



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
E INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

BRENO CARBOGNIN

**METODOLOGIA DE VERIFICAÇÃO DE
SEQUÊNCIA OPERACIONAL EM
COMPLETAÇÃO DE POÇOS BASEADA EM
INTERDEPENDÊNCIAS**

CAMPINAS

2017

BRENO CARBOGNIN

METODOLOGIA DE VERIFICAÇÃO DE SEQUÊNCIA OPERACIONAL EM COMPLETAÇÃO DE POÇOS BASEADA EM INTERDEPENDÊNCIAS

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo, na área de Exploração.

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pelo aluno Breno Carbognin e orientada pelo Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes.

Assinatura do Orientador

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CNPq, 130506/2015-0

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

C177m Carbognin, Breno, 1992-
Metodologia de verificação de sequência operacional em completção de poços baseada em interdependências / Breno Carbognin. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: José Ricardo Pelaquim Mendes.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Engenharia de petróleo. 2. Poços de petróleo - Projetos. 3. Engenharia do petróleo - Equipamento e acessórios. 4. Verificação. 5. Interdependências. I. Mendes, José Ricardo Pelaquim, 1971-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Verification methodology for well completion operational sequences based on interdependencies

Palavras-chave em inglês:

Oil engineering

Oil Wells - Projects

Petroleum engineering - Equipment and accessories

Verification

Interdependencies

Área de concentração: Exploração

Titulação: Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo

Banca examinadora:

José Ricardo Pelaquim Mendes [Orientador]

Marcelo de Souza de Castro

Ricardo Cabral de Azevedo

Data de defesa: 01-06-2017

Programa de Pós-Graduação: Ciências e Engenharia de Petróleo

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
E INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**METODOLOGIA DE VERIFICAÇÃO DE
SEQUÊNCIA OPERACIONAL EM
COMPLETAÇÃO DE POÇOS BASEADO EM
INTERDEPENDÊNCIAS**

Autor: Breno Carbognin

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes, Presidente
DE / FEM / Unicamp

Prof. Dr. Marcelo Souza de Castro
DE / FEM / Unicamp

Prof. Dr. Ricardo Cabral de Azevedo
PMI / USP

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 01 de junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Neusa, agradeço pelo amor e carinho incondicionais. Não há palavras para expressar o meu agradecimento.

Ao meu irmão (Marcelo) e ao meu avô (Ojiichan), junto a minha mãe, agradeço pelo ensinamento do significado “família”, e pelo apoio nas minhas decisões.

Ao meu pai, Carlos Roberto, um anjo que está no céu, me guiando e orgulhoso pelas minhas conquistas.

Ao meu orientador, José Ricardo P. Mendes, agradeço pela orientação e confiança no meu trabalho. Agradeço pelo reconhecimento das minhas dificuldades ao longo dessa jornada, e pela ajuda para superá-las, me guiando sempre pelo caminho certo. Novamente, agradeço pela confiança.

Ao meu coorientador, Kazuo Miura, agradeço por compartilhar da sua sabedoria e do seu tempo. A riqueza em conhecimento e humildade que este homem possui, me trouxe o mais profundo respeito pela sua pessoa.

Ao Prof. Dr. Márcio Yamamoto, agradeço por ter me orientado durante a minha graduação, por ter me apresentado ao programa de pós-graduação da Unicamp e ao meu orientador e coorientador.

Ao meu colega e grande amigo, Marcelo Jaculli, que em um momento de escuridão nesta jornada, me estendeu a mão, e me ajudou a enxergar o fim neste túnel. Agradeço pelos conselhos, amizade, motivação e ajuda.

Aos meus amigos Patrícia Mika, Gerson Trujillo, Catharine Martins, Ricardo Vasconcellos, Gonçalo Oliveira, Pedro Xavier, Lucas Batista, agradeço pela amizade e companheirismo.

Aos meus outros amigos e colegas do DEP, agradeço pela amizade e convívio diário. É motivador conhecer tantas pessoas, com diferentes sonhos, culturas, e que prezam pelo coleguismo.

A todos professores, funcionários do DEP e da FEM, em especial a Alice Obata, Giselle Palermo, e os estagiários, agradeço pelo suporte, apoio e bom relacionamento que tivemos durante estes anos.

Ao capítulo estudantil SPE Unicamp, agradeço profundamente pela experiência proporcionada. Sou grato pela confiança dos meus colegas da diretoria e membros do capítulo.

A Unicamp, agradeço pela infraestrutura oferecida pela Universidade. Acredito que todas pessoas que tiveram o privilégio de estudar ou trabalhar nesta faculdade se orgulham de ter feito parte desta história, assim como eu.

Ao programa de pós-graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo, agradeço pela formação e capacitação que me proporcionaram.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradeço pela confiança em meu trabalho, pelo apoio financeiro, e principalmente pelo constante incentivo do estudo aos jovens acadêmicos no Brasil.

RESUMO

O planejamento da sequência operacional de completção de poços consiste no processo de organização da ordem das operações envolvidas, de forma a atingir uma configuração final de poço desejada conforme definido em projeto. Após uma pesquisa na literatura, não foi encontrada nenhuma metodologia para elaborar o planejamento da sequência operacional da completção de poços. Uma metodologia permitiria elaborar o planejamento com maior segurança, de acordo com as informações disponíveis do projeto; além disso, ela permitiria uma melhoria do processo, apresentando resultados coerentes da sequência operacional e reduzindo o tempo da fase de completção. O presente trabalho tem como objetivo 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. Para verificar estes riscos dentro de uma sequência operacional, foi necessário primeiramente identificá-los. Neste estudo, os fatores externos de uma operação são definidos como fatores que independem da própria operação, porém possuem relações com as outras operações e com as condições do estado do poço. Desse modo, foi analisada a relação dos impactos causados pelas operações com as necessidades das condições ideais do poço para realizá-las. Dentro de uma sequência operacional, foi verificado se os impactos causados pelas operações sobre a condição do poço respeitam as pré-condições do estado do poço para as operações consequentes. Para isso, foi necessário definir as dimensões que poderiam influenciar o estado de um poço, e em seguida, foi realizado o mapeamento de suas interdependências. As dimensões analisadas neste trabalho são: segurança operacional, condição de limpeza do poço e compatibilidade dos equipamentos com a condição do poço. A aplicação dessa metodologia nos estudos de caso propostos permitiu verificar os riscos operacionais ocasionados pelo mau planejamento das sequências operacionais.

Palavras-chave: completção, sequência operacional, interdependências, verificação, fatores externos.

ABSTRACT

The planning of a well completion operational sequence consists on the organizational process of the operations involved, in order to reach a desired final well configuration as defined in the project. After a research in the literature, no methodology was found to elaborate the well completion operational sequence planning. The methodology would allow the elaboration of the planning with greater safety, according to the available project information; in addition, it would allow an improvement of the process, presenting coherent results of the operational sequence, and reducing the time of the completion phase. This work aims to create a verification methodology of the operational sequence planning. This proposal allows to verify the planning, thus turning it safer while drawing the designer's attention regarding the possible operational risks during the elaboration. To verify these risks within an operational sequence, it was necessary to firstly identify them. In this study, the external factors of each operation are defined as factors that are independent of the operation itself, but are related with the other operations and with the conditions of the well state. Therefore, the relationship between the impacts caused by the operations and the requirements of the ideal well conditions to perform them was analyzed. Within an operational sequence, it was checked if the impacts caused by the operations on the well condition respect the precondition of the well state for the ensuing operations. For this purpose, it was necessary to define the dimensions that could influence the well state, and then the interdependencies were mapped. The dimensions analyzed on this work are: operational safety, well cleaning condition, and equipment compatibility with well condition. The application of this methodology in the proposed case studies allowed verifying the operational risks caused by the bad planning of the operational sequences.

