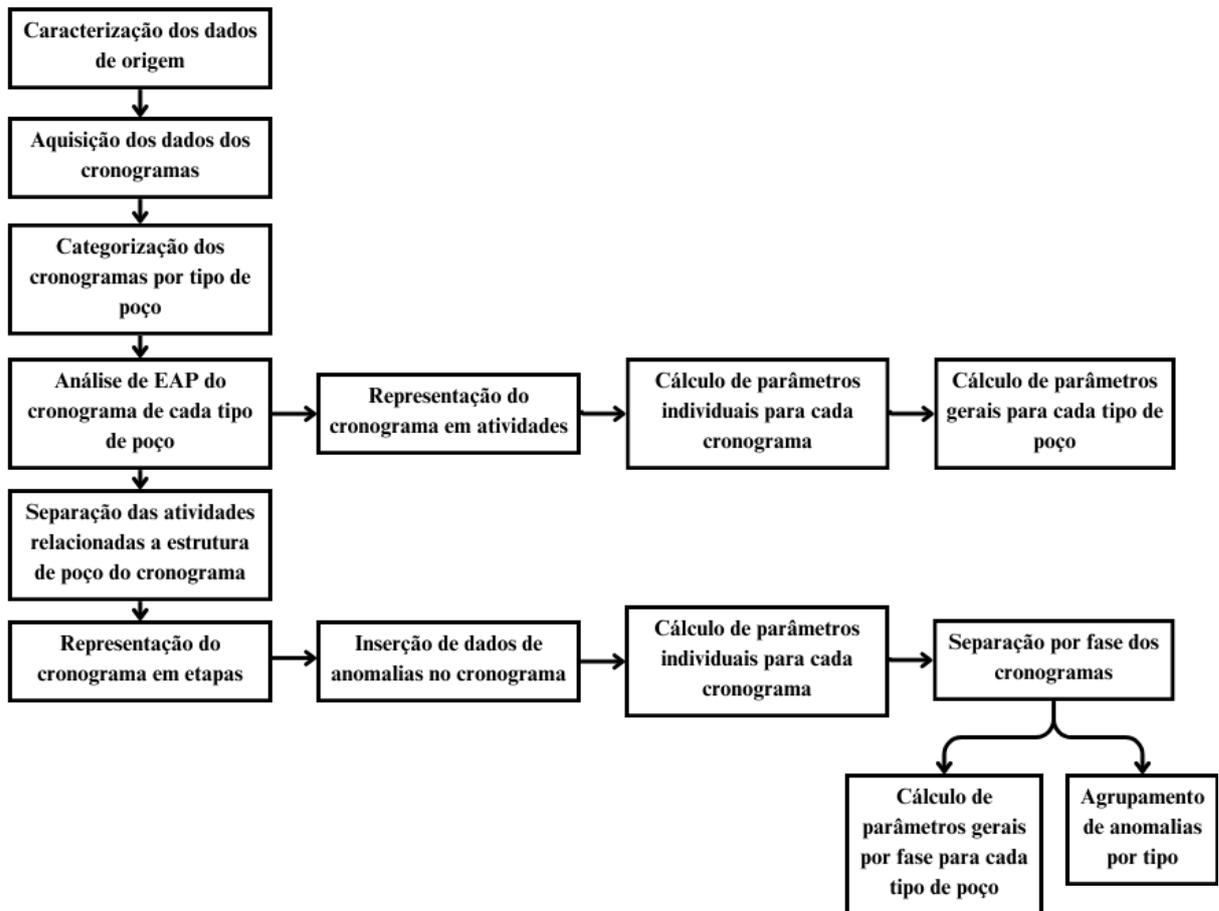
5 Fase 4		28,96		8,25	28,49%
52	Atividade 26: Estrutura de poço	13,71	47,34%	8,04	97,47%
521	Operação 32: Revestimento Intermediário/Produção	9,75	71,12%	4,71	58,55%
5211	Etapa 109: Montando conjunto susensor	0,10	1,07%	0,00	0,00%
5212	Etapa 110: Montando seção de cimentação	0,08	0,85%	0,00	0,00%
5213	Etapa 111: Montando manuseio de revestimento	0,25	2,56%	0,00	0,00%
5214	Etapa 112: Montando/acunhando por unidade	2,60	26,71%	0,00	0,00%
5215	Etapa 113: Descendo revestimento no poço	0,69	7,05%	0,00	0,00%
5216	Etapa 114: Preparativo cimentação	0,08	0,85%	4,71	100,00%
5217	Etapa 115: Circulando para cimentar	4,98	51,07%	0,00	0,00%
5218	Etapa 116: Cimentando	0,96	9,83%	0,00	0,00%
522	Operação 33: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	3,96	28,88%	3,33	0,00%
5221	Etapa 117: Energizando CVU/CVE	3,96	100,00%	3,33	100,00%
523	Operação 34: Perfilagem para avaliação da cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%
5231	Etapa 118: Montando equiptos de cabo/aramé	0,00	0,00%	0,00	0,00%
5232	Etapa 119: Perfilando cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%
5233	Etapa 120: Desmobilizando equiptos de cabo/aramé	0,00	0,00%	0,00	0,00%
54	Atividade 28: Estrutura de poço	0,42	1,44%	0,00	0,00%
541	Operação 36: Teste de barreira de segurança - manobra dedicada	0,42	100,00%	0,00	0,00%
5411	Etapa 124: Teste negativo de barreiras de segurança	0,00	0,00%	0,00	0,00%
5412	Etapa 125: Retirando coluna	0,42	100,00%	0,00	0,00%
6 Fase 5		18,98		0,85	4,50%
63	Atividade 33: Estrutura de poço	0,54	2,85%	0,00	0,00%
631	Operação 49: Perfilagem para avaliação da cimentação	0,54	100,00%	0,00	0,00%
6311	Etapa 169: Desmobilizando equiptos de cabo/aramé	0,54	100,00%	0,00	0,00%
65	Atividade 35: Estrutura de poço	0,63	3,29%	0,02	2,44%
651	Operação 51: Perfilagem para avaliação da cimentação	0,63	100,00%	0,02	100,00%
6511	Etapa 171: Desmobilizando equiptos de cabo/aramé	0,63	100,00%	0,02	100,00%

Fonte: Autor (2023).

Após a montagem da sequência de cada cronograma separadamente, foi feito o agrupamento por tipo de poço e a separação da sequência por fases. Desta forma, pôde-se comparar as sequências dos diferentes poços para a mesma fase, e assim, calcular os valores padrão e proporções de duração real e anomalias. Nesta mesma etapa, todas as anomalias foram agrupadas e posicionadas ao lado das etapas em que ocorreram, denotando o momento da execução que elas incidem.

É importante atentar ao fato de que nem todos os cronogramas possuíam todas as fases, isso se deve a diferentes fatores: diferentes profundidades de perfuração total, não sucesso do poço, continuação de um poço iniciado ou finalizado em outro cronograma. Outro fato importante é o de que nem todos os cronogramas possuíam atividades de estrutura de poço em todas as fases, além de situações de atividades planejadas e não executadas. Assim, buscando uma melhor homogeneidade na análise, as fases foram agrupadas e comparadas seguindo sua disponibilidade, utilizando apenas as fases que possuem atividades de estrutura de poço. Na Figura 19 a seguir está apresentado um fluxograma da etapa 2 da metodologia.

Figura 19 - Fluxograma da etapa 2 da metodologia



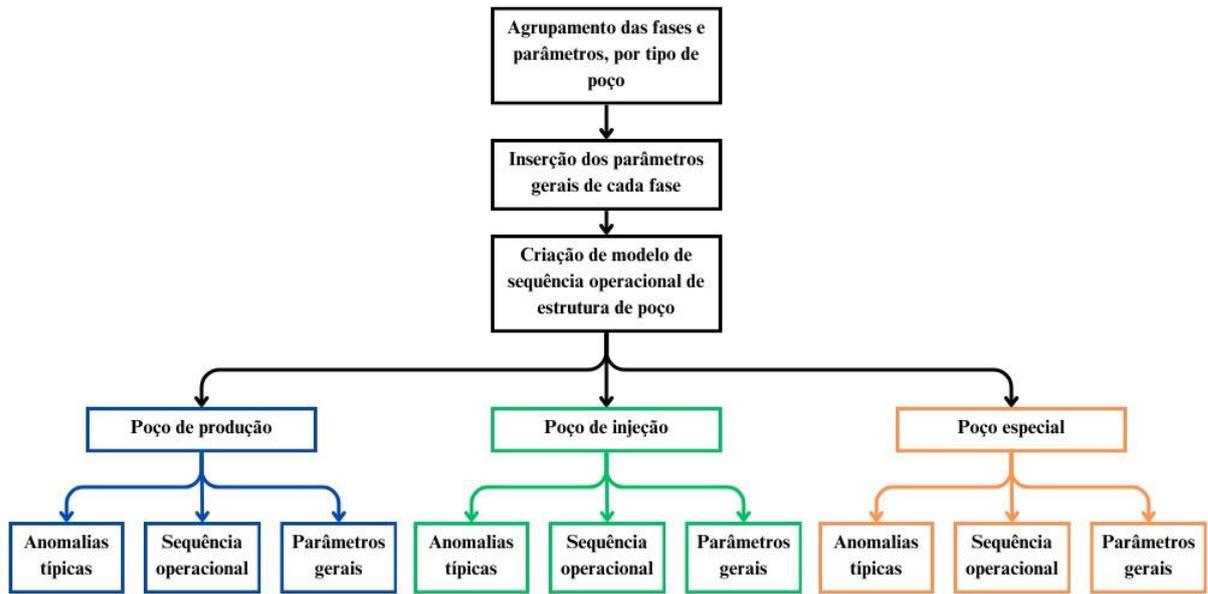
Fonte: Autor (2023).

3.3 Etapa 3

Com as sequências separadas por fases e com seus respectivos valores padrão calculados, foi feita a montagem do modelo de sequência operacional da estrutura do poço padrão para cada tipo de poço, bem como o estabelecimento dos parâmetros de referência.

Desta forma, pôde-se estabelecer uma padronização de sequência baseada nos dados em estudo e que pode ser tomada como base para estudos, projeto e avaliações de poços semelhantes. Na Figura 20 a seguir está apresentado um fluxograma da etapa 3 da metodologia.

Figura 20 - Fluxograma da etapa 3 da metodologia



Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo destina-se a apresentar os resultados alcançados com o trabalho, bem como as discussões acerca do que pode ser apreendido destas informações. Iniciando com uma discussão sobre como os cronogramas são elaborados pela empresa petrolífera em questão; passando para uma discussão sobre como as sequências operacionais são avaliadas; explicitando as sequências operacionais de estrutura de poços elaboradas no trabalho; e por fim, fazendo uma análise dos resultados como um todo.

4.1 Cronogramas de perfuração

A perfuração de petróleo, como toda intervenção de engenharia, precisa ser planejada e as diretrizes de sua execução devem ser estabelecidas previamente, criando um plano de ação que seja o mais eficaz e eficiente possível no cenário proposto. Esse plano é composto pelo cronograma, que compreende desde as etapas iniciais de posicionamento dos equipamentos no local da perfuração, até as etapas finais de construção da estrutura do poço.

4.1.1 Definição da EAP

Após as fases iniciais de viabilização do poço, a elaboração do cronograma pode ser iniciada, levando em conta as particularidades geológicas do poço a ser perfurado bem como os equipamentos necessários. Inicialmente o projeto é decomposto em pacotes de trabalho, que representam conjuntos de atividades relacionadas e que são estruturados através de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP). Este é um procedimento de grande impacto no cronograma pois tarefas não previstas resultarão em atrasos e falhas de execução do projeto. Além disso, devido à alta necessidade de eficiência na condução das atividades, a EAP é elaborada com alto nível de detalhamento e os pacotes de trabalho têm suas durações medidas em horas (h).

A EAP de uma perfuração e construção de um poço de petróleo pode ser elaborada a partir da decomposição do trabalho primeiramente em fases, que são divididas sucessivamente em categorias cada vez menores, até os pacotes de trabalho, que nesse caso são chamados de etapas. A partir das etapas, são definidas as tarefas, onde essa categorização de parcelas de trabalho em função de sua finalidade nas intervenções recebem o nome de Ontologia, caso ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Exemplo de EAP de uma intervenção



Fonte: Autor (2023).

4.1.2 Definição das durações

Após a decomposição, é realizada uma análise estatística nos pacotes de trabalho selecionados, tendo como base dados históricos coletados de atividades similares executadas em projetos anteriores da petrolífera, com o emprego de parâmetros probabilísticos e de desempenho.

Os dados são os percentis de duração (P10, P25, P50, P75, P90) dos pacotes de trabalho, que representam valores tais que o percentual de atividades semelhantes executadas anteriormente atingiu duração igual ou inferior à medida. A título de exemplificação, o valor P10 representa um valor tal que apenas 10% das tarefas anteriores foram executadas em duração igual ou inferior, sendo considerado um parâmetro muito otimista de execução.

Na Figura 22 a seguir está apresentado um comparativo entre esses percentis e o tempo atual de execução dos pacotes de trabalho em uma intervenção realizada por uma petrolífera, onde se evidencia a diferença entre o planejado e o de fato executado.

Figura 22 - Exemplo de percentis de duração

#	Nome	10%	25%	50%	75%	90%	Real
1	■ Navegação	1,98	1,99	2,00	2,01	2,02	2,42
2	■ [PRL] Lançamentos de beacons e calibração de DP	0,37	0,54	0,81	1,25	1,85	0,00
3	■ Montagem e descida de BHA de perfuração	0,25	0,41	0,71	1,26	2,15	0,65
4	■ Corte de cimento de rat hole	0,02	0,04	0,07	0,13	0,22	0,02
5	■ Perfuração	1,18	1,60	2,22	3,15	4,29	1,65
6	■ [NP] Troca de Broca	0,76	0,96	1,22	1,57	1,99	0,83
7	■ Perfuração	0,11	0,15	0,21	0,29	0,40	0,21
8	■ Retirada de Broca	0,27	0,35	0,46	0,63	0,81	0,33
9	■ Montagem e descida de revestimento e alojador de alta pressão	0,34	0,51	0,84	1,41	2,21	0,69
10	■ Cimentação Primária	0,42	0,57	0,80	1,14	1,54	0,88

Fonte: Autor (2023).

4.1.3 Definição da precedência

Cada pacote de trabalho é classificado como principal, contingente ou paralelo. Os pacotes de trabalho principais são aqueles conectados entre si por um relacionamento do tipo Término-Início, e que fazem parte do caminho crítico, ou seja, tarefas sequenciadas e sucessivas, interdependentes, de tal modo que um atraso em qualquer uma delas resultará em um atraso da intervenção como um todo. Assim, são utilizados diretamente no cálculo da duração total da intervenção.

Os pacotes de trabalho paralelos são aqueles que são executados paralelamente aos principais e, apesar de indesejadas, falhas que causem atrasos nestas tarefas não necessariamente causarão impacto na duração total da intervenção. Portanto, suas durações não são computadas na determinação da duração total da intervenção.

Por último, os pacotes de trabalho contingentes são aqueles em que há uma probabilidade de que serão executados, sendo esta probabilidade pequena demais para ser incluída diretamente no cronograma, mas significativa o suficiente para que não seja negligenciada. Os pacotes de trabalho contingentes, diferentemente dos paralelos, são utilizados no cálculo da duração da intervenção em cenários mais pessimistas do cronograma, como será visto adiante.

4.1.4 Montagem do cronograma

O cronograma é construído e posteriormente atualizado com dados de execução para acompanhamento. Para cada pacote de trabalho é atribuída duração equivalente a P10. A ideia ao se utilizar uma duração otimista é que se antecipe as equipes e a entrega de materiais, para evitar atrasos na execução. Os demais percentis são utilizados em acompanhamentos gerenciais de desempenho.

O acompanhamento do cronograma tem como único intuito manter uma linha de base comparativa e calcular as datas de início de cada tarefa. Para tanto, alguns parâmetros são gerados e utilizados para acompanhamento e planejamento das atividades: folgas das tarefas e as datas de início mais cedo (IMC), início mais tarde (IMT), término mais cedo (TMC) e término mais tarde (TMT).

As folgas dos pacotes de trabalho ainda não realizados ou contingentes, são estabelecidas pelo projetista e podem ser calculadas, por exemplo, através de:

$$T_{P+F} = \frac{T_P}{F} \quad (8)$$

onde: T_P = é a duração prevista do pacote de trabalho (P10), T_{P+F} = é a duração com folga prevista do pacote de trabalho e F = é a folga adotada pelo responsável.

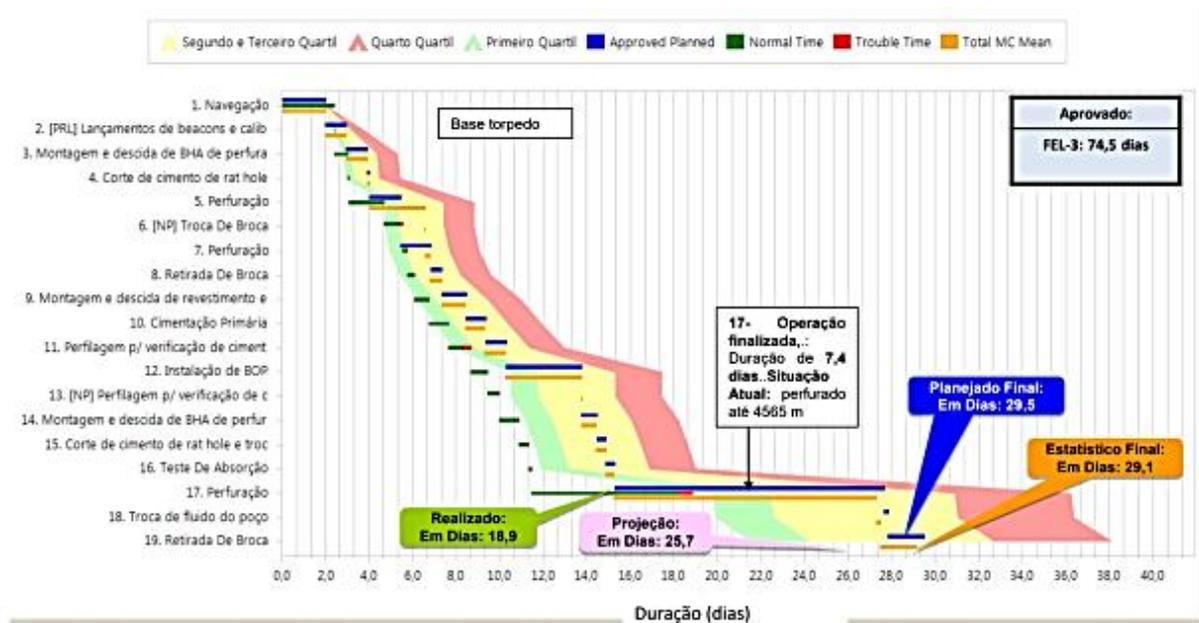
Nos dados analisados, o parâmetro F foi utilizado com valor igual a 0,85, resultando em uma margem de aproximadamente 17,65%. Essa margem também pode ser atribuída desconsiderando-se o parâmetro F e utilizando outros fatores representativos da folga, de modo que T_{P+F} seja igual a P50 (P_{med}) ou P75, por exemplo. Após a execução de cada tarefa, a duração real substitui a duração com folga prevista e então atualiza-se o cronograma.

A data de término mais cedo (TMC) para cada pacote de trabalho é obtida a partir de uma premissa otimista de eventos. Os pacotes de trabalho contingentes são desconsiderados (duração = 0), os paralelos naturalmente não têm seus tempos adicionados (duração = 0), restando apenas os pacotes de trabalho principais, que são computados com duração igual a T_P , ou seja, são desconsideradas as folgas. Dessa forma, a data de início mais cedo (IMC) do próximo pacote de trabalho é igual ao término mais cedo (TMC) do pacote imediatamente anterior.

Por outro lado, o término mais tarde (TMT) de cada pacote assume uma premissa pessimista de eventos. Tanto os pacotes de trabalho contingentes quanto os principais são considerados, com suas durações computadas como T_{P+F} , ou seja, acrescidas das folgas de 17,65%. Os pacotes de trabalho paralelos são desconsiderados também neste cenário. A data de início mais tarde (IMT) do pacote de trabalho seguinte é igual ao término mais tarde (TMT) do pacote imediatamente anterior.