Keywords: completion, operational sequence, interdependencies, verification, external factors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Mudança do espaço físico de uma sequência operacional de blocos (Luger, 2008).	29
Figura 2.2: Diagrama 'A-0' - retângulo composto por elementos básicos do processo como um todo (s.n.).....	32
Figura 2.3: Técnica IDEF0 em um exemplo de processo de vendas (Allencar, 2016)	33
Figura 2.4: Representação dos cinco pilares da Teoria dos Dominós (Slavutzki, 2010)	36
Figura 2.5: Representação da ocorrência dos acidentes segundo a teoria dos dominós (Slavutzki, 2010).	37
Figura 2.6: Atuação para se evitar a ocorrência de acidentes segundo a teoria dos dominós (Slavutzki, 2010).	37
Figura 2.7: Exemplo de ETA (Dirickson, 2016)	38
Figura 2.8: Modelo Queijo Suíço (adaptado de Reason, 1990).....	40
Figura 2.9: Diagrama do AcciMap (Underwood e Waterson, 2014)	42
Figura 2.10: Exemplo de ressonância funcional em operações de área de navegação RNAV (adaptado de Hollnagel, 2006).....	43
Figura 2.11: Mapeamento das interdependências de um conjunto de operações de um determinado evento de combate a incêndio na plataforma (Ahman, 2013).	44
Figura 2.12: Caracterização de métodos de investigação de acidentes (adaptado de Speziali e Hollnagel, 2008).	46
Figura 2.13: Classificação de diversas áreas no diagrama de Interação-Acoplamento (adaptado de Perrow, 1984).	47
Figura 3.1: Subdivisões da Engenharia de Poço (adaptado de Michel, 2015).	48
Figura 3.2: Classificação do poço em relação à sua trajetória, que pode ser vertical, direcional ou horizontal (elaborado pelo autor).	49
Figura 3.3 Classificação da Completação em relação à posição da cabeça do poço. Na ilustração da esquerda, um exemplo de completação molhada; na direita, um exemplo de completação seca (elaborado pelo autor).....	50

Figura 3.4: Exemplo do fenômeno de ressonância (adaptado de Hollnagel, 2008).	62
Figura 3.5: Representação gráfica de estruturas funcionais (adaptado de Hollnagel, 2006)....	63
Figura 3.6: Diagrama da classificação das variáveis dos dados qualitativos e quantitativos (Adaptado de Miguel & Fleury, 2012)	66
Figura 4.1: Função estrutural dos fatores externos das operações (elaborado pelo autor).	68
Figura 4.2: Exemplo de barreiras (Miura, 2004).	73
Figura 4.3: Exemplo de conjunto solidário de barreiras (Miura, 2004).	73
Figura 4.4: Exemplo CSB primário e CSB secundário (elaborado pelo autor).....	74
Figura 4.5: Conexões entre as funções das operações (elaborado pelo autor)..	88
Figura 4.6: Conexões das interdependências entre as operações (elaborado pelo autor).....	89
Figura 4.7: Exemplo do esquema de CSBs independentes sem coluna no interior do poço (elaborado pelo autor).....	95
Figura 4.8: Exemplo do esquema de CSBs independentes com coluna no interior do poço (elaborado pelo autor).....	96
Figura 4.9: Etapas 1 a 3 da perfuração (elaborado pelo autor).....	98
Figura 4.10: Etapas 4 a 6 da perfuração (elaborado pelo autor).....	99
Figura 4.11: Etapas 7 a 9 da perfuração (elaborado pelo autor).....	99
Figura 4.12: Etapas 10 a 12 da perfuração(elaborado pelo autor).....	100
Figura 4.13: Etapas 13 e 14 da perfuração (elaborado pelo autor).....	100
Figura 4.14: Estado inicial do poço, logo após o fim da perfuração (elaborado pelo autor)..	101
Figura 4.15: Estado final do poço após a completção (elaborado pelo autor).....	102
Figura 4.16: Analogia de trajetórias com sequências operacionais da completção (elaborado pelo autor).....	104
Figura 4.17: Ponto Intermediário 1 da sequência operacional de completção (elaborado pelo autor).....	105
Figura 4.18: Ponto Intermediário 2 da sequência operacional de completção (elaborado pelo autor).....	106
Figura B.1: Condição inicial (elaborado pelo autor).	169

Figura B.2: Operação 1: Teste de Estanqueidade (elaborado pelo autor).	170
Figura B.3: Operação 2: Condicionamento de revestimento (elaborado pelo autor).	171
Figura B.4: Operação 3: Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP) (elaborado pelo autor).	172
Figura B.5: Operação 4: Perfilagem para Verificação de cimentação (elaborado pelo autor).	173
Figura B.6: Operação 5: Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR) (elaborado pelo autor).....	174
Figura B.7: Operação 6: Retirada de BOP (elaborado pelo autor).....	175
Figura B.8: Operação 7: Jateamento de <i>housing</i> (elaborado pelo autor).....	176
Figura B.9: Operação 8: Instalação de BAP (elaborado pelo autor).	177
Figura B.10: Operação 9: Instalação de BOP (elaborado pelo autor).	178
Figura B.11: Operação 10: Retirada de <i>Bridge plug</i> recuperável (elaborado pelo autor).....	179
Figura B.12: Operação 11: Canhoneio a cabo “ <i>overbalance</i> ” (elaborado pelo autor).	180
Figura B.13: Operação 12: Combate a perda de circulação - Completar o poço com fluido e verificar seu comportamento (elaborado pelo autor).....	181
Figura B.14: Operação 13: Assentamento de <i>Packer</i> e cauda de produção (<i>Packer</i> permanente) + Teste de <i>Packer</i> (aplicação de peso) + STV (elaborado pelo autor).	182
Figura B.15: Operação 14: Retirada de BHA (Camisa TSR) (elaborado pelo autor).	183
Figura B.16: Operação 15: Retirada de bucha de desgaste (elaborado pelo autor).....	184
Figura B.17: Operação 16: Montagem e descida de coluna definitiva (elaborado pelo autor).	185
Figura B.18: Operação 17: Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR) (elaborado pelo autor).....	186
Figura B.19: Operação 18: Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna (elaborado pelo autor).....	187
Figura B.20: Operação 19: Instalação de suspensor de coluna (elaborado pelo autor).....	188
Figura B.21: Operação 20: Teste de válvula de segurança DHSV (elaborado pelo autor). ...	189

Figura B.22: Operação 21: Assentamento de objeto arame em TH/ANM (elaborado pelo autor).....	190
Figura B.23: Operação 22: Retirada de tbg hgr <i>running tool</i> (elaborado pelo autor).	191
Figura B.24: Operação 23: Retirada de BOP (elaborado pelo autor).....	192
Figura B.25: Operação 24: Jateamento da BAP (elaborado pelo autor).	193
Figura B.26: Operação 25: Instalação de ANM (elaborado pelo autor).....	194
Figura B.27: Operação 26: Retirada de objeto arame de TH/ANM (elaborado pelo autor). .	195
Figura B.28: Operação 27: Conexão/ <i>pull in</i> de linha de produção (elaborado pelo autor)....	196
Figura B.29: Operação 28: Indução de surgência com N ₂ (elaborado pelo autor).....	197
Figura B.30: Operação 29: Retirada de objeto arame de coluna “ <i>Standing valve</i> ” (elaborado pelo autor).....	198
Figura B.31: Operação 30: Teste de produção (elaborado pelo autor).....	199
Figura B.32: Operação 31: Acidificação de matriz <i>bull head</i> (HCl) pela coluna (elaborado pelo autor).....	200
Figura B.33: Operação 32: Teste de Produção simplificado (elaborado pelo autor).	201
Figura B.34: Operação 33: Prevenção de hidrato (elaborado pelo autor).	202
Figura B.35: Operação 34: Retirada de <i>tree running tool</i> (elaborado pelo autor).....	203
Figura B.36: Operação 35: Instalação de <i>tree cap</i> e <i>corrosion cap</i> “ROV” (elaborado pelo autor).....	204

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Mapeamento 5W2H (Deolindo, 2011 e Werkema, 2012).....	30
Tabela 2.2: Descrições dos tipos de conexões na técnica IDEF0 (s.n.)	33
Tabela 2.3: Intensidade da comunicação conforme a interdependência (Daft, 1999).....	35
Tabela 3.1: Classificação do poço em relação à profundidade da lâmina d'água (Rocha & Azevedo, 2009).....	49
Tabela 4.1: Legenda das codificações (Pré-condição e <i>Output</i>)	79
Tabela 4.2: Alternativas de respostas das pré-condições	83
Tabela 4.3: Alternativas de respostas dos <i>outputs</i>	88
Tabela 4.4: <i>Output</i> do Grupo “1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c” (Caso 1).	91
Tabela 4.5: <i>Output</i> do Grupo “1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c” (Caso 2).	91
Tabela 4.6: <i>Output</i> do Grupo “1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c” (Caso 3).	92
Tabela 4.7: <i>Output</i> do Grupo quantitativo e qualitativo da questão 4 (Caso 1).	93
Tabela 4.8: <i>Output</i> do Grupo quantitativo e qualitativo da questão 5 (Caso 2).	93
Tabela 4.9: <i>Output</i> da barreira de segurança (1c).....	94
Tabela 4.10: Mapeamento das barreiras de segurança em seus caminhos sem coluna	95
Tabela 4.11: Mapeamento das barreiras de segurança em seus caminhos com coluna.....	96
Tabela 5.1: Estudo de Caso 1 (Condição de limpeza – Parte 1).....	110
Tabela 5.2: Estudo de Caso 1 (Condição de limpeza – Parte 2).....	111
Tabela 5.3: Estudo de Caso 1 (drift do poço)	112
Tabela 5.4: Estudo de Caso 2 (Condição de limpeza).....	115
Tabela A.1: Condição Inicial.....	128
Tabela A.2: Abertura de válvula de segurança DHSV	129
Tabela A.3: Acidificação de matriz <i>bull head</i> (HCl) pela coluna	130
Tabela A.4: Acidificação de matriz <i>bull head</i> (HCl) com flexitubo	131
Tabela A.5: Operação nº 4 - Assentamento de objeto arame em TH/ANM	132

Tabela A.6: Assentamento de <i>Packer</i> e cauda de produção (<i>Packer</i> permanente) + Teste de <i>Packer</i> (aplicação de peso) + STV	133
Tabela A.7: Operação nº 6 - Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)	134
Tabela A.8: Balanceio de coluna.....	135
Tabela A.9: Canhoneio a cabo (<i>overbalance</i>)	136
Tabela A.10: Combate a perda de circulação	137
Tabela A.11: Condicionamento de revestimento	138
Tabela A.12: Conexão/ <i>pull in</i> de linha de produção	139
Tabela A.13: Indução de surgência com N ₂	140
Tabela A.14: - Instalação de ANM.....	141
Tabela A.15: Instalação de BAP.....	142
Tabela A.16: Instalação de BOP.....	143
Tabela A.17: Instalação de suspensor de coluna	144
Tabela A.18: Instalação de <i>tree cap</i> e <i>corrosion cap</i> (ROV)	145
Tabela A.19: Instalação de válvula de segurança SCSSV em coluna.....	146
Tabela A.20: Jateamento da BAP	147
Tabela A.21: Jateamento de <i>housing</i>	148
Tabela A.22: Montagem e descida de coluna definitiva	149
Tabela A.23: Perfilagem para Verificação de cimentação	150
Tabela A.24: Prevenção de hidrato	151
Tabela A.25: Retirada de BOP	152
Tabela A.26: Retirada de BHA (Camisa TSR).....	153
Tabela A.27: Retirada de <i>Bridge plug</i> recuperável	154
Tabela A.28: Retirada de bucha de desgaste	155
Tabela A.29: Retirada de objeto arame de coluna (<i>Standing valve</i>)	156
Tabela A.30: Retirada de objeto arame de TH/ANM.....	157

Tabela A.31: Retirada de <i>tubing hanger running tool</i>	158
Tabela A.32: Retirada de <i>tree running tool</i>	159
Tabela A.33: Rompimento de Sub de Pressurização.....	160
Tabela A.34: Teste de BOP.....	161
Tabela A.35: Teste de Estanqueidade.....	162
Tabela A.36: Teste de produção.....	163
Tabela A.37: Teste de Produção simplificado.....	164
Tabela A.38: Teste de válvula de segurança SCSSV.....	165
Tabela A.39: Troca de Fluido de poço (FAM) (FC) (FP).....	166
Tabela A.40: Troca de Fluido do <i>riser</i> pela água do mar.....	167
Tabela B.1: Condição inicial.....	169
Tabela B.2: Operação 1: Teste de Estanqueidade.....	170
Tabela B.3: Operação 2: Condicionamento de revestimento.....	171
Tabela B.4: Operação 3: Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP).....	172
Tabela B.5: Operação 4: Perfilagem para Verificação de cimentação.....	173
Tabela B.6: Operação 5: Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR).....	174
Tabela B.7: Operação 6: Retirada de BOP.....	175
Tabela B.8: Operação 7: Jateamento de <i>housing</i>	176
Tabela B.9: Operação 8: Instalação de BAP.....	177
Tabela B.10: Operação 9: Instalação de BOP.....	178
Tabela B.11: Operação 10: Retirada de <i>Bridge plug</i> recuperável.....	179
Tabela B.12: Operação 11: Canhoneio à cabo (<i>overbalance</i>).....	180
Tabela B.13: Operação 12: Combate a perda de circulação (Completar o poço com fluido e verificar seu comportamento).....	181
Tabela B.14: Operação 13: Assentamento de <i>Packer</i> e cauda de produção (<i>Packer</i> permanente) + Teste de <i>Packer</i> (aplicação de peso) + STV.....	182
Tabela B.15: Operação 14: Retirada de BHA (Camisa TSR).....	183

Tabela B.16: Operação 15: Retirada de bucha de desgaste	184
Tabela B.17: Operação 16: Montagem e descida de coluna definitiva	185
Tabela B.18: Operação 17: Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)	186
Tabela B.19: Operação 18: Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna	187
Tabela B.20: Operação 19: Instalação de suspensor de coluna	188
Tabela B.21: Operação 20: Teste de válvula de segurança DHSV	189
Tabela B.22: Operação 21: Assentamento de objeto arame em TH/ANM	190
Tabela B.23: Operação 22: Retirada de tbg hgr <i>running tool</i>	191
Tabela B.24: Operação 23: Retirada de BOP	192
Tabela B.25: Operação 24: Jateamento da BAP	193
Tabela B.26: Operação 25: Instalação de ANM.....	194
Tabela B.27: Operação 26: Retirada de objeto arame de TH/ANM	195
Tabela B.28: Operação 27: Conexão/ <i>pull in</i> de linha de produção	196
Tabela B.29: Operação 28: Indução de surgência com N ₂	197
Tabela B.30: Operação 29: Retirada de objeto arame de coluna (<i>Standing valve</i>)	198
Tabela B.31: Operação 30: Teste de produção.....	199
Tabela B.32: Operação 31: Acidificação de matriz <i>bull head</i> (HCl) pela coluna	200
Tabela B.33: Operação 32: Teste de Produção simplificado.....	201
Tabela B.34: Operação 33: Prevenção de hidrato	202
Tabela B.35: Operação 34: Retirada de <i>tree running tool</i>	203
Tabela B.36: Operação 35: Instalação de <i>tree cap</i> e <i>corrosion cap</i> (ROV).....	204
Tabela C.1: Lista de operações (Ontologia)	205
Tabela C.2: Sequência Operacional (Caso 1).....	207
Tabela C.3: Sequência Operacional (Caso 2).....	208
Tabela C.4: Sequência Operacional (Caso 3).....	209

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM	Árvore de Natal Molhada
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API-RP	<i>American Petroleum Institute Recommended Practice</i>
BAP	Base Adaptadora de Produção
BHA	Conjunto de Composição de Fundo (<i>Bottom Hole Assembly</i>)
BOP	Preventor de Erupções (<i>Blow out Preventer</i>)
BPR	Tampão Mecânico Recuperável (<i>Bridge plug Retrievable</i>)
C	Controle
COP	Coluna de Produção
CSB	Conjunto Solidário de Barreira
CT	Flexitubo (<i>Coiled Tubing</i>)
DHSV	Válvula de Segurança de Fundo (<i>Downhole Safety Valve</i>)
FAM	Fluido Água do Mar
FC	Fluido de Completação
FEJAT	Ferramenta de Jateamento
FIBAP	Ferramenta de Instalação da BAP
FIBOP	Ferramenta de Instalação do BOP
FP	Fluido de Perfuração
FRAM	Modelo de Acidente por Ressonância Funcional
HCL	Ácido Clorídrico
I	Entrada (<i>Input</i>)
LMRP	<i>Lower Marine Riser Package</i>
MAX. APLIC.	Máximo Aplicado
MAX. PARM. PERM.	Máximo Parâmetro Permitido
MCV	Módulo de Conexão Vertical
MCV-A	Módulo de Conexão Vertical do Anular
MCV-P	Módulo de Conexão Vertical de Produção
MCV-U	Módulo de Conexão Vertical do Umbilical
MGL	Mandril de <i>Gas Lift</i>
N2	Nitrogênio