Essas datas são somadas e visualizadas com auxílio de um diagrama de Gantt, resultando nas informações de TMC e TMT da intervenção como um todo, e são chamadas, respectivamente, de DMC (Data mais cedo) e DMT (Data mais tarde). Na Figura 23 a seguir está mostrado um relatório gerencial de acompanhamento na forma de diagrama de Gantt, onde se comparam diversos parâmetros comparativos de execução, como a duração aprovada na etapa de viabilização inicial, a duração planejada final, duração estimada com base em parâmetros estatísticos, entre outros, com o que foi executado na prática.

Figura 23 - Relatório geral em formato Gantt (Curva S)



Fonte: Autor (2023).

As zonas hachuradas da Figura 23 representam os quartis, isto é, que são determinados intervalos de percentis utilizados para comparação, sendo o primeiro, segundo terceiro e quarto quartis, respectivamente, de acordo com a escala utilizada no relatório, P10-P25, P25-P50, P50-P75 e P75-P90. Percebe-se que, neste caso em particular, a execução manteve-se quase que inteiramente dentro do primeiro quartil, podendo ser considerada como uma intervenção de

muito sucesso do ponto de vista da duração. Por este motivo, a duração real da intervenção foi muito inferior a todas as estimativas da Figura 23.

4.2 Sequência Operacional

À sequência de operações necessárias para a construção de um poço de petróleo dá-se o nome de sequência operacional. Diante da grande complexidade das operações *offshore*, ela busca guiar de forma lógica e eficiente as intervenções, de forma que sua análise se mostra como uma abordagem promissora, onde se pode identificar possibilidades de aprimoramento, minimização de erros e redução de duração de execução.

Dentro do processo abrangente de perfuração de poço, existem as atividades específicas relacionadas à estrutura de poço, que também possuem uma sequência operacional, foco deste estudo. Esta sequência de atividades compreende uma parcela considerável de toda a intervenção, e, por isso, seu estudo é de vital importância para o processo como um todo.

Para execução da estrutura do poço do petróleo, é preciso o estabelecimento do conjunto formado por revestimento e cimentação, nos quais os diferentes diâmetros de revestimento determinados em projeto são inseridos no furo do poço, e posteriormente tem seu espaço anular cimentado, garantindo sua vedação. Todo o processo ocorre de maneira sequenciada, sendo separado em fases, de acordo com o revestimento que está sendo utilizado.

4.2.1 Análise do cronograma de perfuração

A primeira análise aborda o cronograma de perfuração completo, ou seja, compreende tanto as atividades específicas de estrutura de poço como as demais. Após a categorização dos tipos de poços, seu agrupamento e a conversão dos cronogramas para uma representação em atividades, pôde-se criar um quadro de parâmetros, que tem a função de apresentar uma visão geral da perfuração. Na Figura 24 a seguir é apresentado um exemplo de quadro de parâmetros de uma perfuração.

Figura 24 - Quadro de parâmetros de perfuração

Perfuração		
Duração Total Prevista (dias)	76,18	
Duração Total Real (dias)	7,10	
Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	69,08	90,67%
Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	3,79	53,37%
Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	0,98	13,78%

Estrutura de poço		
Duração Total Prevista (dias)	12,46	
Duração Total Real (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	0,92	12,90%
Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	11,54	92,64%
Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço	0,40	43,18%
Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de poço	0,23	25,00%

Fonte: Autor (2023).

O quadro está dividido em duas partes, das quais a primeira apresenta informações referentes a perfuração como um todo, e a segunda apresenta informações referentes a atividades específicas de estrutura de poço. Os parâmetros que compõem o quadro estão relacionados às durações apresentadas no cronograma, tanto a prevista como a real, de forma que é possível determinar a distribuição do tempo gasto, possibilitando uma avaliação preliminar sobre a execução do poço.

Com os dados apresentados na Figura 24 foi possível determinar a diferença entre a duração de perfuração prevista e a real, o que indica se a perfuração cumpriu seu prazo ou não. Também pôde-se observar o tempo gasto com anomalias e contingências, bem como sua proporção sobre a duração da intervenção. Da mesma forma, pôde-se verificar o impacto que as atividades relacionadas à estrutura de poço tiveram sobre o processo como um todo, fazendo as mesmas avaliações de duração citadas, desta vez sobre apenas estas atividades específicas.

Ao agrupar os quadros por tipo de perfuração, foi possível calcular valores médios para os já citados parâmetros, o que possibilitou o uso como um modelo preliminar de comparação. A seguir estão denotados os resultados para cada tipo de poço em estudo.

4.2.1.1 Poço de produção

Na Tabela 7 a seguir estão apresentados os parâmetros calculados para poços de produção.

Tabela 7 - Parâmetros de poços de produção

Poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias)	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Estrutura de poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de poço
1	9,65	7,85	1,80	0,23	1,83	2,19	2,65	-0,46	0,00	0,63	
			18,63%	2,92%	23,34%		33,69%	-20,95%	0,00%	23,62%	
2	34,51	61,625	-27,12	7,40	2,21	6,06	6,54	-0,48	0,29	1,27	
			-78,58%	12,00%	3,58%		10,62%	-7,90%	4,46%	19,43%	
3	31,81	29,38	2,43	3,73	6,92	6,35	7,60	-1,25	0,33	0,94	
			7,65%	12,70%	23,55%		25,89%	-19,67%	4,38%	12,33%	
4	11,86	15,31	-3,45	0,85	1,65	3,91	9,02	-5,11	0,65	1,50	
			-29,11%	5,58%	10,75%		58,91%	-130,56%	7,16%	16,63%	
5	76,72	87,54	-10,82	16,17	0,00	14,33	21,73	-7,40	0,00	0,79	
			-14,11%	18,47%	0,00%		24,82%	-51,60%	0,00%	3,64%	
6	68,52	66,94	1,58	7,54	13,77	16,20	17,50	-1,30	2,71	2,79	
			2,31%	11,27%	20,57%		26,14%	-8,01%	15,48%	15,95%	
7	12,75	10,50	2,25	0,00	2,02	2,88	4,00	-1,12	0,00	0,44	
			17,66%	0,00%	19,25%		38,10%	-39,06%	0,00%	10,94%	
8	4,66	4,04	0,61	0,10	0,98	1,42	1,67	-0,25	0,10	0,33	
			13,19%	2,58%	24,23%		41,24%	-17,65%	6,25%	20,00%	
9	29,24	19,15	10,09	3,02	2,73	1,65	1,98	-0,33	0,00	0,27	
			34,51%	15,78%	14,25%		10,34%	-20,25%	0,00%	13,68%	
10	36,12	56,40	-20,27	22,85	13,25	4,90	8,10	-3,21	2,15	0,88	
			-56,13%	40,52%	23,49%		14,37%	-65,53%	26,48%	10,80%	
MÉDIA	31,58	35,87	-4,29	6,19	4,54	5,99	8,08	-2,09	0,62	0,98	
			-13,58%	17,25%	12,64%		22,52%	-34,91%	7,71%	12,17%	

Fonte: Autor (2023).

Com base nos dados apresentados acima, pôde-se chegar a uma média de duração total prevista para a perfuração de 31,58 dias e uma média de duração total real de 35,87 dias, o que representa uma diferença negativa de 4,29 dias, ou 13,58%, denotando uma discrepância entre o planejamento e a execução.

A diferença de magnitude de valores entre os poços se deu por se tratar de um grupo diverso, que é composto por poços localizados em diferentes bacias e por consequência, diferentes litologias. Outro fato interessante de se salientar é que no grupo existiam poços direcionais e horizontais, com e sem *liner*, o que também contribuiu para a diferença nas

durações, uma vez que a presença do *liner* acarreta um aumento do número de operações necessárias para a construção do poço.

As diferenças de duração entre as perfurações ficam mais evidentes quando se observa o fato de que alguns cronogramas possuem mais fases do que outros, o que se deve tanto a profundidade da perfuração, quanto ao sucesso ou não, bem como ao cronograma representar a continuação de um cronograma anterior não presente no banco de dados de estudo.

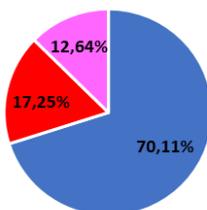
O tempo médio gasto com anomalias foi de 6,19 dias, ou 17,25% sobre a duração total da perfuração. Já as contingências médias compreenderam 4,54 dias, ou 12,64%. Estes valores juntos representam 29,89% da perfuração, ou aproximadamente um terço das operações. No planejamento, esse tempo deve ser considerado nos cálculos das durações e suas probabilidades, pois quando eles superam a margem de segurança, ocorre o atraso no prazo das operações, como visto nos dados citados anteriormente.

Em se tratando de estrutura de poço, a média da duração total prevista foi 5,99 dias e a duração total real de 8,08 dias, o que representa uma diferença negativa de 2,09 dias, ou 34,91%. As atividades específicas de estrutura de poço representaram 22,52% da duração total real da perfuração. O tempo médio gasto com anomalias foi de 0,62 dias, ou 7,71% sobre a duração total da estrutura de poço. Já as contingências médias compreenderam 0,98 dias, ou 12,17%. Estes valores juntos representam 19,88% da duração de construção da estrutura de poço.

Na Figura 25 a seguir, estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias citadas anteriormente no texto.

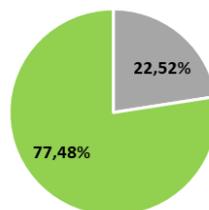
Figura 25 - Distribuições de tempo para poço de produção

Distribuição média de tempo de perfuração de um poço de produção



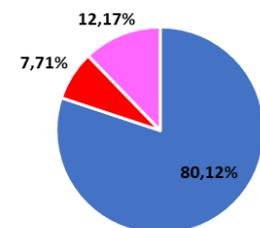
■ Efetivo ■ Anomalias ■ Contingências

Distribuição média de atividades de um poço de produção



■ Estrutura ■ Outras

Distribuição média das atividades de estrutura de um poço de produção



■ Efetivo ■ Anomalias ■ Contingências

Fonte: Autor (2023).

4.2.1.2 Poço de injeção

Na Tabela 8 a seguir estão apresentados os parâmetros calculados para poços de injeção.

Tabela 8 - Parâmetros de poços de injeção

Poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias)	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Estrutura de poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço
1	13,60	9,06	4,53	0,52	0,51	Estrutura de poço	4,31	4,50	-0,19	0,29	0,48
			33,35%	5,75%	5,63%			49,66%	-4,35%	6,48%	10,65%
2	50,98	26,94	24,05	13,85	3,33	Estrutura de poço	8,83	12,10	-3,27	7,69	2,40
			47,16%	51,43%	12,37%			44,93%	-37,03%	63,51%	19,79%
2	31,40	33,60	-2,21	4,90	5,50	Estrutura de poço	5,70	6,65	-0,94	0,44	2,75
			-7,03%	14,57%	16,37%			19,78%	-16,54%	6,58%	41,38%
3	76,18	7,10	69,08	3,79	0,98	Estrutura de poço	12,46	0,92	11,54	0,40	0,23
			90,67%	53,37%	13,78%			12,90%	92,64%	43,18%	25,00%
4	64,35	73,46	-9,11	10,77	27,42	Estrutura de poço	13,13	26,44	-13,31	8,63	5,50
			-14,16%	14,66%	37,32%			35,99%	-101,43%	32,62%	20,80%
5	27,04	64,58	-37,54	5,23	13,02	Estrutura de poço	8,76	14,75	-5,99	0,21	1,96
			-138,80%	8,10%	20,16%			22,84%	-68,36%	1,41%	13,28%
6	19,00	30,33	-11,33	6,69	7,65	Estrutura de poço	2,46	2,60	-0,15	0,00	0,00
			-59,65%	22,05%	25,21%			8,59%	-5,93%	0,00%	0,00%
7	73,86	77,21	-3,35	15,02	8,94	Estrutura de poço	15,04	16,65	-1,60	2,19	1,79
			-4,54%	19,45%	11,58%			21,56%	-10,66%	13,14%	10,76%
8	74,19	56,46	17,73	5,83	11,63	Estrutura de poço	21,32	22,73	-1,41	3,31	5,96
			23,90%	10,33%	20,59%			40,26%	-6,63%	14,57%	26,21%
9	54,20	45,27	8,93	6,56	10,04	Estrutura de poço	12,17	11,63	0,54	0,29	2,31
			16,47%	14,50%	22,18%			25,68%	4,45%	2,51%	19,89%
MÉDIA	48,48	42,40	6,08	7,32	8,90	Estrutura de poço	10,42	11,90	-1,48	2,34	2,34
			12,54%	17,26%	20,99%			28,05%	-14,19%	19,70%	19,65%

Fonte: Autor (2023).

Com base nos dados apresentados acima, pôde-se chegar a uma média de duração total prevista para a perfuração de 48,48 dias e uma média de duração total real de 42,40 dias, o que representa uma diferença positiva de 6,08 dias, ou 12,54%, e denota que o prazo foi respeitado de maneira mais efetiva se comparado ao poço de produção. As diferenças de magnitude, apesar de menores, quando comparadas com o poço de produção, ainda estão presentes e se dão pelos mesmos motivos citados anteriormente.

O tempo médio gasto com anomalias foi de 7,32 dias, ou 17,26% sobre a duração total da perfuração. Já as contingências médias compreenderam 8,90 dias, ou 20,99%. Estes valores juntos representam 38,25% da duração da perfuração, valor próximo ao do poço de produção obtido anteriormente.

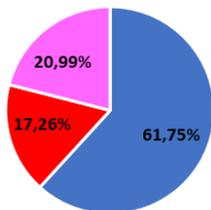
Em se tratando de estrutura de poço, a média de duração total prevista foi 10,42 dias e a média de duração total real de 11,90 dias, o que representa uma diferença negativa de 1,48 dias, ou 14,19%, indo na contramão do comportamento observado da perfuração. As atividades específicas de estrutura de poço representaram 28,05% da duração total real da perfuração. O tempo médio gasto com anomalias foi de 2,34 dias, ou 19,70% sobre a duração total da estrutura de poço. Já as contingências médias compreenderam 2,34 dias, ou 19,65%. Estes valores juntos representam 39,35% da duração de construção da estrutura de poço.

Notou-se que apesar do poço de injeção apresentar durações maiores, as proporções entre os parâmetros não apresentaram grandes diferenças se comparados ao poço de produção, o que indica consistência entre esses valores.

Na Figura 26 a seguir, estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias citadas anteriormente no texto.

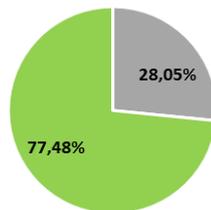
Figura 26 - Distribuições de tempo para poço de injeção

Distribuição média de tempo de perfuração de um poço de injeção



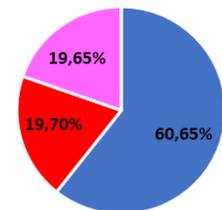
■ Efetivo ■ Anomalias ■ Contingências

Distribuição média de atividades de um poço de injeção



■ Estrutura ■ Outras

Distribuição média das atividades de estrutura de um poço de injeção



■ Efetivo ■ Anomalias ■ Contingências

Fonte: Autor (2023).

4.2.1.3 Poço especial

Na Tabela 9 a seguir estão apresentados os parâmetros calculados para poços especiais.

Tabela 9 - Parâmetros de poços especiais

Poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias)	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Estrutura de poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de poço
1	11,25	12,52	-1,27	2,88	1,98	3,79	8,38	-4,58	2,88	1,31	
			-11,30%	22,96%	15,81%		66,89%	-120,88%	34,33%	15,67%	
2	59,31	87,75	-28,44	39,92	4,48	14,77	33,79	-19,02	17,98	1,54	
			-47,96%	45,49%	5,10%		38,51%	-128,77%	53,21%	4,56%	
MÉDIA	35,28	50,14	-14,86	21,40	3,23	9,28	21,08	-11,80	10,43	1,43	
			-42,11%	42,68%	6,44%		42,05%	-127,16%	49,46%	6,77%	

Fonte: Autor (2023).

Com base nos dados apresentados acima, pôde-se chegar a uma média de duração total prevista para a perfuração de 35,28 dias e uma média de duração total real de 50,14 dias, o que representa uma diferença negativa de 14,86 dias, ou 42,11%, denotando uma discrepância relevante entre o planejamento e a execução, que pode ser explicado pelo caráter de menor previsibilidade neste tipo de poço, bem como por um grande volume de problemas ocorridos durante a perfuração.

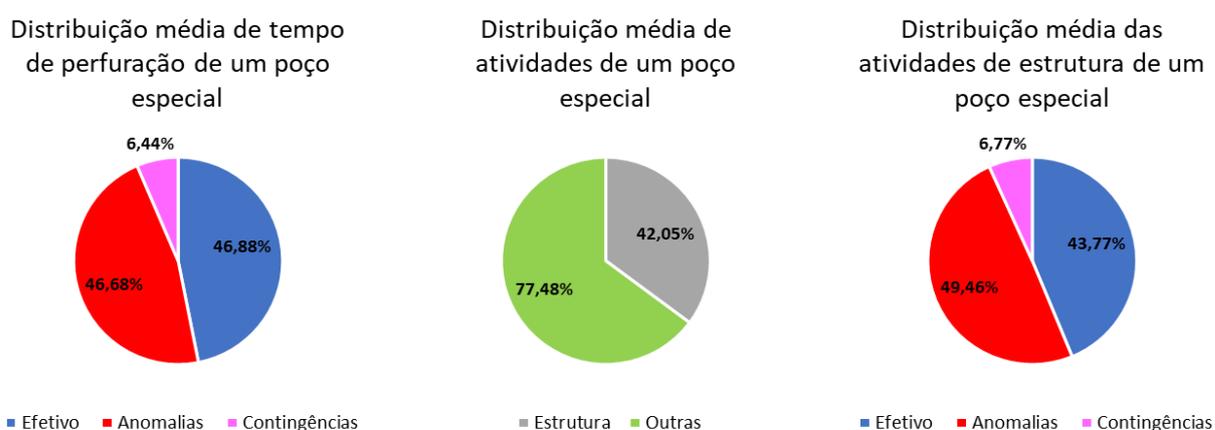
O tempo médio gasto com anomalias foi de 21,40 dias, ou 42,68% sobre a duração total da perfuração. Já as contingências médias compreenderam 3,23 dias, ou 6,44%. Estes valores juntos representam 49,12% da duração da perfuração, indicando que aproximadamente a metade da duração da perfuração consistiu em problemas.

Em se tratando de estrutura de poço, a média da duração total prevista foi 9,28 dias e a média da duração total real de 21,08 dias, o que representa uma diferença negativa de 11,80 dias, ou 127,16%, representando um atraso de mais de 2,5 vezes no prazo. As atividades específicas de estrutura de poço representaram 42,05% da duração total real da perfuração. O tempo médio gasto com anomalias foi de 10,43 dias, ou 49,46% sobre a duração total da estrutura de poço. Já as contingências médias compreenderam 1,43 dias, ou 6,77%. Estes valores juntos representam 56,23% da duração de construção da estrutura de poço, o que é mais da metade da duração desta parte da perfuração.

Notou-se uma diferença significativa nos parâmetros entre o poço especial e os demais tipos de poço, o que se deve a seu caráter menos previsível. A incidência de anomalias e contingências ocorreu de forma relevante, de forma que metade do tempo gasto na perfuração, foi dispensado com situações adversas, o que causou os atrasos em prazos destacados.

Na Figura 27 a seguir, estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias citadas anteriormente no texto.

Figura 27 - Distribuições de tempo para poço especial



Fonte: Autor (2023).

4.3 Análise de sequência operacional de estrutura de poço

O modelo para a sequência operacional da estrutura de poço pôde ser elaborado com o agrupamento de fases e seus respectivos parâmetros médios calculados para o conjunto de cronogramas de cada tipo de poço, utilizando-se a representação em etapas.

4.3.1 Poço de produção

4.3.1.1 Fase 0

A primeira fase da perfuração foi marcada pelas ações de preparação para a construção do poço. Desta forma, teve caráter mais logístico do que de fato construtivo. Na Tabela 10 a seguir está apresenta a sequência operacional da estrutura da fase 0 de um poço de produção.