O	Saída (<i>Output</i>)
OD	Diâmetro Externo (<i>Outside Diameter</i>)
P	Pré-condição
PBR	Receptáculo de Furo Polido (<i>Polished Bore Receptacle</i>)
PDG	Sensor Permanente de Fundo (<i>Permanent Downhole Gauge</i>)
R	Recursos
ROV	Veículo Operado Remotamente (<i>Remote Operated Vehicle</i>)
RT	Ferramenta de Instalação (<i>Running tool</i>)
SCPS	Sistema de Cabeça de Poço Submarino
SCSSV	Válvula de Segurança de Subsuperfície Controlada na Superfície (<i>Surface Control Subsurface Safety Valve</i>)
SGIP	Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços
STV	Válvula de Pé (<i>Standing Valve</i>)
T	Tempo
TC	Capa da Árvore (<i>Tree cap</i>)
TH	Suspensor de Coluna (<i>Tubing Hanger</i>)
THRT	Ferramenta de Instalação do Suspensor de Coluna (<i>Tubing Hanger Running tool</i>)
TRT	Ferramenta de Instalação do conjunto da ANM (<i>Tree Running tool</i>)
TSR	Junta Telescópica (<i>Tubing Seal Receptacle</i>)
VGL	Válvula de <i>Gas Lift</i>
WB	Bucha de Vedação (<i>Wear Bushing</i>)
WBS	<i>Well Barrier Schematics</i>
WL	Cabo Elétrico (<i>Wireline</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1. Motivação.....	24
1.2. Objetivos	25
1.3. Estrutura da Dissertação	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1. Projeto de completção de poços.....	27
2.2. Planejamento operacional.....	28
2.3. Interdependências	35
2.4. Métodos de Investigação de acidentes.....	36
2.4.1 Modelo Sequencial	36
2.4.2 Modelo Epidemiológico	38
2.4.3 Modelo Sistêmico	40
2.4.4 Caracterização dos métodos de investigação de acidentes	45
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	48
3.1. Engenharia de Poço	48
3.2. Completção de poços	50
3.3. Projeto de completção de poços.....	51
3.4. Equipamentos de completção de poço	52
3.5. Interdependências	60
3.6. Modelo de Acidente por Ressonância Funcional (FRAM)	61
3.7. Classificação de respostas.....	64
3.7.1 Estruturadas	64
3.7.2. Não Estruturadas	65
3.7.3. Dados Qualitativos	65

3.7.4. Dados Quantitativos	65
3.8. Codificação das respostas	66
4. METODOLOGIA E APLICAÇÕES.....	68
4.1. Identificação e caracterização das funções do sistema	68
4.2. Identificação das dimensões	69
4.2.1. Conjunto solidário de barreiras.....	70
4.2.2. Contato do poço com a formação	75
4.2.3. Condição de Limpeza	76
4.2.4. Compatibilidade do diâmetro	77
4.2.5. Compatibilidade de esforços	78
4.3. Caracterização das condições das dimensões	78
4.3.1. Legenda das Codificações	79
4.3.2. Pré-Condições.....	79
4.3.3. <i>Output</i>	83
4.4. Interpretação da conectividade das funções	88
4.5. Identificação das condições do poço	90
4.6. Caracterização do ponto de partida e ponto de chegada.....	97
4.7. Criação da Ferramenta de Verificação	107
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	108
5.1. Estudo de Caso 1.....	108
5.2. Estudo de Caso 2.....	114
5.3. Estudo de Caso 3.....	117
6. CONCLUSÕES.....	119
REFERÊNCIAS	121
APÊNDICE A MAPEAMENTO (INTERDEPENDÊNCIAS)	127

APÊNDICE B	SEGURANÇA E SEQUÊNCIA OPERACIONAL	168
APÊNDICE C	SEQUÊNCIAS OPERACIONAIS.....	205

1. INTRODUÇÃO

A engenharia de poço é uma área complexa, que demanda a integração entre requisitos da produção com as informações de engenharia de reservatórios. Dentro desta área, a completação tem como objetivo equipar o poço após a sua perfuração, o que consiste em instalar todos os equipamentos necessários para a produção e monitoramento desse poço de forma segura e econômica. Dentro de um projeto de completação de poços, é necessário dimensionar todos os recursos que serão utilizados, tais como ferramentas, materiais, unidades e equipes necessárias para serviços. Concluído e aprovado o dimensionamento desta fase, é então dado início ao planejamento da sequência operacional de completação do poço.

O planejamento da sequência operacional de completação de um poço consiste na organização das diversas operações envolvidas, de forma a atingir uma configuração final de poço desejada conforme definido no projeto. Esse planejamento abrange as operações desde o momento do término da etapa de perfuração do poço até o momento em que a configuração final pré-definida é alcançada, isto é, o momento em que o poço está completado e pronto para produzir. Atualmente, o planejamento da sequência operacional é feito principalmente de duas formas: de acordo com a experiência do projetista ou baseado em informações de outros poços. Quando o projetista possui grande experiência, ele é capaz de elaborar a sequência operacional diretamente; no entanto, caso ele não possua grande experiência, utiliza-se históricos de poços completados cujas características são semelhantes com as do poço do projeto.

Durante o planejamento, as informações intra-operacionais são importantes, como por exemplo: o tempo das operações, os recursos utilizados, os procedimentos operacionais e o custo envolvido. Existem equipamentos que periodicamente necessitam de inspeções para garantir sua integridade, como por exemplo, o BOP, o qual, segundo a norma API RP 53, deve passar por um teste de pressão a cada 21 dias. Os recursos e procedimentos são também importantes, pois podem se aproveitar dos equipamentos, unidades e equipes necessárias para serviços de uma operação na outra, no caso em que se utilizem dos mesmos tipos de recursos e/ou procedimentos. Por exemplo, uma operação de “Troca de fluido” do poço pode ser realizada em seguida da operação de “Condicionamento do poço” para se aproveitar de que já foi realizada a descida de uma coluna dentro do poço. Neste trabalho, fatores externos das operações podem ser definidos como fatores que independem da própria operação, possuindo relações com outras operações e com as condições do estado do poço. Os fatores externos são

considerados informações extremamente importantes, como por exemplo: a segurança operacional, a condição de limpeza do poço e a compatibilidade de equipamentos com as condições do poço. Desse modo, um planejamento ideal seria em que tanto os fatores internos como os externos das operações respeitassem o processo da sequência operacional como um sistema.

Em Miura (2004), é feita uma ontologia das operações de engenharia de poço, baseada nos fatores intra-operacionais: tempo, recursos e controle; este estudo pode ser utilizado como uma base estatística para o monitoramento e mitigação de riscos operacionais. Dado que já existe este trabalho baseado no mapeamento dos fatores internos, o presente estudo tem como proposta criar uma metodologia de verificação da sequência operacional baseada apenas nos fatores externos. Foi possível observar que, tanto as condições do estado do poço possuem a capacidade de influenciar na sequência de operações, como as operações também possuem a capacidade de influenciar no estado do poço. Em vista disso, foi realizado o mapeamento das interdependências, analisando a relação entre as operações e as condições do poço, tanto sob o ponto de vista dos impactos que as operações causam no poço quanto das necessidades de condições ideais do poço para realizá-las. Consequentemente, dentro de uma sequência operacional, foi verificado se os impactos causados por cada operação sobre a condição atual do poço respeitam as pré-condições de estado do poço para as operações conseguintes.

Para realizar este estudo, foi necessário identificar as dimensões a serem analisadas das condições do poço. Primeiramente, estudou-se os tipos de impactos que as operações causam sobre as condições do poço, assim como os possíveis problemas operacionais que podem ocorrer ao se realizar as operações. Então, foram identificadas cinco dimensões essenciais que se associam aos fatores externos, sendo elas: barreiras de segurança, contato do poço com a formação, condição de limpeza do poço, compatibilidade dos diâmetros e compatibilidade dos esforços gerados no poço. As barreiras de segurança e o contato com a formação são dimensões que envolvem diretamente a segurança operacional, pois caracterizam a segurança do estado do poço em cada operação. Dado que um poço sujo pode impedir a execução de algumas operações, as quais podem necessitar de uma condição limpa, torna a condição de limpeza do poço uma dimensão importante a ser analisada. As dimensões de compatibilidade dos equipamentos com as condições do poço também podem impedir a execução de operações caso o maior diâmetro da operação não respeite o menor diâmetro de passagem (*drift*), ou se os esforços das operações não respeitarem os esforços máximos permitidos no poço.

Foi possível observar que existem diferentes condições do estado do poço para cada dimensão analisada. A identificação dessas dimensões é uma das principais contribuições deste estudo, já que permitiu compreender a relação das condições do poço com as operações.