Tabela 10 - Fase 0 da sequência operacional de um poço de produção

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 0	1,81		0,00	0,00%
Atividade: Estrutura de poço	0,19	10,73%	0,00	0,00%
Operação 1: Revestimento condutor	0,19	100,00%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 2: Montando/acunhando por seção	0,18	91,07%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando/acunhando por unidade	0,02	8,93%	0,00	0,00%

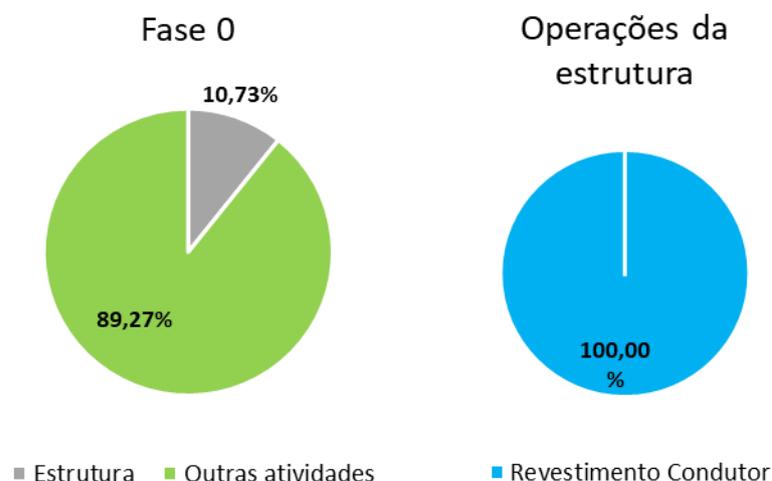
Fonte: Autor (2023).

Nesta fase se deu o início da preparação para a construção do revestimento condutor, a primeira porção de revestimento estabelecida no poço. Ainda não houve menção à descida de revestimentos ou cimentação, que ocorrerá na próxima fase.

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 0,19 dias, o que representa 10,73% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado na operação ‘revestimento condutor’, sendo dividida entre as etapas ‘montando/acunhando por seção’ e ‘montando/acunhando por unidade’, nas proporções de 91,07% e 8,93%, respectivamente. Não foram observadas ocorrências de anomalias nesta fase do poço.

Na Figura 28 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias e das operações da estrutura na fase 0.

Figura 28 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 0 de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

4.3.1.2 Fase 1

A segunda fase da perfuração foi de fato onde a construção do poço se iniciou. Desta forma, se teve um volume de atividade de estrutura de poço maior que a anterior. Na Tabela 11 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 1 de um poço de produção.

Tabela 11 - Fase 1 da sequência operacional de um poço de produção

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)	
Fase 1	9,03		0,23	2,60%
Atividade: Estrutura de poço	1,45	16,10%	0,08	35,56%
Operação 1: Revestimento condutor	1,35	93,19%	0,08	100,00%
Etapa 1: Preparando plataforma	0,08	6,15%	0,05	62,50%
Etapa 2: Montando/acunhando por unidade	0,09	6,92%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,01	0,38%	0,00	0,00%
Etapa 4: Conectando stinger	0,01	0,77%	0,00	0,00%
Etapa 5: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,06	4,62%	0,00	0,00%
Etapa 6: Descendo revestimento em mar aberto	0,28	20,38%	0,03	37,50%
Etapa 7: Descendo revestimento no poço	0,07	5,00%	0,00	0,00%
Etapa 8: Preparativo cimentação	0,05	3,46%	0,00	0,00%
Etapa 9: Circulando para cimentar	0,07	5,00%	0,00	0,00%
Etapa 10: Cimentando	0,37	27,31%	0,00	0,00%
Etapa 11: Retirando coluna de assentamento	0,27	20,00%	0,00	0,00%
Operação 2: Revestimento de superfície	0,10	6,81%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,10	100,00%	0,00	0,00%

Condições Ambientais Adversas do Mar

Falha de Equipamento de Trabalho no Poço Falha da Equipe na Execução

Fonte: Autor (2023).

Nesta fase se deu o início da construção do revestimento condutor, compreendendo todas as suas etapas, e se deu início também, ao revestimento de superfície, ainda em sua primeira etapa. O restante das etapas do revestimento de superfície é executado em fases posteriores.

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 1,45 dias, o que representa 16,10% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado entre as operações ‘revestimento condutor’ e ‘revestimento de superfície’, nas proporções de 93,19% e 6,81%, respectivamente. O revestimento condutor foi dividido em 11 etapas, em que as etapas com maior duração foram ‘descendo revestimento em mar aberto’, ‘cimentando e retirando coluna de assentamento’, nas proporções de 20,38%, 27,31% e 20%, respectivamente. Já o revestimento de superfície contou apenas com a etapa ‘conectando/montando conjunto suspensor’.

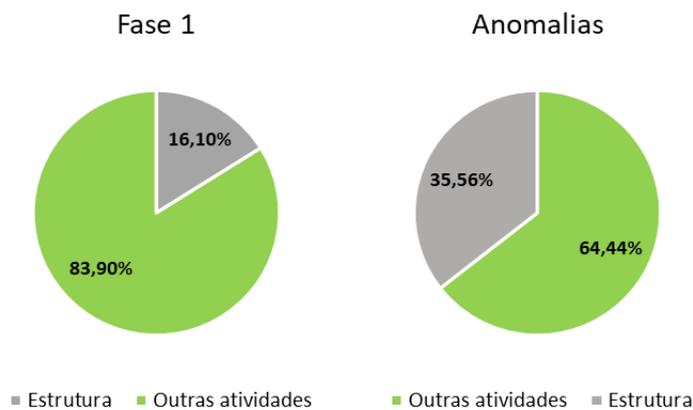
As anomalias compreenderam 0,23 dias, representando 35,56% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, concentrando-se no revestimento condutor, mais

especificamente nas etapas ‘preparando plataforma’ e ‘descendo revestimento em mar aberto’, divididas em 62,50% e 37,50%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente na etapa ‘preparando plataforma’ é o de condições ambientais adversas do mar. Na etapa ‘descendo revestimento em mar aberto’, são dos tipos ‘falha de equipamento de trabalho no poço’ e ‘falha de equipe na execução’.

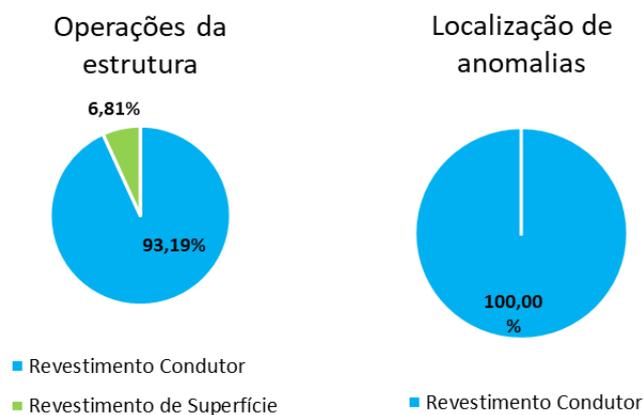
Na Figura 29 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 1 e para anomalias observadas. Na Figura 30 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 1 e a localização das anomalias observadas.

Figura 29 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 1 de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

Figura 30 - Distribuição das operações da estrutura na fase 1 de um poço de produção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.1.3 Fase 2

A terceira fase da perfuração foi o início do ciclo onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. Na Tabela 12 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 2 de um poço de produção.

Tabela 12 - Fase 2 da sequência operacional de um poço de produção

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 2	11,73		0,24	2,04%
Atividade: Estrutura de poço	2,32	19,82%	0,21	86,96%
Operação 1: Revestimento de superfície	2,32	100,00%	0,21	100,00%
Etapa 1: Preparando plataforma	0,13	5,38%	0,00	0,00%
Etapa 2: Montando/acunhando por unidade	0,25	10,76%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,03	1,41%	0,00	0,00%
Etapa 4: Conectando stinger	0,07	2,94%	0,00	0,00%
Etapa 5: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,18	7,55%	0,13	60,00%
Etapa 6: Descendo revestimento em mar aberto	0,33	14,21%	0,03	15,00%
Etapa 7: Descendo revestimento no poço	0,39	16,90%	0,00	0,00%
Etapa 8: Preparativo cimentação	0,12	4,99%	0,00	0,00%
Etapa 9: Circulando para cimentar	0,10	4,10%	0,00	0,00%
Etapa 10: Cimentando	0,22	9,35%	0,00	0,00%
Etapa 11: Retirando coluna de assentamento	0,57	24,58%	0,05	25,00%

Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Falha da Equipe na Execução

Condições Ambientais Adversas do Mar

Fonte: Autor (2023).

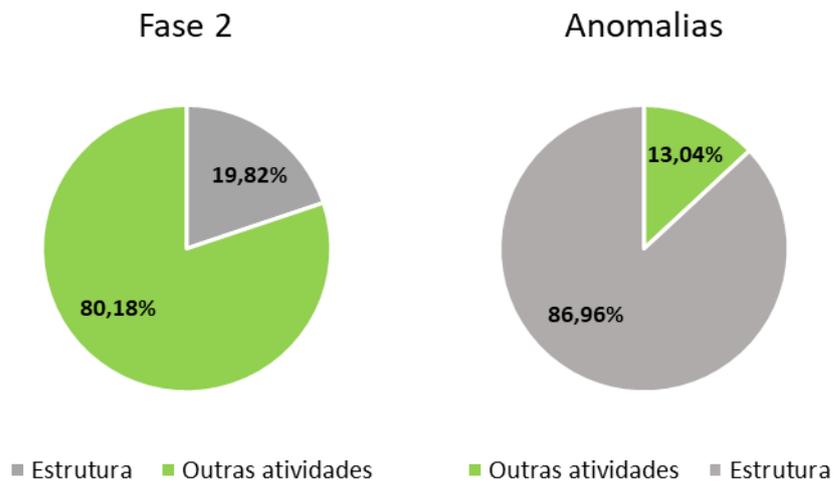
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 2,32 dias, o que representa 19,82% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado integralmente para o revestimento de superfície, que foi dividido em 11 etapas, em que as maiores são ‘montando/acunhando por unidade’, ‘descendo revestimento em mar aberto’, ‘descendo revestimento no poço’ e ‘retirando coluna de assentamento’, nas proporções de 10,76%, 14,21%, 16,90% e 24,58%, respectivamente.

As anomalias compreenderam 0,24 dias, representando 86,96% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, concentrando-se nas etapas ‘montando/conectando conjunto suspensor’, ‘descendo revestimento em mar aberto’ e ‘retirando coluna de assentamento’, divididas em 60%, 15% e 25%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente na etapa montando/conectando conjunto suspensor foi o de ‘falha de equipamento de trabalho no poço’. Na etapa ‘descendo revestimento em mar aberto’ foi do tipo ‘falha de equipe na execução’. Já na etapa ‘retirando coluna de assentamento’, foi do tipo ‘condições adversas do mar’.

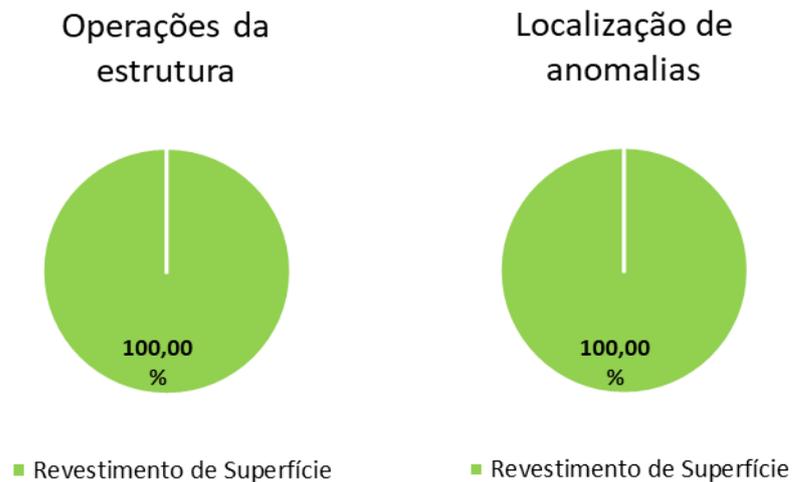
Na Figura 31 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 2 e para anomalias observadas. Na Figura 32 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 2 e a localização das anomalias observadas.

Figura 31 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 2 de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

Figura 32 - Distribuição das operações da estrutura na fase 2 de um poço de produção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.1.4 Fase 3

Na quarta fase da perfuração continuou-se o ciclo de onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. A existência ou não de *liner* no poço criou uma bifurcação nas

opções de sequência operacional, visto que existem etapas específicas que dependem da existência ou não deste elemento para serem executadas. Na Tabela 13 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 3 de um poço de produção com *liner*.

Tabela 13 - Fase 3 da sequência operacional de um poço de produção com *liner*

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)		
Fase 3 (Com liner)	13,19		0,66	4,98%	
Atividade: Estrutura de poço	4,89	37,05%	0,06	9,52%	
Operação 1: Revestimento tipo liner de Intermediário/Produção	4,75	97,23%	0,05	83,33%	
Etapa 1: Preparativo cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,30	6,36%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,42	29,82%	0,02	40,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 5: Conectando stinger	0,57	12,06%	0,00	0,00%	
Etapa 6: Descendo revestimento no poço	1,26	26,54%	0,01	20,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 7: Assentando e testando - revestimento	0,05	1,10%	0,00	0,00%	
Etapa 8: Circulando para cimentar	0,10	2,19%	0,00	0,00%	
Etapa 9: Cimentando	0,34	7,24%	0,02	40,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 10: Retirando coluna de assentamento	0,70	14,69%	0,01	20,00%	
Operação 2: Revestimento Intermediário/Produção	0,14	2,77%	0,01	16,67%	
Etapa 1: Energizando CVU	0,14	100,00%	0,01	100,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Fonte: Autor (2023).

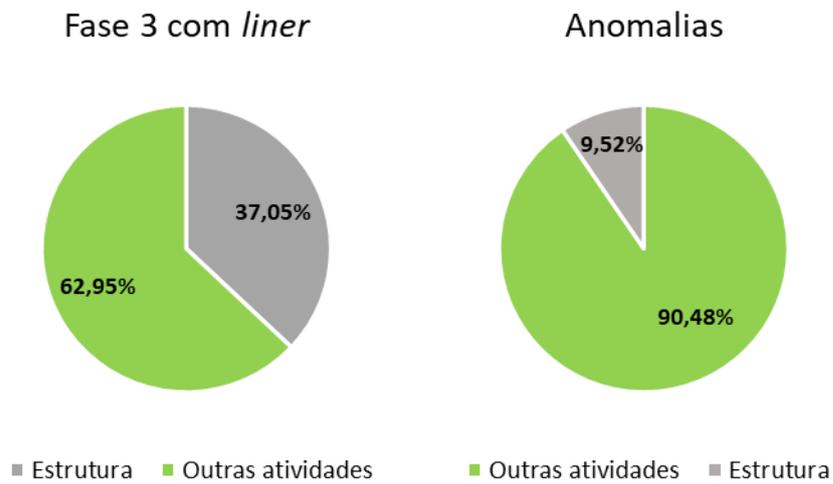
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 4,89 dias, o que representa 37,05% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado nas operações ‘revestimento tipo *liner* de intermediário/produção’ e ‘revestimento intermediário/produção’, divididas em 97,23% e 2,77%, respectivamente. A primeira foi dividida em 10 etapas, em que as maiores foram ‘montando/acunhando por unidade’, ‘conectando *stinger*’, ‘descendo revestimento no poço’ e ‘retirando coluna de assentando’, nas proporções de 28,82%, 12,06%, 26,54% e 14,69% da operação, respectivamente. Já o segundo foi inteiramente destinado a etapa ‘energizando CVU’.

As anomalias compreenderam 0,66 dias, representando 9,52% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço. Para a primeira operação concentraram-se nas etapas ‘montando/acunhando por unidade’, ‘descendo revestimento no poço’ e ‘cimentando’, divididas em 40%, 20% e 40%, respectivamente. Já para a segunda operação, as anomalias encontradas se concentraram apenas na etapa ‘energizando CVU (conjunto de vedação universal)’.

Todas as anomalias presentes na fase 3 com *liner* foram do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, independentemente da operação ou etapa.

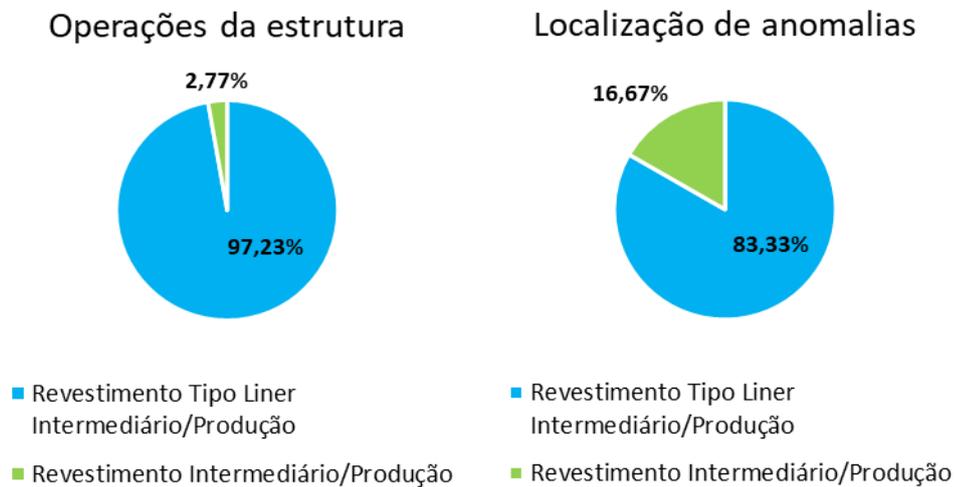
Na Figura 33 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 3 com *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 34 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 3 com *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 33 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 com *liner* de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

Figura 34 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 com *liner* de um poço de produção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 14 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 3 de um poço de produção sem *liner*.

Tabela 14 - Fase 3 da sequência operacional de um poço de produção sem *liner*

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 3 (Sem liner)	17,60		2,48	14,08%
Atividade: Estrutura de poço	6,10	34,67%	0,92	37,25%
Operação 1: Revestimento Intermediário/Produção	4,23	69,28%	0,92	100,00%
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,00	0,00%	0,01	1,50%
Etapa 2: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,14	3,28%	0,00	0,00%
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,36	32,18%	0,00	0,00%
Etapa 5: Descendo revestimento no poço	1,42	33,66%	0,72	77,44%
Etapa 6: Preparativo cimentação	0,11	2,63%	0,00	0,00%
Etapa 7: Circulando para cimentar	0,36	8,54%	0,19	21,05%
Etapa 8: Cimentando	0,46	10,84%	0,00	0,00%
Operação 2: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	0,54	8,87%	0,00	0,00%
Etapa 1: Energizando CVU/CVE	0,33	60,26%	0,00	0,00%
Etapa 2: Retirando coluna de instalação	0,22	39,74%	0,00	0,00%
Operação 3: Instalação de bucha de desgaste	0,22	3,64%	0,00	0,00%
Etapa 1: Retirando coluna de instalação	0,22	100,00%	0,00	0,00%
Operação 4: Instalação de LDB / LDS	1,11	18,20%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando coluna de instalação	0,76	68,13%	0,00	0,00%
Etapa 2: Descendo coluna de instalação	0,08	7,50%	0,00	0,00%
Etapa 3: Jateando CABP	0,03	2,50%	0,00	0,00%
Etapa 4: Assentando e testando	0,24	21,88%	0,00	0,00%

→ Falha da Equipe na Execução

→ Falha da Equipe na Execução Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

→ Indisponibilidade Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 6,10 dias, o que representa 34,67% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento intermediário/produção’, ‘instalação de CVU/CVE (conjunto de vedação universal/conjunto de vedação específica) – manobra dedicada’, ‘instalação de bucha de desgaste’ e ‘instalação de LDB/LDS’, divididas em 69,28%, 8,87%, 3,64% e 18,20% da fase, respectivamente.

O revestimento intermediário/produção foi dividido em 8 etapas, sendo as maiores ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘descendo revestimento no poço’, na proporção de 32,18% e 33,66%, respectivamente. Todas as anomalias se concentraram nesta operação, compreendendo 0,92 dias, ou 37,25% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, inseridas nas etapas montando/conectando conjunto suspensor’, ‘descendo revestimento do poço’ e ‘cimentando’, divididas em 1,5%, 77,44% e 21,05%, respectivamente.

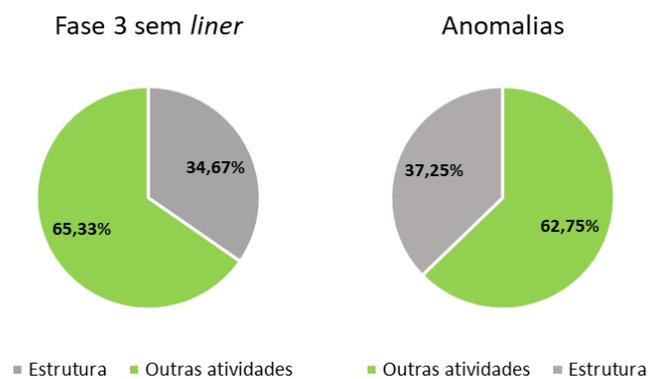
A instalação de CVU/CVE é composta pelas etapas ‘energizando CVU/CVE’ e ‘retirando a coluna de instalação’, divididas em 60,26% e 39,74%, respectivamente. A instalação da bucha de desgaste é composta apenas pela etapa retirando coluna de instalação. A instalação de LDB/LDS (equipamentos adicionais de travamento) foi dividida em 4 etapas, sendo as maiores

‘montando coluna de instalação’ e ‘assentando e testando’, compreendendo 68,13% e 21,88%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente na etapa ‘montando/conectando conjunto suspensor’ foi o de ‘falha da equipe na execução’. Na etapa ‘descendo revestimento do poço’, foram do tipo ‘falha de equipe na execução’ e ‘falha de equipamento de trabalho no poço’. Já na etapa ‘circulando para cimentar’, foram do tipo ‘indisponibilidade’ e ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

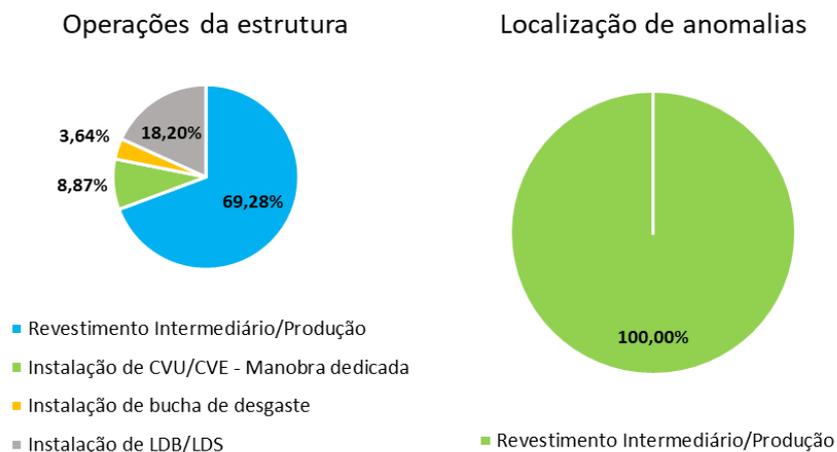
Na Figura 35 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 3 sem *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 36 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 3 sem *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 35 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 sem *liner* de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

Figura 36 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 sem *liner* de um poço de produção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.1.5 Fase 4

A quinta fase da perfuração fechou o ciclo onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração, sendo encontrada apenas em poços que possuem *liner*. Na Tabela 15 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 4 de um poço de produção com *liner*.

Tabela 15 - Fase 4 da sequência operacional de um poço de produção com *liner*

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)	
Fase 4 (Com liner)	12,79		0,83	6,51%
Atividade: Estrutura de poço	4,40	34,36%	0,51	61,25%
Operação 1: Revestimento Intermediário/Produção	3,44	78,20%	0,03	6,12%
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 2: Montando manuseio de revestimento	0,25	7,27%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,88	54,55%	0,02	66,67%
Etapa 5: Descendo revestimento no poço	0,76	22,12%	0,00	0,00%
Etapa 6: Preparativo cimentação	0,01	0,30%	0,00	0,00%
Etapa 7: Circulando para cimentar	0,13	3,78%	0,00	0,00%
Etapa 8: Cimentando	0,23	6,67%	0,00	0,00%
Etapa 9: Retirando coluna de assentamento	0,18	5,31%	0,01	33,33%
Operação 2: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	0,96	21,80%	0,48	93,88%
Etapa 1: Energizando CVU/CVE	0,96	100,00%	0,48	100,00%

→ Falha da Equipe na Execução

→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

→ Falha da Equipe na Execução

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 4,40 dias, o que representa 34,36% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento intermediário/produção’, ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, divididos em 78,20% e 21,80% da fase, respectivamente.

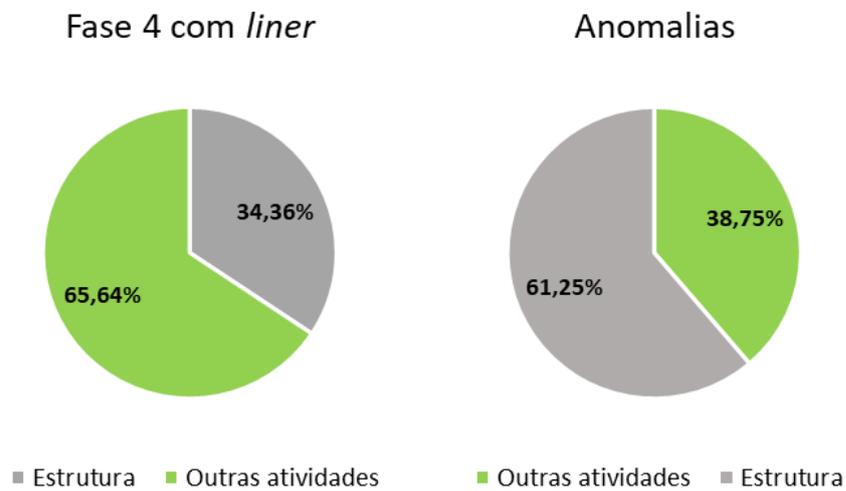
O revestimento intermediário/produção foi dividido em 9 etapas, sendo as maiores ‘montando/acunhando por unidade e retirando coluna de assentamento’, compreendendo 66,67% e 33,66%, respectivamente. A instalação de CVU/CVE é composta apenas pela etapa ‘energizando CVU/CVE’.

As anomalias compreenderam 0,83 dias, representando 61,65% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço. Para a primeira operação, as anomalias concentraram-se nas etapas ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘retirando coluna de assentamento’, divididas em 66,67% e 33,33%, respectivamente. Já para a segunda operação, as anomalias encontradas se concentraram apenas na etapa ‘energizando CVU’.

Na operação ‘revestimento intermediário/produção’, o tipo de anomalia presente na etapa ‘montando/acunhando por unidade’ foi o de ‘falha de equipe na execução’, e na etapa ‘retirando coluna de assentamento’, foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’. Já na operação ‘instalação de CVU/CVE’, a etapa ‘energizando CVU/CVE’ apresentou anomalia do tipo ‘falha da equipe na execução’.

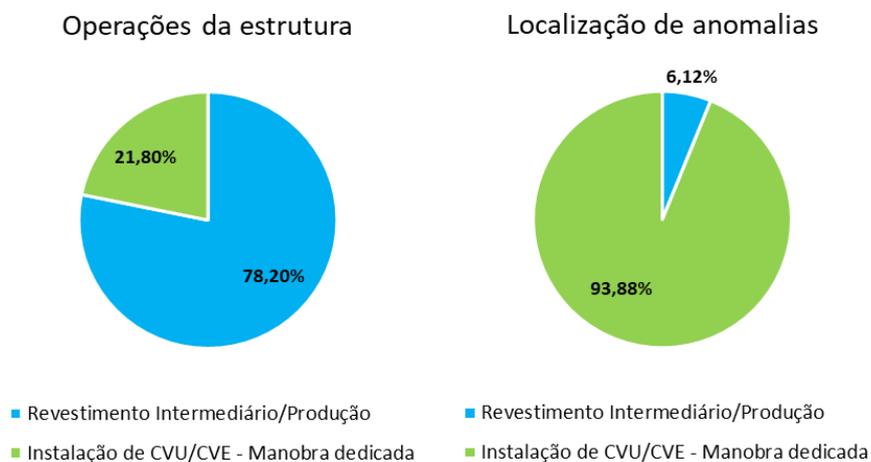
Na Figura 37 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 3 com *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 38 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 4 com *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 37 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 com *liner* de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

Figura 38 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 com *liner* de um poço de produção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

a) Fase 5

A sexta fase da perfuração foi onde se deu a finalização da perfuração, buscando-se a estabilização do poço, sendo encontrada apenas em poços que possuem *liner*. Na Tabela 16 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 5 de um poço de produção com *liner*.

Tabela 16 - Fase 5 da sequência operacional de um poço de produção com *liner*

POÇO DE PRODUÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)		
Fase 5 (Com liner)	42,56	54,89%	5,33	12,53%	
Atividade: Estrutura de poço	10,33	24,28%	2,60	48,83%	
Operação 1: Recuperação de bucha de desgaste	0,98	9,48%	0,00	0,00%	
Etapa 1: Preparando plataforma	0,67	68,09%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Descendo coluna de recuperação	0,17	17,02%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Desassentando	0,01	1,06%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Retirando coluna de recuperação	0,14	13,83%	0,00	0,00%	
Operação 2: Revestimento Intermediário/Produção	5,08	49,19%	0,60	23,20%	
Etapa 1: Preparando plataforma	0,11	2,25%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Montando manuseio de revestimento	0,15	2,87%	0,00	0,00%	
Etapa 5: Montando/acunhando por unidade	2,15	42,21%	0,56	93,10%	→ Falha da Equipe na Execução / Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 6: Descendo revestimento no poço	0,38	7,38%	0,00	0,00%	
Etapa 7: Preparativo cimentação	0,02	0,41%	0,00	0,00%	
Etapa 8: Circulando para cimentar	0,09	1,84%	0,00	0,00%	
Etapa 9: Cimentando	0,19	3,69%	0,04	6,90%	→ Falha de Equipamento de Trabalho
Etapa 10: Trocando fluido	0,80	15,78%	0,00	0,00%	
Operação 3: Condicionamento de revestimento/liner	1,54	14,92%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Preparando plataforma	1,54	100,00%	0,00	0,00%	
Operação 3: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	1,64	15,89%	1,94	74,40%	
Etapa 1: Energizando CVU/CVE	0,46	28,30%	0,08	4,30%	→ Falha da Equipe na Execução
Etapa 2: Retirando coluna de instalação	1,18	71,70%	1,85	95,70%	→ Falha de Equipamento de Trabalho / Falha da Equipe na Execução
Operação 4: Perfilagem para avaliação da cimentação	1,30	12,60%	0,06	2,40%	
Etapa 1: Montando equiptos de cabo/arame	1,06	81,60%	0,06	100,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho
Etapa 2: Perfilando cimentação	0,21	16,00%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Desmobilizando equiptos de cabo/arame	0,03	2,40%	0,00	0,00%	

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 10,33 dias, o que representa 24,28% da duração total real da fase. Esse tempo se destinou às operações 'recuperação da bucha de

desgaste’, ‘revestimento intermediário/produção’, ‘condicionamento de revestimento/*liner*’, ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’ e ‘perfilagem para avaliação de cimentação’, divididos em 9,48%, 49,19%, 14,92%, 15,89% e 12,60%, respectivamente.

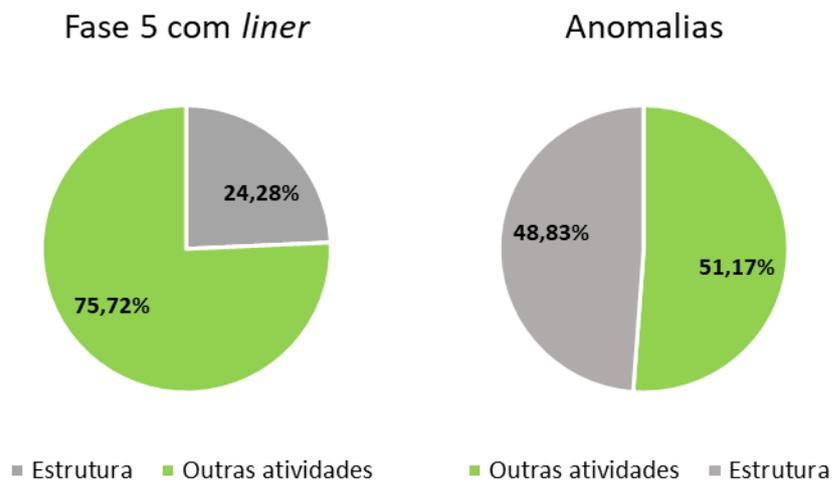
A recuperação de bucha de desgaste foi dividida em 4 etapas, sendo as maiores ‘preparando plataforma’, ‘descendo coluna de recuperação’ e ‘retirando coluna de recuperação’, compreendendo 68,09%, 17,02% e 13,83%, respectivamente. O revestimento intermediário/produção foi dividido em 10 etapas, sendo as maiores ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘trocando fluido’, compreendendo 42,21% e 15,78%, respectivamente. O condicionamento de revestimento/*liner* contém apenas a etapa ‘preparando plataforma’. A instalação de CVU/CVE contém apenas as etapas ‘energizando CVU/CVE’ e ‘retirando coluna de instalação’, divididas em 28,30% e 71,70%, respectivamente. A perfilagem para avaliação de cimentação é composta das etapas ‘montando equipamentos de cabo/aramé’, ‘perfilando cimentação’ e ‘desmobilizando equipamentos de cabo/aramé’, compreendendo 81,60%, 16,00% e 2,40%, respectivamente.

As anomalias compreenderam 2,60 dias, representando 48,83% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço. Para o revestimento intermediário/produção, elas se concentraram nas etapas ‘montando/acunhando unidade’ e ‘cimentando’, divididas em 93,10% e 6,90%, respectivamente. Para a instalação de CVU/CVE – manobra dedicada, elas se dividem entre as duas etapas nas proporções de 4,30% e 95,70%. Para a perfilagem para avaliação de cimentação as anomalias se concentraram na única etapa ‘montando equipamentos de cabo/aramé’.

Na operação ‘revestimento intermediário/produção’, as anomalias presentes na etapa montando/acunhando por unidade foram dos tipos ‘falha de equipe na execução’ e ‘falha de equipamentos de trabalho no poço’, e na etapa ‘cimentando’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’. Na operação ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, a anomalia presente na etapa ‘energizando CVU/CVE’ foi do tipo ‘falha da equipe na execução’, e na etapa ‘retirando coluna de instalação’ foram dos tipos ‘falha de equipamento de trabalho no poço’ e ‘falha da equipe na execução’. Já na operação ‘perfilando para avaliação da cimentação’, a anomalia presente na etapa ‘montando equipamentos de cabo/aramé’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

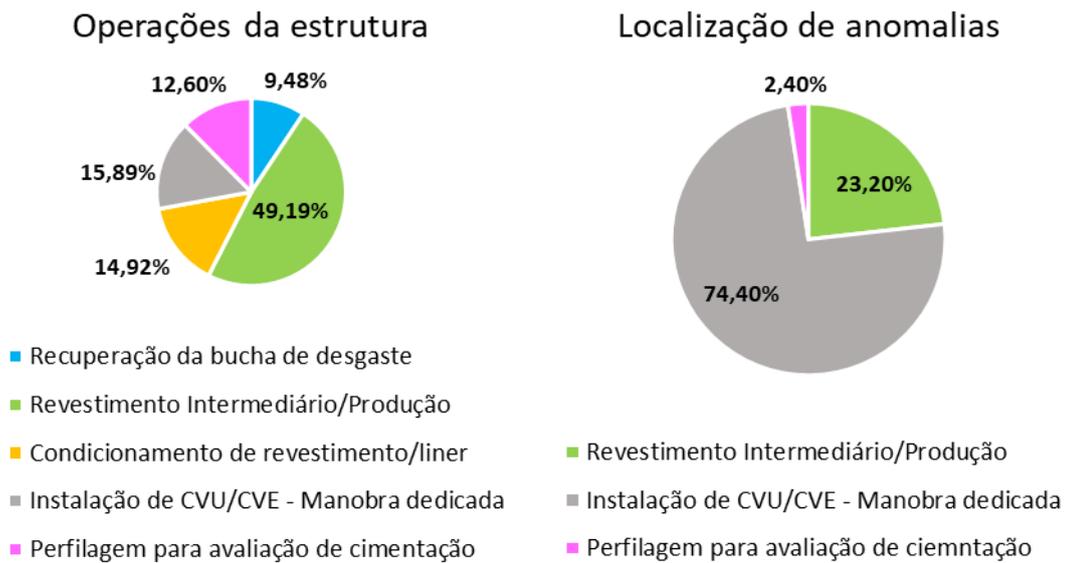
Na Figura 39 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 3 com *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 40 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 5 com *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 39 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 5 com *liner* de um poço de produção



Fonte: Autor (2023).

Figura 40 - Distribuição das operações da estrutura na fase 5 com *liner* de um poço de produção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.2 Poço de injeção

4.3.2.1 Fase 0

A primeira fase da perfuração foi marcada pelas ações de preparação para a construção do poço. Desta forma, teve caráter mais logístico do que de fato construtivo. Na Tabela 17 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 0 de um poço de injeção.

Tabela 17 - Fase 1 da sequência operacional de um poço de injeção

POÇO DE INJEÇÃO	Duração		Anomalias		
	Total	Real	(dias)	(dias)	
Fase 0	3,17	18,06%	1,38	43,42%	
Atividade: Estrutura de poço	0,48	15,00%	0,22	15,91%	
Operação 1: Revestimento condutor	0,40	83,33%	0,22	100,00%	
Etapa 1: Montando seção de cimentação	0,14	35,79%	0,02	9,52%	→ Falha da Equipe de Projeto
Etapa 2: Montando/acunhando por seção	0,08	20,00%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Descendo revestimento em mar aberto	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	0,16	40,00%	0,20	90,48%	→ Condições Ambientais Adversas do Mar
Operação 2: Revestimento de superfície	0,08	16,67%	0,00	0,00%	
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,08	100,00%	0,00	0,00%	

Fonte: Autor (2023).

Nesta fase se deu o início da preparação para a construção do revestimento condutor, a primeira porção de revestimento estabelecida no poço. Ainda não houve menção à descida de revestimentos ou cimentação, que ocorrerá na próxima fase.

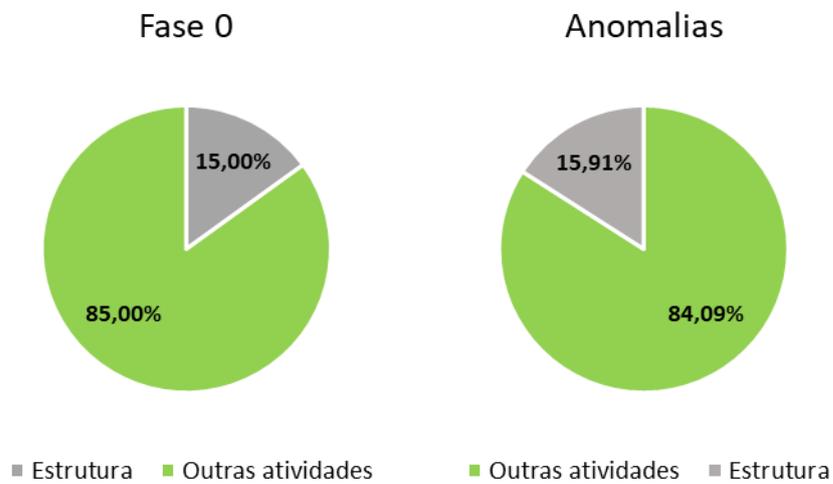
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 0,48 dias, o que representa 15,00% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento condutor’ e ‘revestimento de superfície’, representado 83,33% e 16,67% da duração da atividade, respectivamente. O revestimento condutor foi dividido em 4 etapas, sendo as maiores ‘montando seção de cimentação’, ‘montando/acunhando por seção’ e ‘montando/acunhando por unidade’, divididas em 35,79%, 20,00% e 40,00%, respectivamente. O revestimento de superfície contou apenas com a etapa ‘montando/conectando conjunto suspensor’.

As anomalias compreenderam 0,22 dias, representando 15,91% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, concentrando-se no revestimento condutor, mais especificamente nas etapas ‘montando seção de cimentação’ e ‘montando/acunhando por unidade’, divididas em 9,52% e 90,48%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente na etapa ‘montando seção de cimentação’ é o de ‘falha da equipe na execução’. Na etapa ‘montando/acunhando por unidade’, é do tipo ‘condições ambientais adversas do mar’.

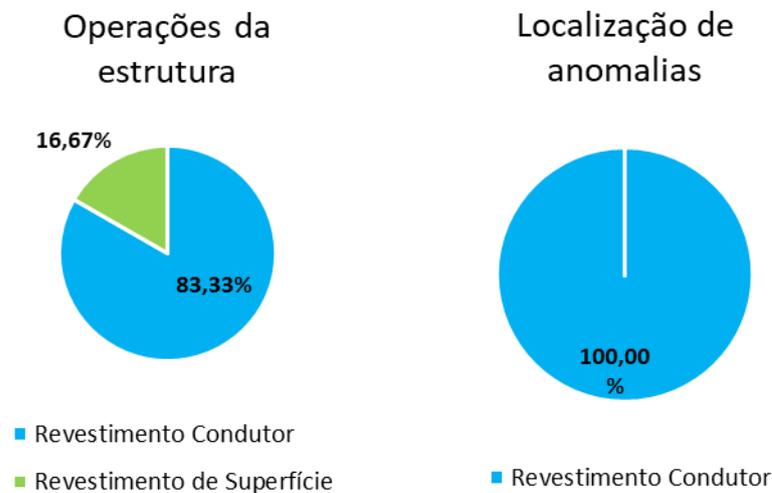
Na Figura 41 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 0 e para anomalias observadas. Na Figura 42 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 0 e a localização das anomalias observadas.