Foram testados três casos de planejamento de sequência operacional, os quais não estavam necessariamente corretos, justamente para demonstrar que a metodologia é capaz de identificar problemas na sequência. A aplicação da metodologia nos estudos de caso permitiu identificar os riscos operacionais ocasionados pelo mau planejamento das sequências operacionais no primeiro e no segundo caso. Estes casos apontaram problemas operacionais, pois tiveram pré-condições que não foram atendidas, como, por exemplo, as condições de limpeza do poço, a compatibilidade dos diâmetros do poço com os equipamentos das operações, operações repetidas que demonstraram ser desnecessárias, dentre outros. O terceiro caso apresentou uma sequência operacional correta segundo a metodologia, pois todas as pré-condições foram atendidas, além de que todas as operações que se repetiram tiveram justificativa lógica para serem realizadas novamente.

1.1. Motivação

Após uma pesquisa na literatura, não foi encontrada nenhuma metodologia para auxiliar no planejamento da sequência operacional da completção de poços. Sendo assim, a proposição de uma metodologia de otimização do processo permite elaborar o planejamento com maior segurança, de acordo com as informações disponíveis do projeto. O resultado deste procedimento técnico poderia demonstrar uma sequência operacional coerente, que consequentemente pode reduzir problemas operacionais. Além disso, este procedimento deve apresentar o melhor resultado da sequência operacional, buscando o menor tempo e custo possível, enquanto assegura a segurança operacional e os objetivos da completção. Consequentemente, o resultado do planejamento será otimizado beneficiando o projeto do poço.

O presente estudo tem como proposta criar uma metodologia que permite verificar o planejamento da sequência operacional de completção de poços. A palavra “verificação” consiste em averiguar a existência de riscos operacionais dentro de uma sequência. Esta proposta não preenche a lacuna por inteiro, mas permite verificar a elaboração do planejamento, permitindo atentar o projetista aos possíveis descuidos durante a elaboração da sequência operacional quanto às restrições causadas pelas interdependências das operações.

Sendo assim, o uso da metodologia pode então fornecer uma maior segurança ao projetista durante a elaboração do planejamento da sequência operacional.

1.2. Objetivos

O objetivo principal do presente estudo é:

- Criar uma metodologia que permita verificar a coerência das sequências operacionais baseada nas interdependências das operações.

Os objetivos específicos são:

- Demonstrar a lógica do processo operacional, indicando a correlação das interdependências da sequência operacional analisada;
- Monitorar cada passo do processo, identificando os problemas operacionais apontados pelas respectivas dimensões analisadas;
- Demonstrar a concordância e discordância das condições do estado do poço com as pré-condições exigidas pela operação conseguinte;
- Elaborar uma ferramenta com a metodologia aplicada que facilite a leitura e o entendimento do usuário, melhore o grau de análise e permita a localização e a identificação dos aspectos mais importantes.

1.3. Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está dividido em seis capítulos e três apêndices.

- Neste capítulo, é feita uma introdução sobre a completção de poços e a importância do planejamento da sequência operacional de completção para a indústria do petróleo. Também são apresentados a motivação e o objetivo deste trabalho.
- No capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica, abordando o conhecimento científico presente na literatura quanto aos métodos e técnicas que se alinham ao presente trabalho.
- No capítulo 3, é apresentada uma fundamentação teórica relativa aos conceitos que serão necessários para o desenvolvimento da metodologia, tais como o modelo de FRAM, os principais equipamentos de completção e as classificações dos dados a serem armazenados no mapeamento das interdependências.

- No capítulo 4, são abordados os procedimentos que permitem criar a nova metodologia de verificação. Seguindo uma ordem cronológica, são descritas seis fases necessárias para criar essa metodologia. Por fim, a metodologia é implementada em uma planilha eletrônica.
- No capítulo 5, são apresentados os resultados dos três estudos de casos diferentes, utilizando o programa com a metodologia de verificação. Posteriormente, são discutidos os resultados.
- No capítulo 6, é realizada a conclusão da dissertação, onde são apresentadas as considerações parciais e é analisado se os resultados cumpriram os objetivos esperados. Além disso, também foram feitas observações importantes adquiridas ao longo do trabalho.
- No Apêndice A, foram mapeadas as interdependências dos fatores externos das 39 operações listadas com a condição inicial do poço.
- No Apêndice B, para complementar a verificação da sequência operacional, foi feito um esquema ilustrativo demonstrando o estado da condição do poço e os dois conjuntos solidários de barreira de segurança independente após cada operação do terceiro caso. Além disso, para todas as operações da sequência, também foram feitas tabelas para mapear as barreiras de segurança em relação aos seus caminhos e os CSBs que as compõem.
- No apêndice C, é apresentada uma lista de operações que foram utilizadas para realizar o mapeamento das interdependências dos fatores externos na Tabela C. 1. As demais tabelas são referentes às sequências operacionais dos estudos de caso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é realizada uma revisão bibliográfica, abordando o conhecimento científico presente na literatura quanto aos métodos e técnicas que foram desenvolvidas para auxiliar no planejamento operacional, nos projetos de completação de poços e na análise das interdependências das operações.

2.1. Projeto de completação de poços

O projeto de completação de poços é um processo complexo que exige que o engenheiro selecione, racionalize e integre um grande número de elementos dentro do projeto. Muitos trabalhos foram desenvolvidos para tornar os projetos de completação de poços cada vez mais viáveis, sejam eles sobre o aprimoramento das condições da confiabilidade do sistema, os resultados a serem obtidos, a redução do tempo e custo, entre outros.

Peden (1986), baseado nas informações fornecidas pelos operadores do Mar do Norte, apresentou resultados numa tentativa de racionalizar as decisões de projeto e quais fatores influenciam a seleção ou especificação de equipamentos e procedimentos de completação. O artigo discute o processo de construção de fluxogramas lógicos de projeto com o conhecimento de completação adquirido no estudo.

Dunn-Norman e Peden (1988) desenvolveram um modelo computacional de projeto de completação de poço para formalizar as relações e interação entre a computação convencional junto ao conhecimento de projetistas que adquiriram grande experiência operacional ao longo de suas carreiras profissionais. Neste estudo, o conhecimento dos profissionais sobre os possíveis riscos operacionais ou resultados a serem obtidos de acordo com as condições analisadas do poço são armazenadas em uma base de dados. Nessa base de dados, existem informações tais como análise de tensões e hidráulica das colunas, equipamentos de completação, dentre outros fatores. Em seguida, são emitidos comandos de acordo com as condições do poço, interagindo com a base de dados.

Bellarby (2009) ressalta que muitas operadoras têm seu próprio processo interno para garantir que os projetos sejam adequados para atingir os objetivos definidos. O autor explica as etapas de um projeto de completação de poços. Primeiramente, são reunidos os dados que serão incorporados ao projeto em um documento chamado de “*Statement of requirements*”. O documento deve incorporar dados de reservatório, de produção e uma expectativa do que a completação necessita para lidar ao longo da vida do campo. Na base do projeto, devem ser descritas as principais decisões tomadas no projeto de completação e suas justificativas, como

por exemplo a necessidade de controle de areia, de estimulação, de tamanho de tubulação, etc. Além disso, a base do projeto deve incluir as etapas básicas de instalação e as avaliações de risco de projeto. Em um segundo momento, o projeto deve ser detalhado, preenchendo informações sobre metalurgia, elastômeros, análise de tensão de tubulação e seleção de equipamentos e especificações. Este documento destina-se mais aos fornecedores de equipamentos, aos engenheiros complementares e ao apoio especializado. Esta base detalhada do documento de projeto deve idealmente ser concluída e revisada antes de comprar qualquer equipamento. Em seguida, tomada de decisões sobre os procedimentos de completação devem ser escritos, revisados e acordados por todas as partes envolvidas na instalação. As revisões e procedimentos devem proceder à mobilização de equipamentos e pessoal. Por último, é fundamental fazer um relatório de pós-completação detalhando o *status* do poço, os resultados e lições aprendidas. Todas as experiências geram conhecimento para futuras completações.

2.2. Planejamento operacional

O planejamento de uma sequência de ações deve alcançar um conjunto de metas determinadas a partir de condições iniciais e restrições de tempo de execução. A tarefa de um planejador é encontrar uma sequência de ações que permitam a um solucionador de problemas - como um sistema de controle - realizar alguma tarefa específica. O planejamento tradicional é muito intensivo em conhecimento, uma vez que a criação do plano requer a organização de partes de conhecimento e de planos parciais em um procedimento de solução.