Figura 41 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 0 de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 42 - Distribuição das operações da estrutura na fase 0 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.2.2 Fase 1

A segunda fase da perfuração foi de fato onde a construção do poço se iniciou. Desta forma, se teve um volume de atividade de estrutura de poço maior que a anterior. Na Tabela 18 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 1 de um poço de injeção.

Tabela 18 - Fase 1 da sequência operacional de um poço de injeção

POÇO DE INJEÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)		
Fase 1	3,28		0,10	3,17%	
Atividade: Estrutura de poço	1,89	57,51%	0,07	70,00%	
Operação 1: Revestimento condutor	1,73	91,54%	0,07	100,00%	
Etapa 1: Preparando plataforma	0,12	6,83%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Montando/acunhando por unidade	0,30	17,27%	0,05	71,43%	→ Falha da Equipe na Execução
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,05	2,81%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Conectando stinger	0,01	0,80%	0,00	0,00%	
Etapa 5: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,08	4,82%	0,02	28,57%	→ Falha da Equipe na Execução
Etapa 6: Descendo revestimento em mar aberto	0,46	26,51%	0,00	0,00%	
Etapa 7: Descendo revestimento no poço	0,06	3,21%	0,00	0,00%	
Etapa 8: Preparativo cimentação	0,07	4,02%	0,00	0,00%	
Etapa 9: Circulando para cimentar	0,04	2,41%	0,00	0,00%	
Etapa 10: Cimentando	0,18	10,44%	0,00	0,00%	
Etapa 11: Retirando coluna de assentamento	0,35	20,48%	0,00	0,00%	
Operação 2: Revestimento de superfície	0,16	8,46%	0,00	0,00%	
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,16	100,00%	0,00	0,00%	

Fonte: Autor (2023).

Nesta fase se deu o início da construção do revestimento condutor, compreendendo todas a suas etapas, e se deu início também, ao revestimento de superfície, ainda em sua primeira etapa. O restante das etapas do revestimento de superfície é executado em fases posteriores.

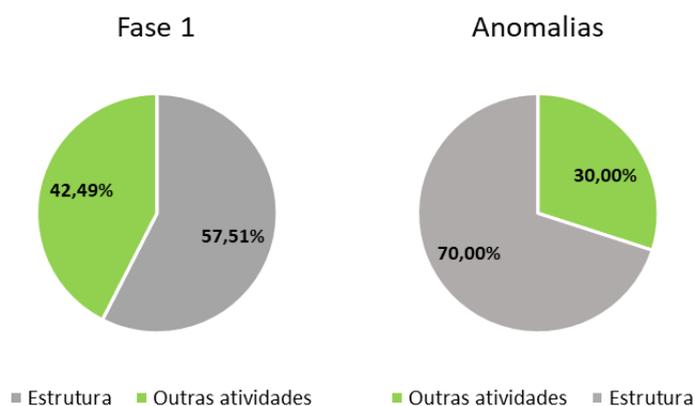
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 1,89 dias, o que representa 57,51% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento condutor’ e ‘revestimento de superfície’, 91,54% e 8,46%, respectivamente. O revestimento condutor foi dividido em 11 etapas, em que as maiores são ‘montando/acunhando por unidade’, ‘descendo revestimento em mar aberto’, ‘cimentando’ e ‘retirando coluna de assentamento’, compreendendo 17,27%, 26,51%, 10,44% e 20,48%, respectivamente. Já o revestimento de superfície contou apenas com a etapa ‘montando/conectando conjunto suspensor’.

As anomalias compreenderam 0,07 dias, representando 70,00% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, concentrando-se no revestimento condutor, mais especificamente nas etapas ‘preparando montando/acunhando por unidade’ e ‘montando/conectando conjunto suspensor’, divididas em 71,43% e 28,57%, respectivamente.

Todas as anomalias presentes na fase 1 foram do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, independente da operação ou etapa.

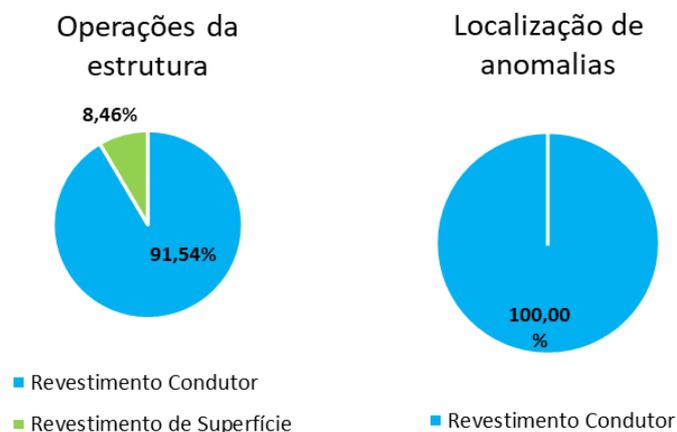
Na Figura 43 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 1 e para anomalias observadas. Na Figura 44 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 1 e a localização das anomalias observadas.

Figura 43 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 1 de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 44 - Distribuição das operações da estrutura na fase 1 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.2.3 Fase 2

A terceira fase da perfuração foi o início do ciclo onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. Na Tabela 19 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 2 de um poço de injeção.

Tabela 19 - Fase 2 da sequência operacional de um poço de injeção

POÇO DE INJEÇÃO	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 2	12,28		1,09	8,90%
Atividade: Estrutura de poço	4,10	33,34%	0,09	8,10%
Operação 1: Revestimento de superfície	4,08	99,69%	0,09	100,00%
Etapa 1: Preparando plataforma	0,30	7,45%	0,04	41,18%
Etapa 2: Montando/acunhando por unidade	0,90	22,04%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,14	3,37%	0,00	0,00%
Etapa 4: Conectando stinger	0,22	5,31%	0,00	0,00%
Etapa 5: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,12	2,96%	0,00	0,00%
Etapa 6: Descendo revestimento em mar aberto	0,23	5,71%	0,00	0,00%
Etapa 7: Descendo revestimento no poço	0,39	9,49%	0,00	0,00%
Etapa 8: Preparativo cimentação	0,05	1,22%	0,00	0,00%
Etapa 9: Circulando para cimentar	0,07	1,73%	0,00	0,00%
Etapa 10: Cimentando	0,30	7,35%	0,01	11,76%
Etapa 11: Retirando coluna de assentamento	1,34	32,86%	0,04	47,06%
Operação 2: Instalação de bucha de desgaste	0,01	0,31%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando coluna de instalação	0,01	100,00%	0,00	0,00%

Falha da Equipe na Execução

Exigências de Órgãos Internos Reguladores

Falha de Equipamento de Trabalho no

Falha da Equipe na Execução

Exigências de Órgãos Internos Reguladores

Fonte: Autor (2023).

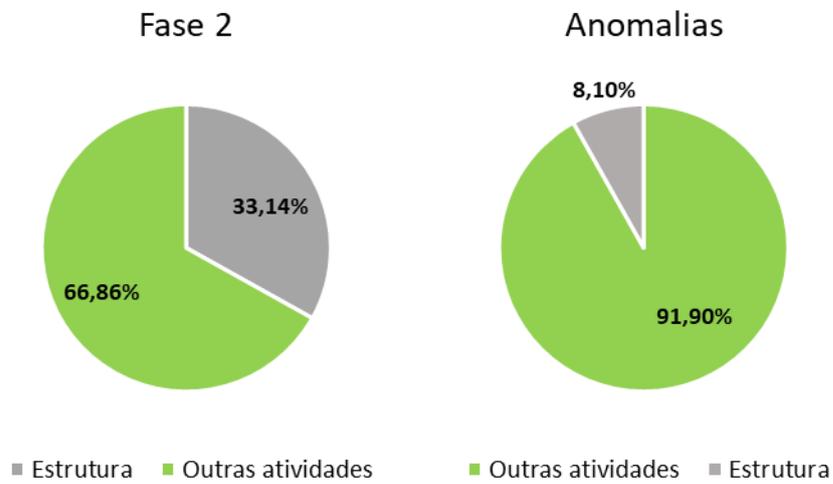
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 4,10 dias, o que representa 33,34% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações 'revestimento de superfície' e 'instalação da bucha de desgaste', nas proporções de 99,69% e 0,31%, respectivamente. O revestimento de superfície foi dividido em 11 etapas, sendo as maiores 'montando/acunhando por unidade' e 'retirando coluna de assentamento', nas proporções de 22,04% e 32,86%, respectivamente. A instalação de bucha de desgaste é composta apenas pela etapa 'montando coluna de instalação'.

As anomalias compreenderam 0,09 dias, representando 8,10% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, concentrando-se no revestimento de superfície, mais especificamente nas etapas 'preparando plataforma', 'cimentando' e 'retirando coluna de assentamento', nas proporções de 41,18%, 11,6% e 47,06%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente na etapa ‘preparando plataforma’ é ‘falha de equipe na execução’. Na etapa ‘cimentando’, o tipo de falha é ‘exigências de órgãos internos reguladores’. Já na etapa ‘retirando coluna de assentamento’, os tipos presentes são ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, ‘falha de equipe na execução’ e ‘exigências de órgãos internos reguladores’.

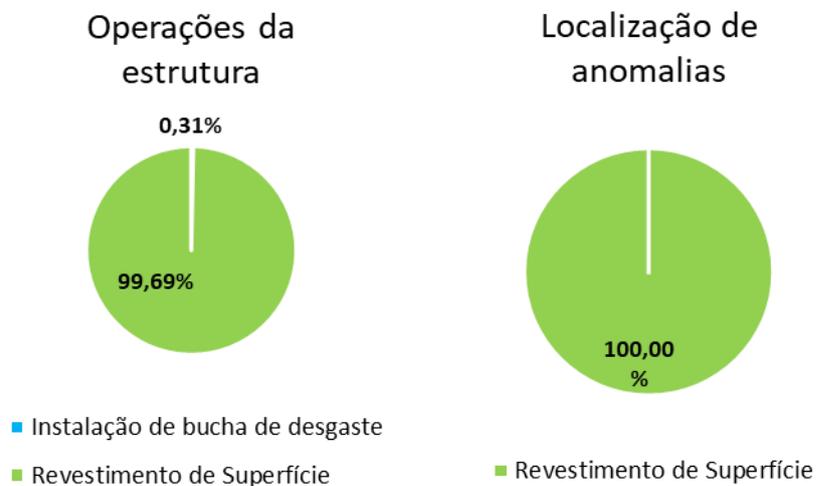
Na Figura 45 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 2 e para anomalias observadas. Na Figura 46 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 2 e a localização das anomalias observadas.

Figura 45 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 2 de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 46 - Distribuição das operações da estrutura na fase 2 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.2.4 Fase 3

A quarta fase da perfuração continuou o ciclo de onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. Na Tabela 20 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 3 de um poço de injeção.

Tabela 20 - Fase 3 da sequência operacional de um poço de injeção

POÇO DE INJEÇÃO	Duração Total		Anomalias					
	Real (dias)		(dias)					
Fase 3	15,05		2,47	16,43%				
Atividade: Estrutura de poço	6,23	41,37%	1,41	57,16%				
Operação 1: Instalação de bucha de desgaste	0,16	2,63%	0,00	0,00%				
Etapa 1: Descendo coluna de recuperação	0,07	41,82%	0,00	0,00%				
Etapa 2: Assentando PS/BA	0,01	5,45%	0,00	0,00%				
Etapa 3: Desassentando PS/BA	0,01	3,64%	0,00	0,00%				
Etapa 4: Retirando coluna de recuperação	0,06	34,55%	0,00	0,00%				
Etapa 5: Desmobilizando coluna de recuperação	0,02	14,55%	0,00	0,00%				
Operação 2: Revestimento Intermediário/Produção	4,04	64,91%	0,25	17,47%				
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,21	5,09%	0,01	6,02%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço	Condições Ambientais Adversas do Mar	
Etapa 2: Montando seção de cimentação	0,09	2,13%	0,00	1,20%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço		
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,18	4,57%	0,01	3,61%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço		
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,45	35,95%	0,10	38,55%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço	Condições Ambientais Adversas do Mar	Falha de Componentes do Poço
Etapa 5: Descendo revestimento no poço	0,86	21,39%	0,17	70,28%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço	Falha da Equipe na Execução	Condições Ambientais Adversas do Mar
Etapa 6: Preparativo cimentação	0,05	1,29%	0,00	0,00%				
Etapa 7: Circulando para cimentar	0,16	3,87%	0,00	0,00%				
Etapa 8: Cimentando	0,34	8,31%	0,04	16,87%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço		
Etapa 9: Retirando coluna de assentamento	0,05	1,20%	0,00	0,00%				
Operação 3: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	1,81	29,01%	1,03	73,05%				
Etapa 1: Montando coluna de instalação	0,12	6,73%	0,00	0,00%				
Etapa 2: Descendo coluna de instalação	0,02	1,35%	0,00	0,00%				
Etapa 3: Jateando CABP	0,16	9,03%	0,00	0,00%				
Etapa 4: Energizando CVU/CVE	0,32	17,63%	0,00	0,00%				
Etapa 5: Retirando coluna de instalação	1,18	65,40%	1,03	100,00%	→	Falha da Equipe na Execução	Exigências de Órgãos Internos Reguladores	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 6: Assentando e testando	0,18	9,72%	0,00	0,00%				
Operação 4: Recuperação de CVU/CVE	0,24	3,85%	0,00	0,00%				
Etapa 1: Descendo coluna de recuperação	0,12	51,09%	0,00	0,00%				
Etapa 2: Jateando CABP	0,12	48,91%	0,00	0,00%				
Operação 5: Instalação de bucha de desgaste	0,12	1,91%	0,02	1,68%				
Etapa 1: Montando coluna de instalação	0,01	10,00%	0,00	0,00%				
Etapa 2: Retirando coluna de instalação	0,11	90,00%	0,00	12,50%	→	Falha de Equipamento de Trabalho no Poço		

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 6,23 dias, o que representa 41,37% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações 'instalação de bucha de desgaste', 'revestimento intermediário/produção', 'instalação de CVU/CVE – manobra dedicada', 'recuperação de CVU/CVE' e 'instalação de bucha de desgaste', divididos em 2,63%, 64,91%, 29,01% e 1,91%, respectivamente.

A primeira instalação de bucha de desgaste foi dividida em 5 etapas, onde as maiores são 'descendo coluna de recuperação', 'retirando coluna de recuperação' e 'desmobilizando coluna de recuperação', representando 41,82%, 34,55% e 14,55%, respectivamente. O revestimento intermediário/produção foi dividido em 9 etapas, onde as maiores são 'montando/acunhando por unidade' e 'descendo revestimento do poço', representando 35,95% e 21,39%, respectivamente. A instalação de CVU/CVE – manobra dedicada foi dividida em 6 etapas, onde as maiores são 'energizando CVU/CVE' e 'retirando coluna de instalação', representando 17,63% e 65,40%, respectivamente. A recuperação de CVU/CVE foi composta pelas etapas 'descendo coluna de recuperação' e 'jateando CABP (cabeça do poço)', divididas em 51,09% e 48,91%, respectivamente. A segunda instalação de bucha de desgaste foi composta pelas etapas 'montando coluna de instalação' e 'retirando coluna de instalação', divididas em 10,00% e 90,00%, respectivamente.

As anomalias compreenderam 1,41 dias, representando 57,16% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, e se concentrando nas operações 'revestimento intermediário/produção', 'instalação de CVU/CVE' e 'instalação de bucha de desgaste', divididas em 17,47%, 73,05% e 1,68%, respectivamente.

Para o revestimento intermediário/produção, as anomalias se concentraram nas etapas 'montando/conectando conjunto suspensor', 'montando seção de cimentação', 'montando manuseio de revestimento', 'montando/acunhando por unidade', 'descendo revestimento no poço' e 'cimentando', divididas em 6,02%, 1,20%, 3,61%, 38,55%, 70,28% e 16,87%, respectivamente. Para a instalação de CVU/CVE – manobra dedicada, as anomalias se concentraram na etapa 'retirando coluna de instalação'. Para a instalação da bucha de desgaste, as anomalias se concentraram na etapa 'retirando coluna de instalação'.

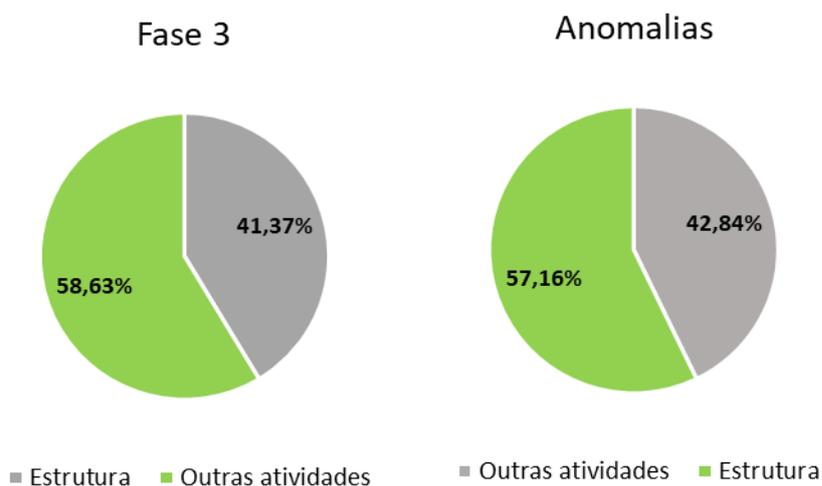
Na operação 'revestimento intermediário/produção', as anomalias presentes na etapa 'montando/conectando conjunto suspensor' foram dos tipos 'falha de equipamento de trabalho no poço' e 'condições ambientais adversas no mar'. Nas etapas 'montando seção de

cimentação’ e ‘montando manuseio de revestimento’, foram do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’. Na etapa ‘montando/acunhando por unidade’, foram dos tipos ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, ‘condições ambientais adversas no mar’ e ‘falha de componentes do poço’. Na etapa ‘descendo revestimento no poço’, foram dos tipos ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, ‘falha de equipe na execução’ e ‘condições ambientais adversas no mar’. Na etapa ‘cimentando’, foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

Na operação ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, as anomalias presentes na etapa ‘retirando coluna de instalação’ foram dos tipos ‘falha da equipe na execução’, ‘exigências de órgãos internos reguladores’, ‘falha de equipamento de trabalho no poço’ e ‘indisponibilidade’. Já na operação ‘instalação de bucha de desgaste’, o tipo de anomalia presente foi ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

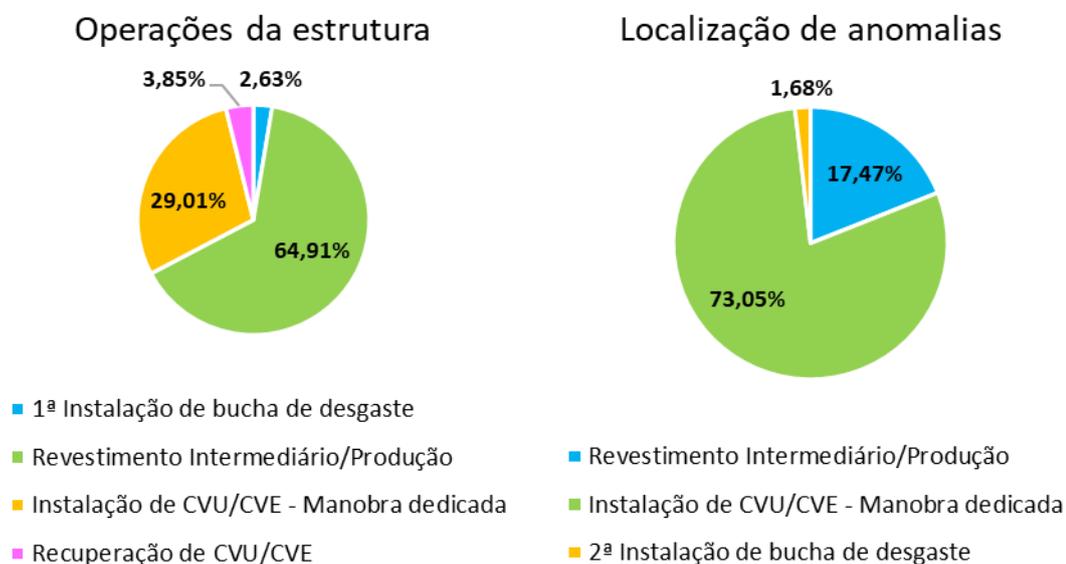
Na Figura 47 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 3 e para anomalias observadas. Na Figura 48 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 3 e a localização das anomalias observadas.

Figura 47 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 48 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.2.5 Fase 4

A quinta fase da perfuração fechou o ciclo de onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. A existência ou não de *liner* no poço criou uma bifurcação nas opções de sequência operacional, visto que existem etapas específicas que dependem da existência ou não do *liner* para serem executadas. Na Tabela 21 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 4 de um poço de injeção com *liner*.

Tabela 21 - Fase 4 da sequência operacional de um poço de injeção com *liner*

POÇO DE INJEÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)		
Fase 4 (Com liner)	25,25	0,00%	3,17	12,54%	
Atividade: Estrutura de poço	16,46	65,18%	3,15	99,34%	
Operação 1: Revestimento Intermediário/Produção	4,27	25,95%	0,17	5,30%	
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,69	16,10%	0,17	100,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,94	45,37%	0,00	0,00%	
Etapa 5: Descendo revestimento no poço	1,08	25,37%	0,00	0,00%	
Etapa 6: Preparativo cimentação	0,10	2,44%	0,00	0,00%	
Etapa 7: Circulando para cimentar	0,13	2,93%	0,00	0,00%	
Etapa 8: Cimentando	0,33	7,80%	0,00	0,00%	
Operação 2: Instalação de bucha de desgaste	4,17	25,32%	2,69	85,43%	Falha da Equipe na Execução Condições Ambientais Adversas do Mar
Etapa 1: Retirando coluna de instalação	4,17	100,00%	2,69	100,00%	→ Falha da Equipe de Projeto Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Operação 3: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	0,17	1,01%	0,08	2,65%	
Etapa 1: Energizando CVU/CVE	0,17	100,00%	0,08	100,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Operação 4: Instalação de LDB / LDS	1,04	6,33%	0,00	0,00%	
Etapa 1: Montando coluna de instalação	1,04	100,00%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Assentando e testando	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Operação 5: Condicionamento de revestimento/liner	5,98	36,33%	0,21	6,62%	
Etapa 1: Montando coluna	0,35	5,92%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Descendo coluna	0,50	8,36%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Condicionando revestimento/liner	1,19	19,86%	0,10	50,00%	→ Exigências de Órgãos Internos Reguladores
Etapa 4: Cortando cimento e acessórios	1,00	16,72%	0,00	0,00%	
Etapa 5: Condicionando topo de liner	0,71	11,85%	0,00	0,00%	
Etapa 6: Retirando BHA sem circulação em poço revestido/riser	0,92	15,33%	0,10	50,00%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 7: Desmobilizando coluna	0,77	12,89%	0,00	0,00%	
Operação 6: Perfilagem para avaliação da cimentação	0,83	5,06%	0,00	0,00%	
Etapa 1: Montando equipamentos de cabo/aramé	0,19	22,50%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Perfilando cimentação	0,60	72,50%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Desmobilizando equiptos de cabo/aramé	0,04	5,00%	0,00	0,00%	

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 16,46 dias, o que representa 65,18% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento intermediário/produção’, ‘instalação da bucha de desgaste’, ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, ‘instalação de LDB/LDS’, ‘condicionamento de revestimento/liner’ e ‘perfilagem para avaliação da cimentação’, divididas em 25,95%, 25,32%, 1,01%, 6,33%, 36,33% e 5,06%, respectivamente.

O revestimento intermediário/produção foi dividido em 8 etapas, sendo as maiores ‘montando manuseio de revestimento’, ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘descendo

revestimento do poço’, compreendendo 16,10%, 43,37% e 25,37%, respectivamente. A instalação da bucha de desgaste é composta apenas pela etapa ‘retirando coluna de instalação’. A instalação de CVU/CVE – manobra dedicada é composta apenas pela etapa ‘energizando CVU/CVE’. A instalação de LDB/LDS é composta pelas etapas ‘montando coluna de instalação’ e ‘assentando e testando’, sendo que 100,00% do tempo é destinado a primeira. A operação ‘condicionando revestimento/*liner*’ foi dividida em 7 etapas, sendo as maiores ‘condicionando revestimento/*liner*’, ‘cortando cimento e acessórios’, ‘condicionando topo de *liner*’ e ‘retirando BHA sem circulação em poço revestido/*riser*’, compreendendo 19,86%, 16,72%, 11,85%, 15,33% e 12,89%, respectivamente. A perfilagem para avaliação de cimentação foi dividida em 3 etapas, sendo as maiores ‘montando equipamentos de cabo/arame’ e ‘perfilando cimentação’, compreendendo 22,50% e 72,50%, respectivamente.

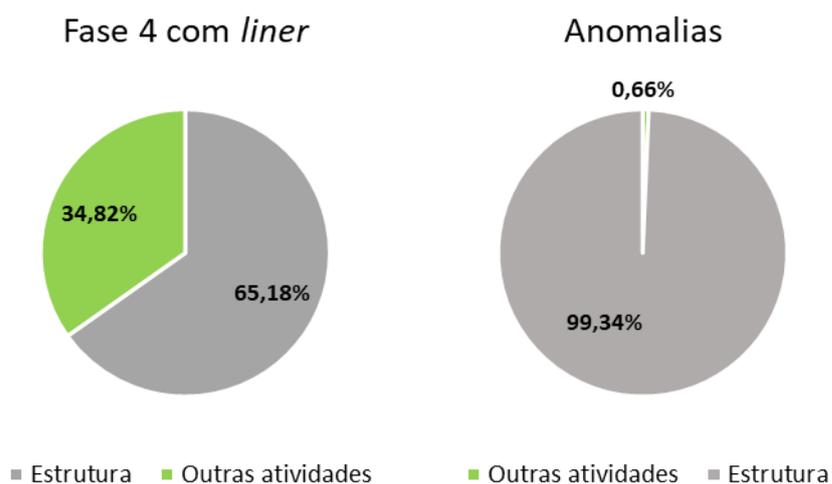
As anomalias compreenderam 3,15 dias, representando 99,34% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço. Para o revestimento intermediário/produção, elas se concentraram na etapa ‘montando manuseio de revestimento’. Para a instalação da bucha de desgaste elas se concentraram na etapa ‘retirando coluna de instalação’. Para operação ‘condicionamento de revestimento/*liner*’, elas se dividiram nas etapas ‘condicionando revestimento/*liner*’ e ‘retirando BHA sem circulação em poço revestido/*riser*’, nas proporções de 50,00% cada.

Na operação ‘revestimento intermediário/produção’, a anomalia presente na etapa ‘montando manuseio de revestido’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’. Na operação ‘instalação de bucha de desgaste’, as anomalias presentes na etapa ‘retirando coluna de instalação’ são dos tipos ‘falha da equipe de projeto’, ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, ‘condições ambientais adversas no mar’ e ‘falha da equipe na execução’. Na operação ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, a anomalia presente na etapa ‘energizando CVU/CVE’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

Na operação ‘condicionamento de revestimento/*liner*’, a anomalia presente na etapa ‘condicionando revestimento/*liner*’ foi do tipo ‘exigências de órgãos internos reguladores’ e a presente na etapa ‘retirando BHA sem circulação em poço revestido’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

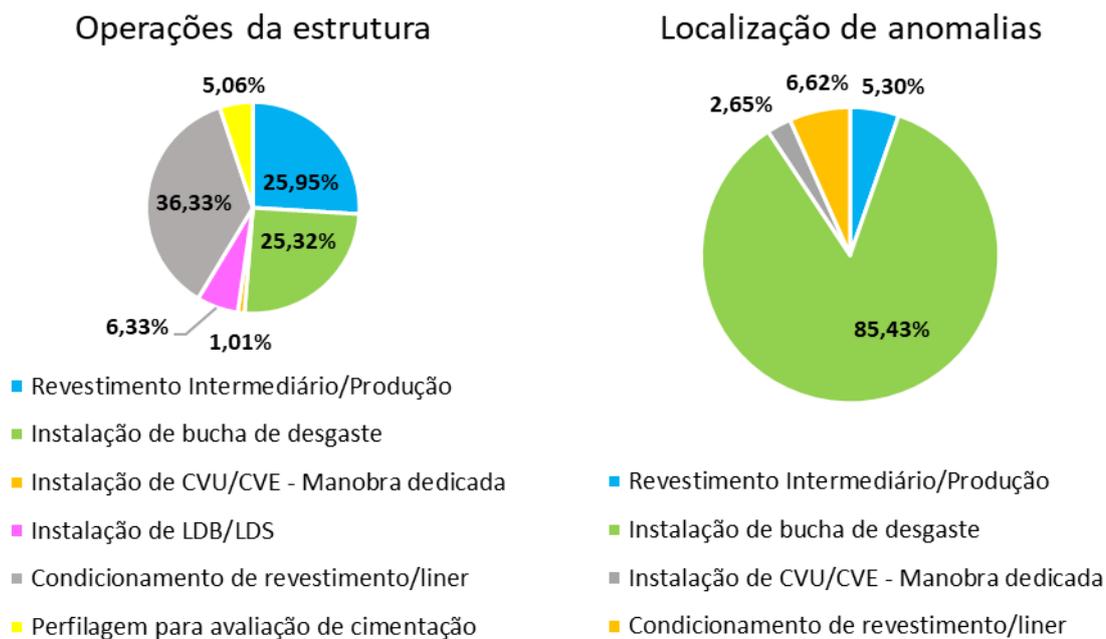
Na Figura 49 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 4 com *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 50 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 4 com *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 49 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 com *liner* de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 50 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 com *liner* de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 22 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 4 de um poço de injeção sem *liner*.

Tabela 22 - Fase 4 da sequência operacional de um poço de injeção sem *liner*

POÇO DE INJEÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)	
Fase 4 (Sem liner)	23,74		5,95	25,05%
Atividade: Estrutura de poço	8,06	33,96%	3,31	55,58%
Operação 1: Revestimento Intermediário/Produção	6,76	83,85%	1,58	47,90%
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,14	2,05%	0,00	0,00%
Etapa 2: Montando manuseio de revestimento	0,17	2,57%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando seção de cimentação	0,08	1,23%	0,00	0,00%
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,47	21,78%	0,00	0,00%
Etapa 5: Descendo revestimento no poço	0,51	7,50%	0,01	0,88%
Etapa 6: Preparativo cimentação	0,04	0,62%	1,57	99,12%
Etapa 7: Circulando para cimentar	1,70	25,17%	0,00	0,00%
Etapa 8: Cimentando	0,39	5,75%	0,00	0,00%
Operação 2: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	2,24	27,73%	1,72	52,10%
Etapa 1: Energizando CVU/CVE	2,24	100,00%	1,72	100,00%
Operação 3: Instalação de bucha de desgaste	0,27	3,36%	0,00	0,00%
Etapa 1: Retirando coluna de instalação	0,27	100,00%	0,00	0,00%
Operação 4: Teste de barreira de segurança - manobra dedicada	0,14	1,72%	0,00	0,00%
Etapa 1: Teste negativo de barreiras de segurança	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 2: Retirando coluna	0,14	100,00%	0,00	0,00%
Operação 5: Condicionamento de poço aberto com manobra dedicada	0,91	11,28%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando BHA	0,91	100,00%	0,00	0,00%

Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Problemas de Poço

Indisponibilidade

Falha da Equipe na Execução

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 8,06 dias, o que representa 33,96% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento intermediário/produção’, ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, ‘instalação da bucha de desgaste’, ‘teste de barreira de segurança – manobra dedicada’ e ‘condicionamento de poço aberto com manobra dedicada’, divididas em 83,85%, 25,73%, 3,36%, 1,72% e 11,28%, respectivamente.

O revestimento intermediário/produção foi dividido em 8 etapas, sendo as maiores ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘circulando para cimentar’, compreendendo 21,78% e 25,17%, respectivamente. A instalação de CVU/CVE – manobra dedicada é composta apenas pela etapa ‘energizando CVU/CVE’. A instalação da bucha de desgaste é composta apenas pela etapa ‘retirando coluna de instalação’. O teste de barreira de segurança – manobra dedicada foi dividido em 2 etapas, sendo que a etapa ‘retirando coluna’ representa 100,00% do tempo

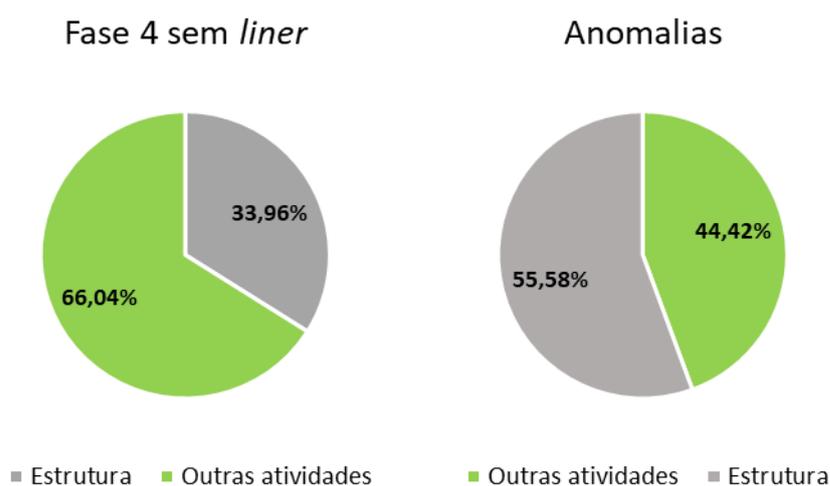
dedicado. O condicionamento de poço aberto com manobra dedicada é composto apenas pela etapa ‘montando BHA’.

As anomalias compreenderam 3,31 dias, representando 55,58% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço. Para o revestimento intermediário/produção, elas se concentraram nas etapas ‘descendo revestimento no poço’ e ‘preparativo cimentação’, se dividindo nas proporções de 0,88% e 99,12%, respectivamente. Para a instalação de CVU/CVE – manobra dedicada, elas se concentraram na etapa ‘energizando CVU/CVE’.

Na operação ‘revestimento intermediário/produção’, a anomalia presente na etapa ‘descendo revestimento no poço’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’, na etapa ‘preparativo cimentação’ as anomalias foram dos tipos ‘problemas no poço’ e ‘indisponibilidade’. Já na operação ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, a anomalia presente na etapa ‘energizando CVU/CVE’ foi do tipo ‘falha da equipe na execução’.

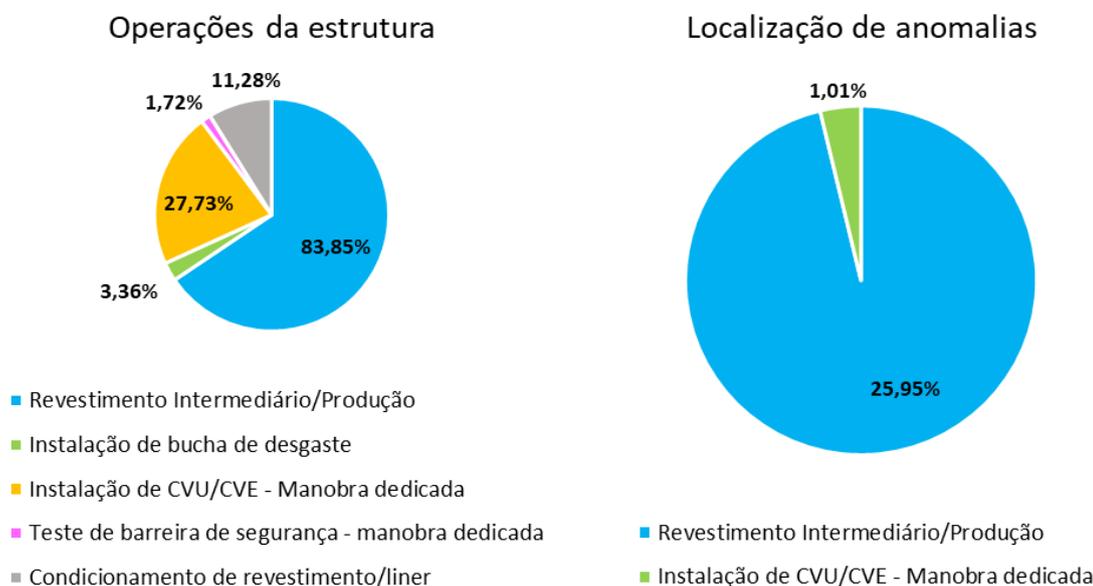
Na Figura 51 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 4 sem *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 52 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 4 sem *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 51 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 sem *liner* de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 52 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 sem *liner* de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.2.6 Fase 5

A sexta fase da perfuração, foi onde se deu a finalização da perfuração, buscando-se a estabilização do poço, sendo encontrada apenas em poços que possuem *liner*. Na Tabela 23 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 5 de um poço de injeção com *liner*.

Tabela 23 - Fase 5 da sequência operacional de um poço de injeção com *liner*

POÇO DE INJEÇÃO	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)	
Fase 5	21,45		0,85	3,98%
Atividade: Estrutura de poço	0,64	2,96%	0,02	2,44%
Operação 1: Condicionamento de poço aberto com manobra dedicada	0,05	8,20%	0,00	0,00%
Etapa 1: Preparando plataforma	0,05	100,00%	0,00	0,00%
Operação 2: Perfilagem para avaliação da cimentação	0,58	91,80%	0,02	100,00%
Etapa 1: Desmobilizando equipamentos de cabo/arame	0,58	100,00%	0,02	100,00%

→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Fonte: Autor (2023).

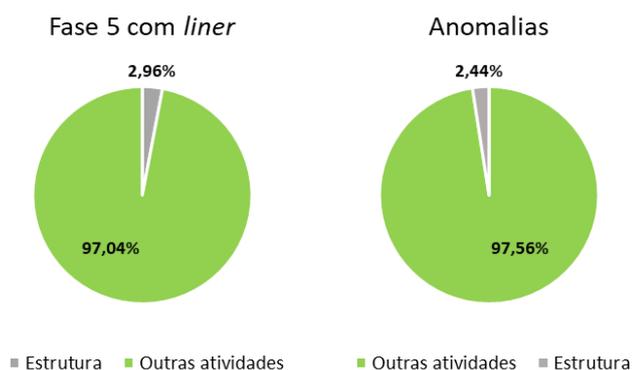
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 0,64 dias, o que representa 2,96% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘condicionamento de poço aberto com manobra dedicada’ e ‘perfilagem para avaliação de cimentação’, divididos em 8,20% e 91,80%. A primeira operação é composta apenas da etapa ‘preparando plataforma’, e a segunda, apenas pela etapa ‘desmobilizando equipamentos de cabo/arame’.

As anomalias compreenderam 0,02 dias, representando 4,44% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, se concentrando apenas na operação ‘perfilagem para avaliação da cimentação’, mais especificamente na etapa ‘desmobilizando equipamentos de cabo/arame’.

Na operação ‘perfilagem para avaliação de cimentação’, a anomalia presente na etapa ‘desmobilizando equipamentos de cabo/arame’ foi do tipo ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

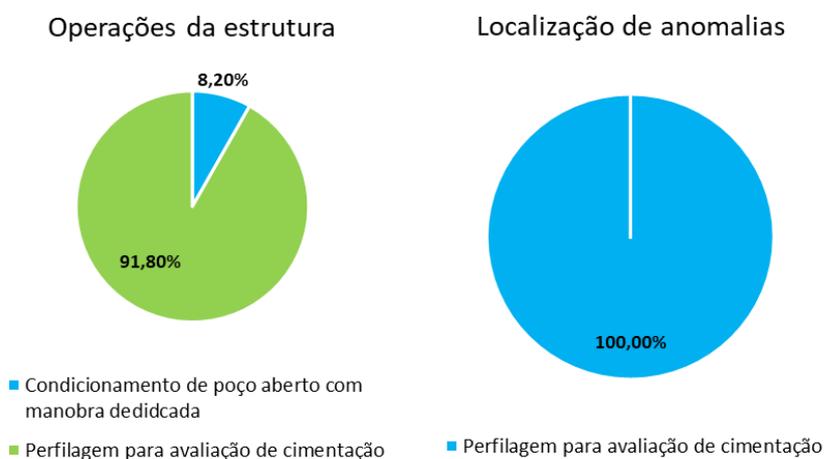
Na Figura 53 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 4 com *liner* e para anomalias observadas. Na Figura 54 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 5 com *liner* e a localização das anomalias observadas.

Figura 53 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 5 com *liner* de um poço de injeção



Fonte: Autor (2023).