Em Luger (2008), é descrito como pode ser realizado o planejamento operacional no sistema robótico. O resultado de cada operação em relação ao espaço físico do local da operação é denominado pelo autor de “estado do mundo”. O autor deu um exemplo utilizando uma mão robótica e blocos para descrever um planejamento operacional e demonstrou que é necessário mapear todas as condições do espaço físico. O momento após o término de cada operação gera uma lista de operações que podem ser executadas. A nova operação escolhida irá gerar uma nova condição do espaço físico, gerando uma nova lista de operações que podem ser executadas em seguida. A configuração do espaço físico do cenário vai mudando de acordo com o decorrer das operações até atingir a configuração final desejada.

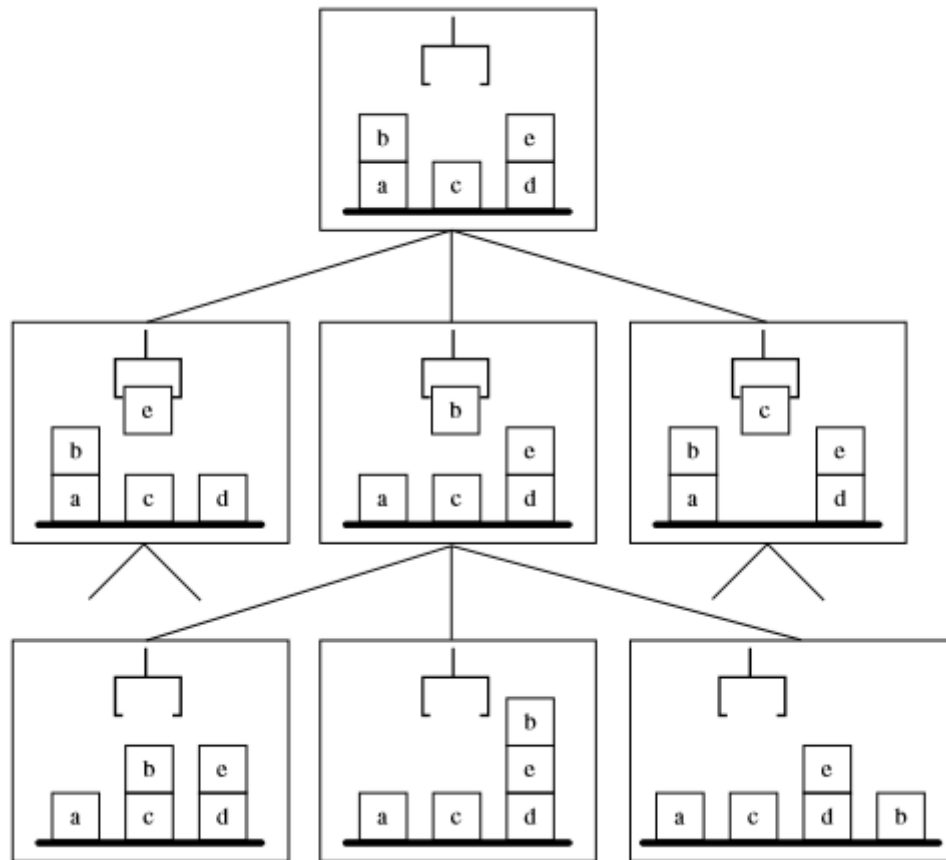


Figura 2.1 Mudança do espaço físico de uma sequência operacional de blocos (Luger, 2008).

McCarthy (1980) e McCarthy e Hayes (1969) também observaram a importância dos impactos causados pelas operações sobre a condição do cenário, denominando os impactos como os criadores do quadro dos problemas. Os autores perceberam também a necessidade de caracterizar o que não é alterado por uma determinada ação, pois a predominância da condição de um espaço físico pode atender à exigência de uma operação conseguinte.

Segundo Deolindo (2011) e Werkema (2012), a ferramenta 5W2H é muito útil em qualquer planejamento operacional, pois auxilia a montar o plano de ações, reunindo importantes detalhes. A ferramenta funciona como um mapeamento das informações dos subsistemas das operações de forma a permitir uma melhor análise do sistema como um todo. Além disso, é essencial uma avaliação dos riscos de cada operação planejada, bem como a definição de planos de contingência para caso um desses riscos se concretize. O método consiste em responder sete perguntas básicas para programar soluções como pode ser vista na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Mapeamento 5W2H (Deolindo, 2011 e Werkema, 2012).

What	O que será feito	Ação, etapas, descrição
Why	Por que será feito	Justificativa, motivo
Where	Onde será feito	Local
When	Quando será feito	Tempo, datas, prazos
Who	Por quem será feito	Responsabilidade pela ação
How	Como será feito	Método, processo
How much	Quanto custará fazer	Custo ou gastos envolvidos

Segundo Corrêa (2005), o mapeamento de processo é uma técnica usada para detalhar o processo de negócios focando os elementos importantes que influenciam em seu comportamento atual. A orientação do fluxo dos processos é importante porque transforma um simples layout de máquinas dentro de uma fábrica em uma série de processos, tentando reduzir distâncias entre as operações, melhora o aproveitamento do espaço e diminui o tempo de produção. Mapear ajuda a identificar as fontes de desperdício, fornecendo uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura e serviços, tornando as decisões sobre o fluxo visíveis, de modo em que se possa discuti-las, agregando conceitos e técnicas enxutas, que ajudam a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente, formando a base para um plano de implementação e mostrando a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material. Para iniciar a fase de representação do processo é importante o desenvolvimento de uma lista de atividades pela realização de entrevistas semi-estruturadas, que permitam aos participantes dos processos falarem aberta e claramente a respeito do seu trabalho diário. A melhoria do processo aborda a avaliação da situação atual dos processos e promoção de planos de melhoria. Para isso, são consideradas algumas etapas como a verificação do plano de melhoria, a implantação da solução ótima e a monitoração dos resultados. Esta fase busca garantir que falhas identificadas sejam profundamente analisadas e solucionadas. Assim, de modo geral, o mapeamento de processo é usualmente executado nos seguintes passos:

- 1- Identificação dos produtos e serviços e seus respectivos processos. Os pontos de início e fim dos processos são identificados neste passo.
- 2- Reunião de dados e preparação
- 3- Transformação dos dados em representação visual para identificar gargalos, desperdícios, demoras e duplicação de esforços.

O IDEF (Integration Definition) é uma técnica de modelagem de processos para um desenvolvimento seguro e sustentado, que de forma gráfica descreve todo o ciclo de vida de desenvolvimento de um sistema. É uma orientação através de padrões e critérios de análise (MELO, 2006). O IDEF é uma ferramenta que pode ajudar na interdependências dentro de um sistema.

O IDEF0 (IDEF zero) provém de “Integration Definition Language for Function Modeling”, sendo um subconjunto da Técnica de Análise e Projeto estruturados (Structured Analysis and Design Technique - SADT), desenvolvido por Douglas T. Ross, no final dos anos 60, a pedido do departamento de defesa dos Estados Unidos. Este modelo é uma das mais populares técnicas de modelagem de processos de negócio, é utilizada para modelar decisões, ações e atividades de uma organização (COLOQUHOUN et al., 1993; IDEF0, 1993). Esta técnica deve ser utilizada quando precisar descrever formalmente um processo, para garantir um resultado detalhado, claro e preciso. Deve ser utilizado principalmente quando o processo for complexo, permitindo produzir uma descrição completa e correta do processo.

Um modelo IDEF0 é composto por uma série hierárquica de diagramas, descrevendo funções e suas interfaces no contexto de um sistema (LIU; SUN; MAHDAVIAN, 2008). O IDEF0 processa uma coleção de atividades e outras ações utilizando-se de ICOMs (Inputs, Controls, Outputs, Mechanisms, ou entradas, controles, saídas e mecanismos), setas e caixas. A entrada recebe o dado a ser convertido pela atividade. O controle agrega responsabilidade de como executar a atividade. A saída é o resultado de como a entrada foi processada e o mecanismo representa o recurso que irá executar essa atividade (humano, máquina, equipamento, outra organização). Desta forma, podemos classificar cada uma das funções, como:

- Entradas: que a matéria-prima que é transformada durante a atividade/processo.
- Controles: que influenciam ou direcionam como o processo funciona, tais como regras de segurança.
- Mecanismos: o que é necessário para que a atividade ocorra, tais como pessoas, ferramentas ou máquinas e equipamentos.
- Saída: que são o resultado da atividade e são transmitidas para outro processo ou utilizadas pelo cliente do processo.

Na Figura 2.2 é demonstrado o esquema de uma atividade em relação às suas funções.