Figura 54 - Distribuição das operações da estrutura na fase 5 com *liner* de um poço de injeção e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.3 Poço especial

4.3.3.1 Fase 0

A primeira fase da perfuração é marcada pelas ações de preparação para a construção do poço. Desta forma, tem caráter mais logístico do que de fato construtivo. Na Tabela 24 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 0 de um poço especial.

Tabela 24 - Fase 0 da sequência operacional de um poço especial

POÇO ESPECIAL	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 0	1,13		0,00	0,00%
Atividade: Estrutura de poço	0,23	20,37%	0,00	0,00%
Operação 1: Revestimento condutor	0,23	100,00%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando manuseio de revestimento	0,23	100,00%	0,00	0,00%

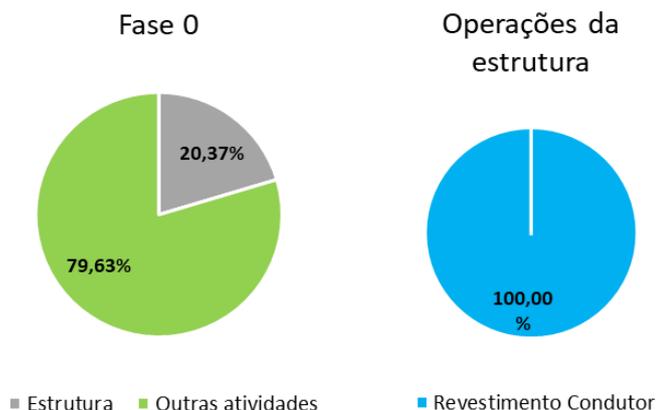
Fonte: Autor (2023).

Nesta fase se deu o início da preparação para a construção do revestimento condutor, a primeira porção de revestimento estabelecida no poço. Ainda não houve menção à descida de revestimentos ou cimentação, que ocorrerá na próxima fase.

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 0,23 dias, o que representa 20,37% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para a operação ‘revestimento condutor’, que possui apenas a etapa ‘montando manuseio de revestimento’. Não foi observada ocorrência de anomalias nesta fase do poço.

Na Figura 55 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias e das operações da estrutura na fase 0.

Figura 55 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 0 de um poço especial



Fonte: Autor (2023).

4.3.3.2 Fase 1

A segunda fase da perfuração foi de fato onde a construção do poço se iniciou. Desta forma, se tem um volume de atividade de estrutura de poço maior que a anterior. Na Tabela 25 a seguir está apresenta a sequência operacional da estrutura da fase 1 de um poço especial.

Tabela 25 - Fase 1 da sequência operacional de um poço especial

POÇO ESPECIAL	Duração Total		Anomalias		
	Real (dias)		(dias)		
Fase 1	6,27		2,54	40,53%	
Atividade: Estrutura de poço	4,79	76,41%	2,54	100,00%	
Operação 1: Revestimento condutor	4,46	93,04%	2,54	100,00%	
Etapa 1: Preparando plataforma	0,15	3,27%	0,00	0,00%	
Etapa 2: Montando/acunhando por unidade	2,92	65,42%	2,40	94,26%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,04	0,93%	0,00	0,00%	
Etapa 4: Conectando stinger	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 5: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,13	2,80%	0,02	0,82%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 6: Descendo revestimento em mar aberto	0,35	7,94%	0,00	0,00%	
Etapa 7: Descendo revestimento no poço	0,02	0,47%	0,00	0,00%	
Etapa 8: Preparativo cimentação	0,04	0,93%	0,00	0,00%	
Etapa 9: Circulando para cimentar	0,15	3,27%	0,13	4,92%	→ Falha da Equipe na Execução
Etapa 10: Cimentando	0,31	7,01%	0,00	0,00%	
Etapa 11: Retirando coluna de assentamento	0,35	7,94%	0,00	0,00%	
Operação 2: Revestimento de superfície	0,33	6,96%	0,00	0,00%	
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,33	100,00%	0,00	0,00%	

Fonte: Autor (2023).

Nesta fase se deu o início da construção do revestimento condutor, compreendendo todas as suas etapas, e se deu início também, ao revestimento de superfície, ainda em sua primeira etapa. O restante das etapas do revestimento de superfície é executado em fases posteriores.

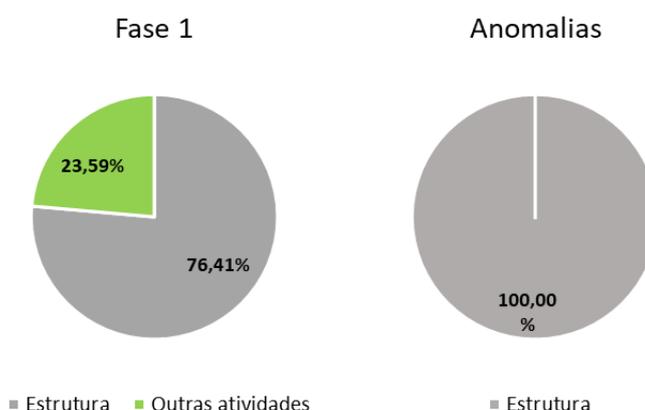
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 4,79 dias, o que representa 76,41% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento condutor’ e ‘revestimento de superfície’, 93,04% e 6,96%, respectivamente. O revestimento condutor foi dividido em 11 etapas, em que a etapa com maior duração foi ‘montando/acunhando por unidade’, compreendendo 65,42% da operação. Já o revestimento de superfície conta apenas com a etapa ‘montando/conectando conjunto suspensor’.

As anomalias compreenderam 2,54 dias, representando 100,00% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, se concentrando na operação ‘revestimento condutor’, mais especificamente nas etapas ‘montando/acunhando por unidade’, ‘montando/conectando conjunto suspensor’ e ‘circulando para cimentar’, divididas em 94,26%, 0,82% e 4,92%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente nas etapas ‘montando/acunhando por unidade’, ‘montando/conectando conjunto suspensor’ e ‘circulando para cimentar’ foi ‘falha de equipamento de trabalho no poço’.

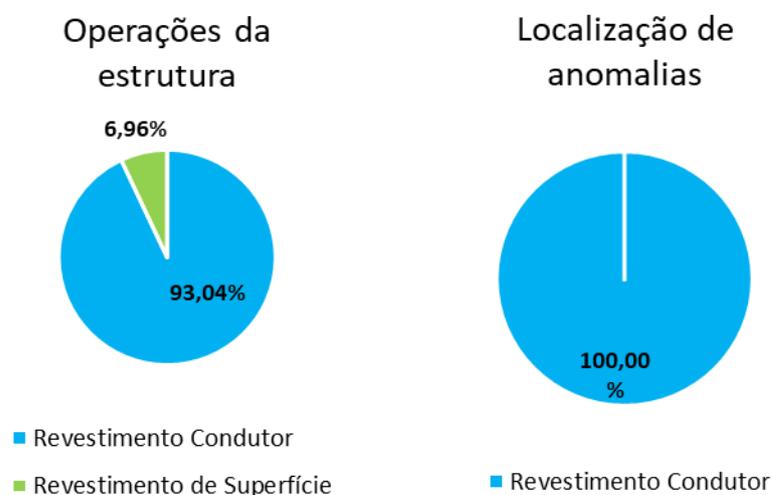
Na Figura 56 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 1 e para anomalias observadas. Na Figura 57 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 1 e a localização das anomalias observadas.

Figura 56 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 1 de um poço especial



Fonte: Autor (2023).

Figura 57 - Distribuição das operações da estrutura na fase 1 de um poço especial e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.3.3 Fase 2

A terceira fase da perfuração foi o início do ciclo onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. Na Tabela 26 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 2 de um poço especial.

Tabela 26 - Fase 2 da sequência operacional de um poço especial

POÇO ESPECIAL	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 2	5,13		0,33	6,50%
Atividade 1: Estrutura de poço	3,35	65,45%	0,33	100,00%
Operação 1: Revestimento de superfície	3,35	100,00%	0,33	100,00%
Etapa 1: Preparando plataforma	0,60	18,01%	0,25	75,00%
Etapa 2: Montando/acunhando por unidade	0,54	16,15%	0,08	25,00%
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,17	4,97%	0,00	0,00%
Etapa 4: Conectando stinger	0,25	7,45%	0,00	0,00%
Etapa 5: Montando/Conectando conjunto susensor	0,08	2,48%	0,00	0,00%
Etapa 6: Descendo revestimento em mar aberto	0,31	9,32%	0,00	0,00%
Etapa 7: Descendo revestimento no poço	0,31	9,32%	0,00	0,00%
Etapa 8: Preparativo cimentação	0,02	0,62%	0,00	0,00%
Etapa 9: Circulando para cimentar	0,08	2,48%	0,00	0,00%
Etapa 10: Cimentando	0,15	4,35%	0,00	0,00%
Etapa 11: Retirando coluna de assentamento	0,83	24,84%	0,00	0,00%

Condições Ambientais Adversas do Mar	→	Exigências de Órgãos Internos Reguladores
Condições Ambientais Adversas do Mar		

Fonte: Autor (2023).

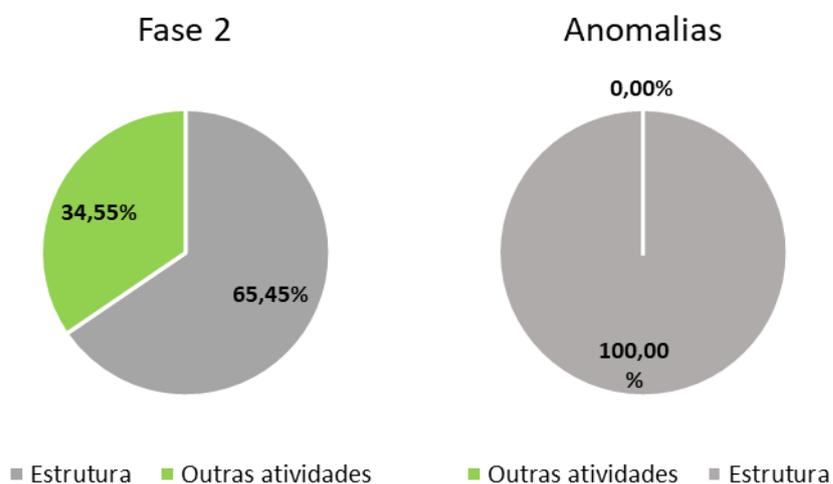
O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 3,35 dias, o que representa 65,45% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado integralmente para o revestimento de superfície, que foi dividido em 11 etapas, onde as mais longas são ‘preparando plataforma’, ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘retirando coluna de assentamento’, compreendendo 18,01%, 16,15% e 24,84%, respectivamente.

As anomalias compreenderam 0,33 dias, representando 100,00% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, concentrando-se nas etapas ‘preparando plataforma’ e ‘montando/acunhando por unidade’, divididas em 75,00% e 25,00%, respectivamente.

O tipo de anomalia presente na etapa preparando plataforma foi ‘condições ambientais adversas no mar’, já na etapa ‘montando/acunhando por unidade’, foram dos tipos ‘condições ambientais adversas no mar’ e ‘exigências de órgãos internos reguladores’.

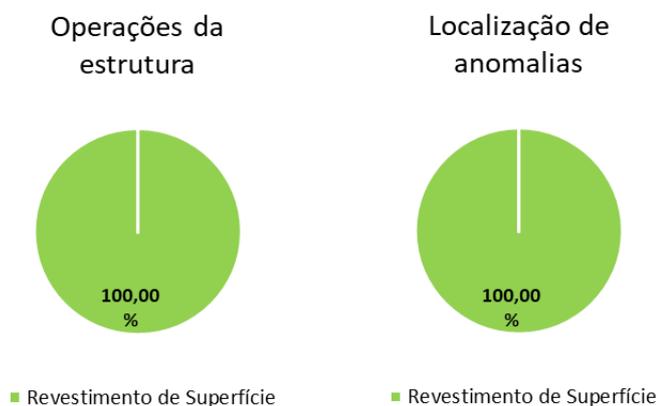
Na Figura 58 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 2 e para anomalias observadas. Na Figura 59 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 2 e a localização das anomalias observadas.

Figura 58 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 2 de um poço especial



Fonte: Autor (2023).

Figura 59 - Distribuição das operações da estrutura na fase 2 de um poço especial e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.3.4 Fase 3

Na quarta fase da perfuração continuou-se o ciclo de onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. Na Tabela 27 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 3 de um poço especial.

Tabela 27 - Fase 3 da sequência operacional de um poço especial

POÇO ESPECIAL	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)		
Fase 3	32,58		16,17	49,62%	
Atividade: Estrutura de poço	10,44	32,03%	5,48	33,89%	
Operação 1: Revestimento Intermediário/Produção	6,71	64,27%	2,83	51,71%	
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	1,94	28,88%	0,83	29,41%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço Condições Ambientais Adversas do Mar
Etapa 2: Montando manuseio de revestimento	0,00	0,00%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Montando/acunhando por unidade	1,21	18,01%	0,08	2,94%	→ Falha de Equipamento de Trabalho no Poço Falha da Equipe na Execução
Etapa 4: Descendo revestimento no poço	2,88	42,86%	1,92	67,65%	→ Falha da Equipe na Execução
Etapa 5: Preparativo cimentação	0,08	1,24%	0,00	0,00%	
Etapa 6: Circulando para cimentar	0,23	3,42%	0,00	0,00%	
Etapa 7: Cimentando	0,17	2,48%	0,00	0,00%	
Operação 2: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	1,58	15,17%	1,44	26,24%	
Etapa 1: Descendo ferramenta de limpeza	1,17	73,68%	1,17	81,16%	→ Falha da Equipe na Execução Falha de Equipamento de Trabalho no Poço
Etapa 2: Energizando CVU/CVE	0,42	26,32%	0,27	18,84%	→ Falha da Equipe na Execução
Operação 3: Instalação de bucha de desgaste	2,15	20,56%	1,21	22,05%	
Etapa 1: Retirando coluna de instalação	1,90	88,35%	1,21	100,00%	→ Falha da Equipe na Execução
Etapa 2: Descendo coluna de instalação	0,23	10,68%	0,00	0,00%	
Etapa 3: Assentando e testando	0,02	0,97%	0,00	0,00%	

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 10,44 dias, o que representa 32,03% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento intermediário/produção’, ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’ e ‘instalação de bucha de desgaste’, divididas em 64,27%, 15,17% e 20,56%, respectivamente.

A primeira operação foi dividida em 7 etapas, sendo as maiores ‘montando/conectando conjunto suspensor’, ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘descendo revestimento no poço’, compreendendo 28,88%, 18,01% e 42,86%, respectivamente. A segunda foi dividida em 2 etapas, que são ‘descendo ferramentas de limpeza’ e ‘energizando CVU/CVE’, nas proporções de 73,68% e 26,32%, respectivamente. A terceira foi dividida em 3 etapas, sendo as maiores ‘retirando coluna de instalação’ e ‘descendo coluna de instalação’, compreendendo 88,35% e 10,68%, respectivamente.

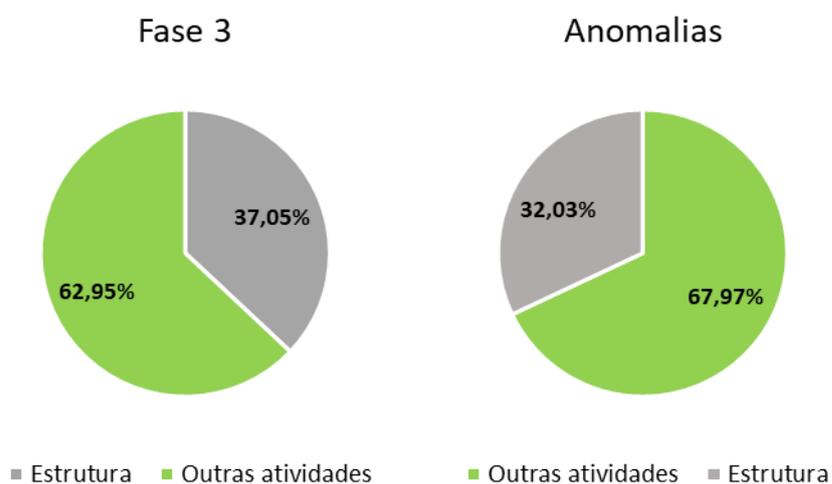
As anomalias compreenderam 5,48 dias, representando 33,89% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço. Para a primeira operação concentraram-se nas etapas ‘montando/conectando conjunto suspensor’, ‘montando/acunhando por unidade’ e ‘descendo revestimento do poço’, divididas em 29,41%, 2,94% e 67,65%, respectivamente. Para a segunda operação as anomalias se dividiram entre as etapas ‘descendo ferramenta de limpeza’ e ‘energizando CVU/CVE’, nas proporções de 81,16% e 18,84%, respectivamente. Para a terceira etapa, as anomalias se concentraram na etapa ‘retirando coluna de instalação’.

Na operação ‘revestimento intermediário/produção’, as anomalias presentes na etapa ‘montando/conectando conjunto suspensor’ foram dos tipos ‘falha de equipamento de trabalho no poço’ e ‘condições ambientais adversas no mar’; na etapa ‘montando/acunhando por unidade’ são dos tipos ‘falha de equipamento de trabalho no poço’ e ‘falha da equipe na execução’; e na etapa ‘descendo revestimento no poço’, o tipo de anomalia foi ‘falha da equipe na execução’.

Na operação ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’, as anomalias presentes na etapa ‘descendo ferramenta de limpeza’ foram dos tipos ‘falha da equipe na execução’ e ‘falha de equipamento de trabalho no poço’; na etapa energizando ‘CVU/CVE’, foi do tipo ‘falha da equipe na execução’. Na operação ‘instalação de bucha de desgaste’, a anomalia presente na etapa ‘retirando coluna de instalação’ foi do tipo ‘falha da equipa na execução’.

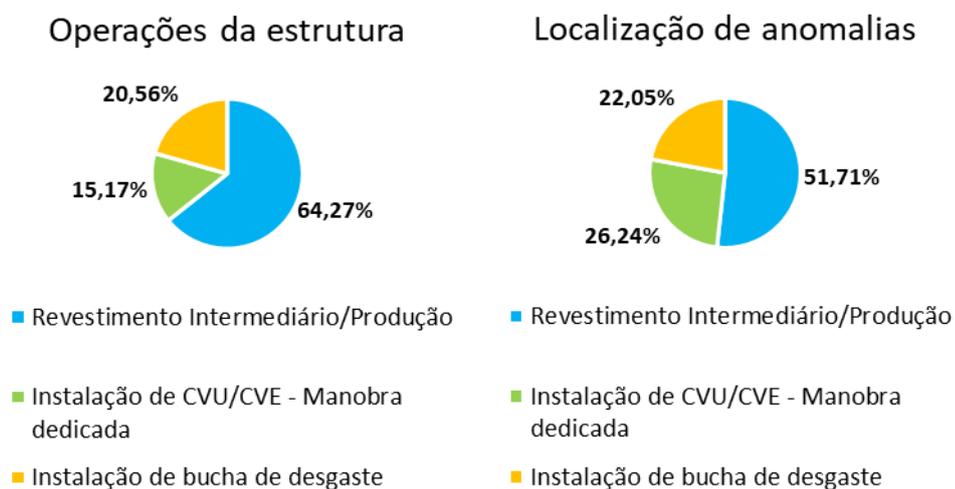
Na Figura 60 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 3 e para anomalias observadas. Na Figura 61 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 3 e a localização das anomalias observadas.

Figura 60 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 3 de um poço especial



Fonte: Autor (2023).

Figura 61 - Distribuição das operações da estrutura na fase 3 de um poço especial e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.3.5 Fase 4

A quinta fase da perfuração fechou o ciclo onde se tem as atividades de estrutura de poço com maior duração. Na Tabela 28 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 4 de um poço especial.