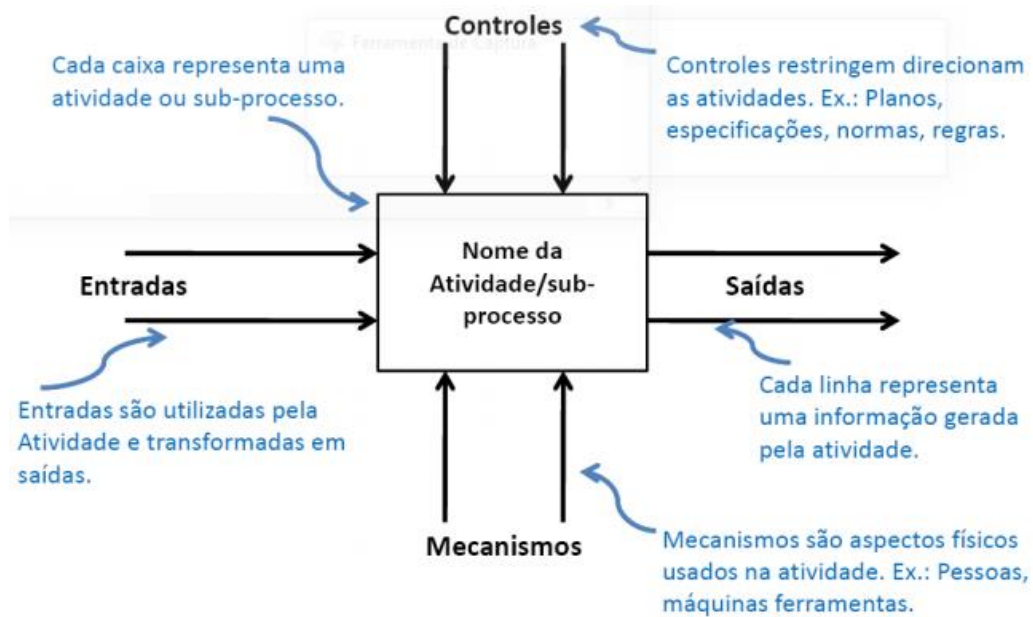
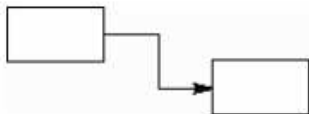
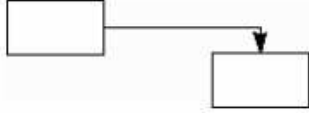
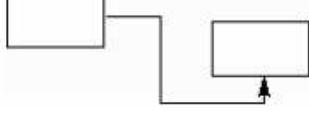

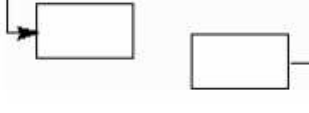


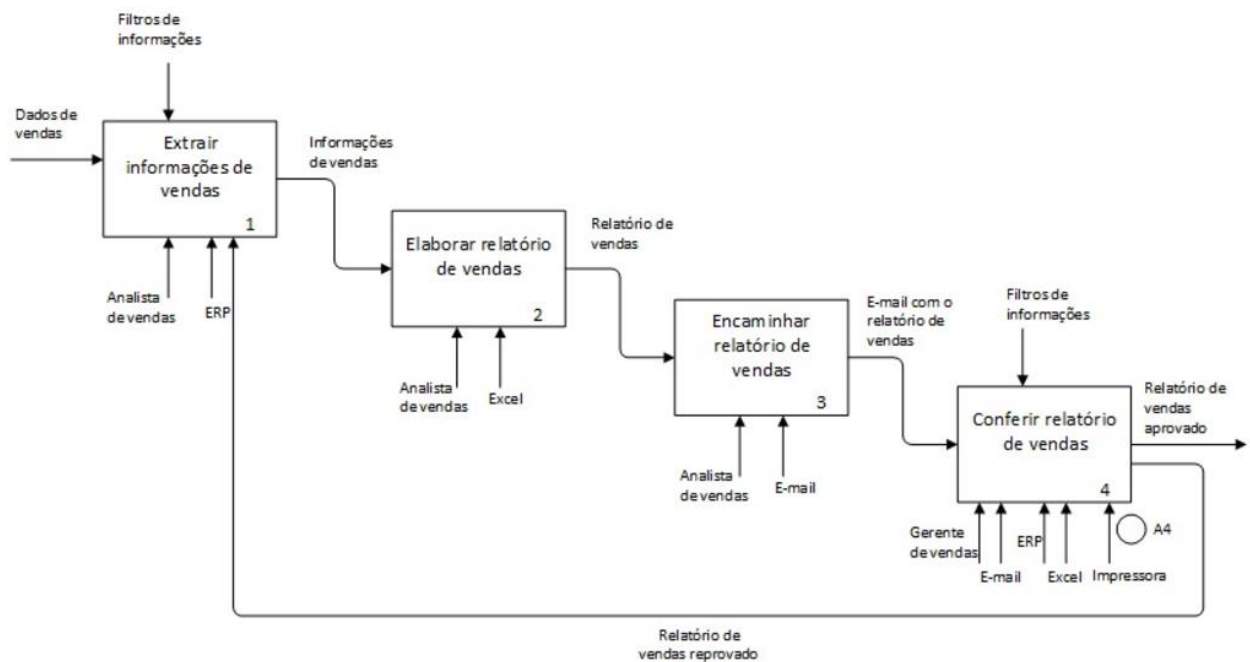
Figura 2.2: Diagrama 'A-0' - retângulo composto por elementos básicos do processo como um todo (s.n.)

Cada atividade ou função é conceitualmente representada por uma caixa retangular, sendo que esta atividade pode ser decomposta em vários níveis. Estes subníveis seguem as mesmas convenções. Portanto, um modelo completo de IDEF0 é uma representação hierárquica do processo, decomposta por atividades ou funções em quantos níveis forem necessários. Há apenas cinco tipos de conexão que as setas podem fazer entre os retângulos, como indicado na Tabela 2.2, a qual mostra como as atividades, alimentam, permitem ou restringem outra atividade. A mistura de tipos de conexões em um conjunto de diagramas indicará o tipo de sistema. Por exemplo, um processo com pouco retorno pode indicar falta de controle.

Tabela 2.2: Descrições dos tipos de conexões na técnica IDEF0 (s.n.)

Tipo de conexão	Tipo	Descrição
	Conexão de entrada	Saída para entrada de um processo de menor precedência.
	Conexão de controle	Saída de um processo é utilizada como controle de um processo de menor precedência.
	Saída para mecanismo	A saída de um processo é utilizada como mecanismo do processo de menor precedência.
	Retorno de controle	A saída de um processo é utilizada como controle de um processo de maior precedência.
	Retorno de entrada	A saída de um processo é utilizada como entrada de um processo de maior precedência.

Podemos ver na Figura 2.3, um exemplo de um processo de vendas de um produto sendo aplicada a técnica IDEF0.

**Figura 2.3:** Técnica IDEF0 em um exemplo de processo de vendas (Allencar, 2016)

O IDEF0 tem a vantagem de detalhar o desenho do diagrama e a tipificação dos componentes que atuam sobre as atividades. A capacidade de análise do processo ao se utilizar esta notação aumenta muito.



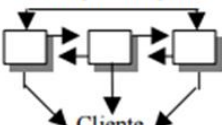
O trabalho desenvolvido em Miura et al (1996) propõe um algoritmo chamado de “Quantificação de CSB”. O programa auxilia a verificação de uma sequência operacional em engenharia de poço, sendo capaz de calcular o número de CSBs (Conjunto solidário de barreira de segurança) independentes ativos baseando-se nos grafos de barreiras. Portanto, o algoritmo é baseado apenas em um fator externo: a segurança operacional. Posteriormente, Miura (2004) refina o algoritmo, denominando-o como “Análise Dinâmica Quantitativa de CSB”. O novo algoritmo é baseado no mapeamento dos estados das barreiras no início da intervenção, antes e depois das operações serem realizadas; depois, verifica-se se a sequência operacional está conforme o critério de aceitação estabelecido. O programa permite corrigir a sequência operacional caso as operações não estejam atendendo ao critério de segurança operacional; isto é, inserem-se uma ou mais operações que ativem as barreiras necessárias antes das operações que não estejam atendendo ao critério. Dada à existência desse programa que calcula o número de CSBs independentes, o presente trabalho não se concentrará no cálculo da quantidade de CSBs após cada operação.