Tabela 28 - Fase 4 da sequência operacional de um poço especial

POÇO ESPECIAL	Duração Total Real (dias)		Anomalias (dias)	
Fase 4	31,85		16,23	50,95%
Atividade: Estrutura de poço	20,94	65,73%	12,29	75,74%
Operação 1: Revestimento Intermediário/Produção	3,48	16,62%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando/Conectando conjunto suspensor	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 2: Montando seção de cimentação	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Etapa 3: Montando manuseio de revestimento	0,38	10,78%	0,00	0,00%
Etapa 4: Montando/acunhando por unidade	1,23	35,33%	0,00	0,00%
Etapa 5: Descendo revestimento no poço	0,81	23,35%	0,00	0,00%
Etapa 6: Preparativo cimentação	0,10	2,99%	0,00	0,00%
Etapa 7: Circulando para cimentar	0,21	5,99%	0,00	0,00%
Etapa 8: Cimentando	0,75	21,56%	0,00	0,00%
Operação 2: Instalação de CVU/CVE - Manobra dedicada	0,27	1,29%	0,00	0,00%
Etapa 1: Energizando CVU/CVE	0,27	100,00%	0,00	0,00%
Operação 3: Instalação de bucha de desgaste	17,19	82,09%	12,29	100,00%
Etapa 1: Retirando coluna de instalação	16,73	97,33%	12,27	99,83%
Etapa 2: Descendo coluna de instalação	0,06	0,36%	0,00	0,00%
Etapa 3: Assentando e testando	0,40	2,30%	0,02	0,17%

Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Condições Ambientais Adversas do

Indisponibilidade

Falha da Equipe na Execução

Falha de Equipamento de Trabalho no Poço

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 20,94 dias, o que representa 65,73% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para as operações ‘revestimento intermediário/produção’, ‘instalação de CVU/CVE – manobra dedicada’ e ‘instalação de bucha de desgaste’, divididas em 16,62%, 1,29% e 82,09% da fase, respectivamente.

O revestimento intermediário/produção foi dividido em 8 etapas, sendo as maiores ‘montando/acunhando por unidade’, ‘descendo revestimento do poço’ e ‘cimentando’, compreendendo 35,33%, 23,35% e 21,56%, respectivamente. A instalação de CVU/CVE é composta apenas pela etapa ‘energizando CVU/CVE’. A instalação da bucha de desgaste foi dividida em 3 etapas, sendo a maior delas ‘retirando coluna de instalação’, compreendendo 97,33%.

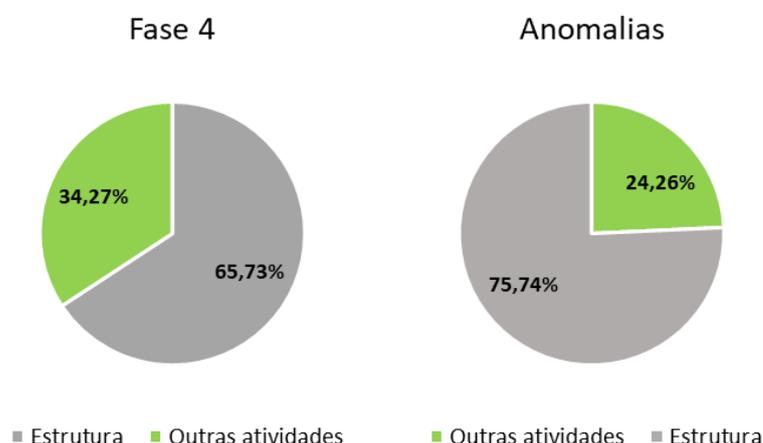
As anomalias compreenderam 12,29 dias, representando 75,74% do tempo total gasto com anomalias nesta fase da estrutura do poço, se concentrando na operação ‘instalação de bucha

de desgaste', mais precisamente nas etapas 'retirando coluna de instalação' e 'assentando e testando', nas proporções de 99,83% e 0,17%, respectivamente.

Na operação 'instalação de bucha de desgaste', as anomalias presentes na etapa 'retirando coluna de instalação' foram dos tipos 'indisponibilidade' e 'falha da equipe na execução'; na etapa 'assentando e testando, foi do tipo 'falha de equipamento de trabalho no poço'.

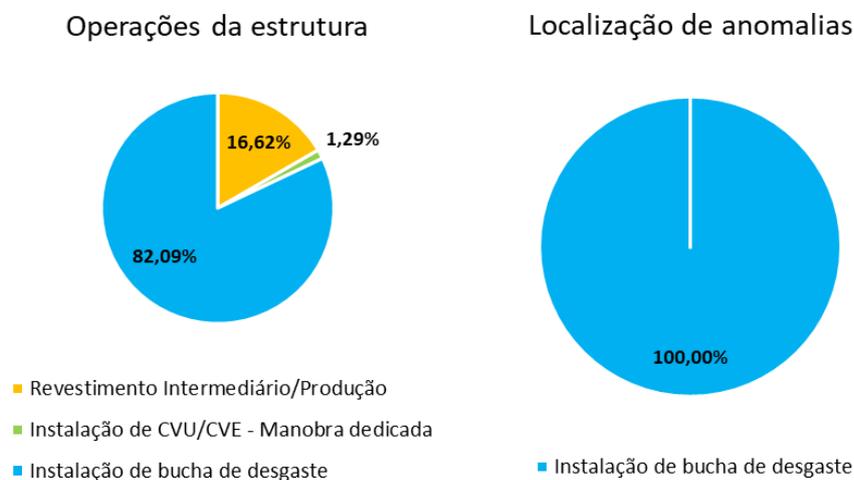
Na Figura 62 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias para a fase 4 e para anomalias observadas. Na Figura 63 estão ilustradas a distribuição das operações da estrutura na fase 4 e a localização das anomalias observadas.

Figura 62 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 4 de um poço especial



Fonte: Autor (2023).

Figura 63 - Distribuição das operações da estrutura na fase 4 de um poço especial e a localização das anomalias observadas



Fonte: Autor (2023).

4.3.3.6 Fase 5

A sexta fase da perfuração, foi onde se deu a finalização da perfuração, buscando-se a estabilização do poço. Na Tabela 29 a seguir está apresentada a sequência operacional da estrutura da fase 5 de um poço especial.

Tabela 29 - Fase 5 da sequência operacional de um poço especial

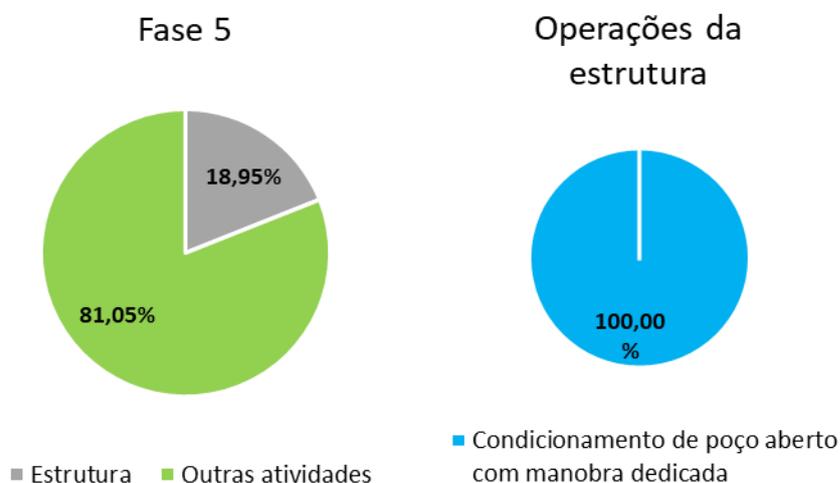
POÇO ESPECIAL	Duração Total		Anomalias	
	Real (dias)		(dias)	
Fase 5	12,75	14,53%	0,00	0,00%
Atividade: Estrutura de poço	2,42	18,95%	0,00	0,00%
Operação 1: Condicionamento de poço aberto com manobra dedicada	2,42	100,00%	0,00	0,00%
Etapa 1: Montando BHA	2,42	100,00%	0,00	0,00%

Fonte: Autor (2023).

O tempo destinado à estrutura do poço nessa fase foi de 2,42 dias, o que representa 18,95% da duração total real da fase. Esse tempo foi alocado para a operação ‘condicionamento de poço aberto com manobra dedicada’, que é composta pela etapa ‘montando BHA’. Não foi observada a ocorrência de anomalias nesta fase do poço.

Na Figura 64 estão ilustradas graficamente as distribuições de tempo médias e das operações da estrutura na fase 5.

Figura 64 - Distribuição de tempo de fase e atividades de estrutura da fase 5 de um poço especial



Fonte: Autor (2023).

4.4 Análise de resultados

No processo de projeto da sequência operacional de um poço de petróleo diversos fatores devem ser levados em consideração, exigindo do projetista uma expertise e um grau de atenção elevados. Como base para a elaboração, o projetista se utiliza de dados históricos de poços em regiões próximas e de sua própria experiência, faltando-lhe modelos de comparação na literatura.

Ao se estabelecer modelos de sequência operacional, cria-se um arcabouço de informações que podem ser usadas como base tanto para a elaboração de novas sequências, como para a avaliação de cronogramas já executados. Ao abordar a sequência operacional da estrutura do poço, nos deparamos com uma lacuna significativa em informações e parâmetros, o que suscita preocupações, considerando a complexidade e a importância desse componente do poço.

Os modelos de sequência operacional padronizados, elaborados tomando por base dados históricos de cronograma já executados, fornecem parâmetros que podem nortear o processo de projeto de poços de produção, injeção e especiais. Dentre os parâmetros estudados, o foco principal se deu à duração de operações, tempo gasto com anomalias e contingências, e por fim, à localização dentro da sequência, das ocorrências dos principais conjuntos de anomalias mais frequentes.

Os modelos de sequências e parâmetros estabelecidos podem ser usados como um ponto de partida, a partir do qual adaptações específicas são realizadas pelo engenheiro projetista do poço. Além disso, podem ser usados na avaliação de cronogramas de construção de poços executados, em que comparações e verificações são feitas usando os modelos padronizados como referência.

Na Tabela 30 a seguir são apresentados alguns dos parâmetros de comparação para cada tipo de poço estudado.

Tabela 30 - Parâmetros de comparação entre tipos de poço

Tipo de poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real (dias)	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Estrutura de poço	Duração Total Prevista (dias)	Duração Total Real da Perfuração (dias) % sobre Duração Total Real da Perfuração	Variação (dias) % sobre Duração Total Prevista	Anomalias (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de Poço	Contingências (dias) % sobre Duração Total Real da Estrutura de poço
Injeção	48,48	42,40	6,08 12,54%	7,32 17,26%	8,90 20,99%	10,42	11,90	-1,48 -28,05%	2,34 19,70%	2,34 19,65%	
Especial	35,28	50,14	-14,86 -42,11%	21,40 42,68%	3,23 6,44%		9,28	21,08	-11,80 -42,05%	10,43 49,46%	1,43 6,77%

Fonte: Autor (2023).

Ao comparar parâmetros obtidos para os poços de produção, injeção e especial, foi possível determinar as principais diferenças entre eles, que em suma, consistiram em:

- O poço especial apresenta a maior duração dos três, seguido pelo de injeção, e por último, o de produção.
- Há uma tendência de subestimar as durações de construção da estrutura dos poços de produção e especial. Isso é evidenciado pela variação negativa em suas direções na Tabela 30, indicando que as durações previstas foram menores que as executadas, causando atraso no cronograma. Nos poços de injeção, ao contrário, apresentou variação positiva, denotando que o cronograma previsto foi adiantado.
- Os poços especiais dispõem consideravelmente mais tempo com anomalias do que os poços de produção e de injeção. A porcentagem de tempo perdido com anomalias dos poços de produção e injeção foi praticamente igual.
- O poço de injeção apresentou a maior porcentagem de tempo empregado em contingências, seguido do poço de produção e o especial, respectivamente.

Quanto à duração de construção da estrutura em relação à duração de construção total do poço de poço, as diferenças consistiram em:

- O poço especial foi o que teve a maior porcentagem, representando quase metade do tempo de execução do poço. A duração do tempo de execução da estrutura representou uma porcentagem próxima nos poços de produção e injeção, cerca de 1/4 do tempo de execução do poço.

- b) A variação entre duração prevista e realizada foi negativa nos três poços, tendo o poço especial a maior variação, seguido pelo poço de produção e injeção, respectivamente, indicando que há uma tendência de subestimar o tempo de execução da estrutura.
- c) A porcentagem de tempo gasta com anomalias variou bastante entre os poços, sendo a maior apresentada no poço especial, seguido dos poços de injeção e de produção, respectivamente.
- d) A porcentagem de tempo empregado em contingências variou bastante entre os poços, sendo a maior apresentada no poço de injeção, seguido dos poços de injeção e de especial, respectivamente.

Quando comparamos a sequência operacional, fase por fase, chegamos às seguintes conclusões sobre as diferenças entre tipos de poços:

- a) Na fase zero, as três sequências têm a operação ‘revestimento condutor’, sendo que no poço injetor tem-se também a ‘revestimento de superfície’, divergindo algumas etapas entre eles.
- b) Na fase um, as três sequências são praticamente idênticas, tendo como operações também ‘revestimento condutor’ e ‘revestimento de superfície’.
- c) Na fase dois, as três sequências são praticamente idênticas, tendo como operação ‘revestimento de superfície’, a diferença ocorre no poço de injeção que também possui a operação ‘instalação de bucha de desgaste’.
- d) Na fase três é onde temos a maior diferença, pois surge a bifurcação nas sequências que possuem ou não *liner*. Assim, o poço de produção tem duas opções de sequência, com e sem *liner*, e os poço de injeção e especial só possuem a sequência sem *liner*. A operação principal nos três poços é ‘revestimento intermediário/produção’, variando as demais operações em cada poço.
- e) Na fase quatro, a mesma lógica da fase anterior se repete, porém desta vez o poço de injeção tem as duas opções de sequência, e os poços de injeção e especial tem apenas uma, com e sem *liner*, respectivamente. A operação principal nos três poços é ‘revestimento intermediário/produção’, variando as demais operações em cada poço.
- f) Na fase cinco a bifurcação continua, desta vez tendo cada poço apenas um tipo de sequência, sendo o poço de produção com *liner*, e os poços de injeção e especial, sem *liner*. Cada poço tem suas operações que diferem entre si, restando operação ‘revestimento intermediário/produção’ apenas no poço de produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões provenientes do estudo em questão, bem como sugestões para trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa.

5.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a elaboração de modelos de sequência operacional da estrutura de poços de petróleo *offshore* com base na análise de dados históricos. Para isso, inicialmente foi estabelecida uma revisão bibliográfica acerca da estrutura de poços de petróleo *offshore* e de gestão de empreendimentos, o que embasou a avaliação da construção do poço como um processo construtivo.

Um banco de dados de cronogramas reais foi analisado, inicialmente buscando caracterizar o processo de elaboração, avaliando o emprego da gestão de empreendimentos no processo de planejamento das intervenções de perfuração. Depois, foi feita a caracterização das atividades específicas da construção da estrutura do poço e seu relacionamento com as demais atividades presentes na perfuração para poços de produção, injeção e especiais.

Por meio desta análise inicial, chegou-se a uma metodologia de avaliação preliminar dos poços quanto a parâmetros relacionados à diferença entre a duração prevista e a real das atividades, tempo dispendido em anomalias e contingências e tempo alocado para as atividades específicas da estrutura do poço. A metodologia se baseia na representação do cronograma de perfuração segundo os graus hierárquicos de sua EAP, de acordo com o parâmetro que se deseja avaliar.

Por fim, os modelos de sequência operacional de estrutura de poço foram elaborados, tomando por base os cronogramas presentes no banco de dados. As sequências de cada tipo de poço foram divididas por fase, nas quais as atividades específicas de estrutura de poço foram agrupadas e parâmetros médios foram atribuídos. Os parâmetros estabelecidos para cada operação e etapa foram os de duração total real e suas proporções sobre a duração da fase; duração de anomalias e sua proporção sobre a duração da fase; e os tipos de anomalias apresentadas em cada etapa da sequência.

O arcabouço de parâmetros obtidos pode ser usado como ponto de partida tanto para a avaliação de poços já executados, quanto na projeção de novos poços. Ao se tomar utilizar

modelos de sequência operacional baseados em dados históricos, é possível criar cronogramas mais assertivos, adaptados às particularidades de cada cenário de operações, como litologia entre outros.

No cenário atual da exploração petrolífera *offshore* busca-se cada vez mais a diminuição de custos na perfuração, o que está diretamente ligado à diminuição de durações de atividades. Este trabalho utilizou de ferramentas de conhecimento geral da indústria e de dados históricos de uma empresa petrolífera, para criar um modelo simples e intuitivo de sequência operacional, que possibilita inclusive seu emprego em algoritmos de ferramentas que possam ser usadas para aumentar a previsibilidade no planejamento de novas perfurações *offshore*.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

Na mesma linha de pesquisa, sugerem-se as seguintes abordagens:

- a) Analisar estatisticamente as anomalias ocorridas em intervenções reais, e buscar causas, soluções e consequências;
- b) Implementar algoritmos de automação à sequência operacional de cada tipo de poço;
- c) Implementar ferramentas de inteligência artificial na previsão de anomalias para perfurações.
- d) Desenvolvimento de novos modelos de sequência operacional, utilizando dados de bacias e litologias específicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. **RESOLUÇÃO Nº 699, DE 6 DE SETEMBRO DE 2017**. 2017: Site dos Atos Oficiais da ANP, 2017. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-699-2017-estabelece-os-procedimentos-para-codificacao-de-pocos-definicao-do-resultado-de-poco-do-status-de-poco-e-envio-de-diversos-relatorios-para-acompanhamento-das-atividades-em-pocos-por-parte-da-anp?origin=>>>. Acesso em: 28 fevereiro 2024.

ANP. **Teste de Poço**. Site do Governo Federal: Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/orientacoes-aos-concessionarios-e-contratados/teste-de-poco>>. Acesso em: 26 Outubro 2021.

AZAR, J. J.; SAMUEL, G. R. **Drilling Engineering**. 1ª. ed. Tulsa: PennWell Corporation, 2007.

BALLESTEROS-PÉREZ, P.; LARSEN, G. D.; GONZÁLEZ-CRUZ, M. C. **Do Projects Really End Late ? On The Shortcomings of The Classical Scheduling Techniques**. Barcelona: Journal of Technology and Science Education. Omnia Science, 2017.

BOURGOYNE, A. T. et al. **Applied Drilling Engineering**. 1ª. ed. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 1986.

CAMARGO, M. **Gerenciamento de projetos: fundamentos e prática integrada**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CARBOGNIN, B. **Metodologia de Verificação de Metodologia de Verificação de Completação de Poços Baseada em Interdependências**. Campinas: Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo, na área de Exploração). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, 2017.

GUIMARÃES, B. R. **Modelo para Simulação do Tempo para**. Campinas: Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, 2011.

HENRIOT WATT UNIVERSITY. **Drilling Engineering**. 1ª. ed. Edimburgo: Henriot Watt Institute of Petroleum Engineering, 2005.

HYNE, N. J. **Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling and Production**. 2ª. ed. Tulsa: PennWell Corporation, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Diretrizes para projeto e construção de poços marítimos**. Rio de Janeiro: IBP, 2022.

J. KAISER, M. Modeling the time and cost to drill an offshore well. **Energy**, v. 34, n. 9, p. 1097-1112, 2009.

LARSON, E. W.; GRAY, C. F. **Gerenciamento de Projetos: O Processo Gerencial**. 6ª. ed. Porto Alegre: MacGrawHill, 2016.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1ª. ed. São Paulo: PINI, 2010.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MITCHELL, R. F.; MISKA, S. Z. **Fundamentals of Drilling Engineering**. 1ª. ed. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 2011.

MONTES, E. Criar a EAP. **Site da Escritório de Projetos**, 2023. Disponível em: <<https://escritoriodeprojetos.com.br/criar-a-eap/>>. Acesso em: 04 Novembro 2023.

MOREIRA, A. M.; SILVA, R. S.; PALMA, M. A. M. Análise de Gerenciamento de Tempo Aplicado a um Projeto de Petróleo. **Revista de Gestão e Projetos - GeP**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 128-146, Julho 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge**. 6ª. ed. Newton Square: PMI, 2017.

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

SILVA, A. S. **Prática de Gestão da Integridade de Poços na Indústria de Óleo e Gás**. Maceió: Monografia (Bacharelado em Engenharia de Petróleo). Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia de Petróleo. Universidade Federal de Alagoas., 2023.

SILVA, P. S. R. S. **Aplicação das Técnicas de Gerenciamento de Projetos à Perfuração de Poços de Petróleo**. Niterói: Monografia (Bacharelado em Engenharia de Petróleo). Escola de

Engenharia. Departamento de Engenharia Química e de Petróleo. Universidade Federal Fluminense., 2017.

SOTOMAYOR, G. P. G. **Metodologia Probabilística-Possibilística para Tratamento**. Campinas: Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Petróleo). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, 2011.

THOMAS, J. E. **Fundamentos da Engenharia de Petróleo**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

VASCONCELLOS, R. V. J. C.; FERREIRA FILHO, V. J. M. **Algoritmo Genético para o Problema de Scheduling de Projetos com Restrição de Recurso**: Uma Aplicação em Operações em Poços de Petróleo. Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Goiânia: 2006. p. 1795-1802.

WANG, Y. et al. Optimal design and scheduling for offshore oil-field development. **Computers and Chemical Engineering**, v. 134, p. 300-316, 2019.