Em Miura (2004), foi desenvolvida uma ontologia de operações de engenharia de poço baseada no mapeamento dos fatores intra-operacionais: tempo, recursos, diretrizes e procedimentos. A ontologia monta uma base de dados que será utilizada como uma base estatística para permitir a mitigação de risco das operações. O objetivo do autor é considerar todos os fatores de risco durante a execução de uma operação, propondo um método para a compilação de informação sobre a realização das intervenções. As maiores vantagens do uso da ontologia são o compartilhamento e o reuso de bases de conhecimento em intervenções, servindo como um guia para o processo de aquisição de conhecimento. Nesse estudo, todas as operações possuem nomes padronizados. O conhecimento dos recursos a serem utilizados e dos procedimentos a serem realizados das operações de completação podem auxiliar na análise dos fatores externos das operações. Para o presente trabalho, a ontologia serviu como um documento rico de informações que ajudaram no entendimento das operações e também permitiu listar as operações para elaborar sequências operacionais.

2.3. Interdependências

A interdependência é definida quando um ato ou unidade organizacional é dependente de outro dentro de um processo. O conjunto de elementos/ações interdependentes forma um sistema, o qual deve possuir um objetivo geral a ser atingido. Em Daft (1999), foi desenvolvida uma teoria sobre o projeto das organizações, através da análise dos níveis de interdependência. Segundo o autor, a interdependência pode ser classificada de acordo com os diferentes níveis de intensidade de dependência entre as unidades organizacionais. Uma interdependência baixa significa que as unidades organizacionais podem executar seu trabalho independentemente umas das outras e têm pouca necessidade de integração. A interdependência relativamente alta implica que as unidades organizacionais necessitam constantemente intercambiar recursos e informações. A interdependência foi classificada em três tipos de modelos: associativa, sequencial e recíproca. O entendimento deste conceito permite associar o planejamento da completação com o modelo sequencial, já que todas as operações de um projeto necessitam de uma condição ideal para atingir seus objetivos. Deste modo, a elaboração de uma sequência operacional deve ser realizada de forma coerente, tal que cada operação a ser realizada resulte em um impacto positivo, tornando ou mantendo uma condição ideal para as operações consequentes. Na Tabela 2.3, são resumidas as três classificações de interdependências, indicando os níveis de interação entre as unidades organizacionais.

Tabela 2.3: Intensidade da comunicação conforme a interdependência (Daft, 1999).

Forma de Interdependência	Necessidade de comunicação entre as unidades organizacionais
Associativa Exemplo: agências de banco 	Pouca comunicação
Sequencial Exemplo: linha de montagem 	Comunicação moderada
Recíproca Exemplo: hospital 	Muita comunicação

2.4. Métodos de Investigação de acidentes

Hollnagel (2004) define que os atuais métodos de investigação de acidentes fazem parte de três grandes categorias: sequencial, epidemiológica e sistêmica.

2.4.1 Modelo Sequencial

Os modelos sequenciais descrevem os acidentes como sendo o resultado de uma sequência de eventos discretos ordenada no tempo. Eles assumem que um evento indesejável, chamado de "causa raiz", iniciando uma sequência de eventos que levam a um acidente e que a relação causa-efeito entre eventos consecutivos é linear e determinista. Por isso, o acidente é resultado desta causa raiz, que se for identificada e removida vai evitar a reincidência do acidente (UNDERWOOD e WATERSON, 2013).

Uma das principais teorias que compõem este modelo é a Teoria dos Dominós, descrita por Herbert Heinrich, na década de 30. Segundo o autor, o acidente ocorre devido a alguns fatores ou eventos, que metaforicamente são arranjados em uma linha, como se fosse uma sequência de dominós (Figura 2.4).

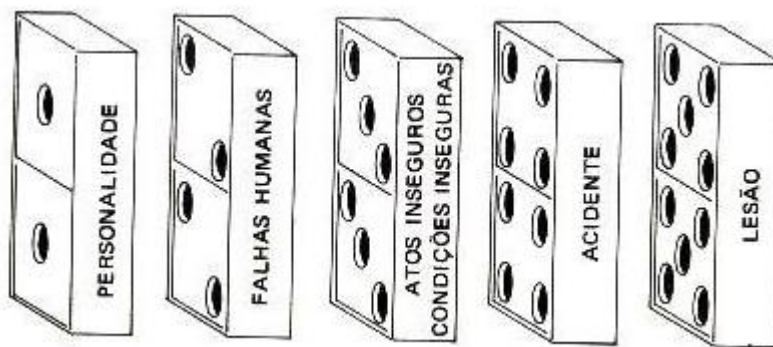


Figura 2.4: Representação dos cinco pilares da Teoria dos Dominós (Slavutzki, 2010)

O primeiro dominó representa a personalidade e o caráter do trabalhador, que é influenciada por fatores sociais e ambientais preexistentes. O segundo representa os comportamentos inadequados e falhas humanas dos trabalhadores. O terceiro dominó é relativo às condições ambientais e atos inseguros. O quarto é a própria ocorrência do acidente e o quinto são as lesões resultantes desse acidente (SLAVUTZKI, 2010).

A teoria afirma que os acidentes se desencadeiam mediante o descontrole de alguns desses eventos. Quando o primeiro “dominó” está em perturbação no sistema, desencadeia um problema e determina a queda do segundo, sendo assim sucessivamente até a ocorrência das

lesões, representada pelo último dominó, conforme pode ser visto na Figura 2.5 (SLAVUTZKI, 2010).

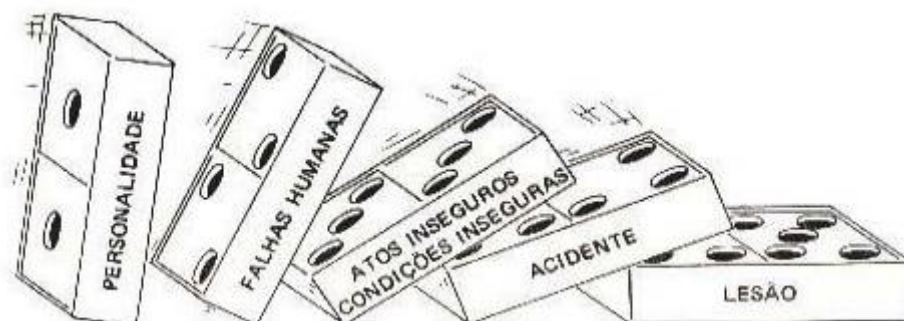


Figura 2.5: Representação da ocorrência dos acidentes segundo a teoria dos dominós (Slavutzki, 2010).

Heinrich afirmava que os dois primeiros dominós são de difícil controle, já que a natureza dos mesmos é ligada diretamente à personalidade dos trabalhadores e fatores sociais que vem de fora da empresa. Logo, para ser eficaz na prevenção dos acidentes deve-se atuar no terceiro dominó, mapeando e tratando condições inseguras do ambiente e dos trabalhadores (SLAVUTZKI, 2010). Caso esse dominó seja neutralizado, as lesões não ocorreriam, conforme mostra a Figura 2.6 abaixo:

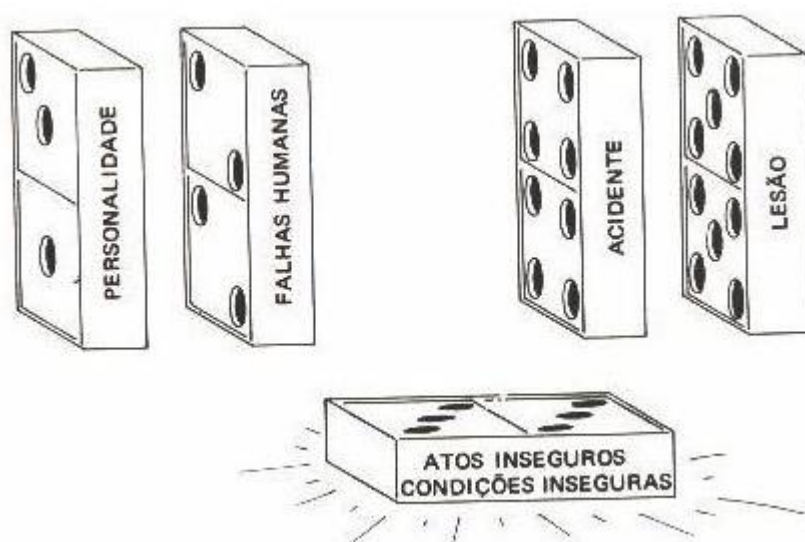


Figura 2.6: Atuação para se evitar a ocorrência de acidentes segundo a teoria dos dominós (Slavutzki, 2010).

Essa linha de análise funciona bem para as perdas causadas por falhas em componentes físicos ou em ações dos trabalhadores em sistemas relativamente simples e, geralmente, oferecem uma boa descrição dos acontecimentos que levaram ao acidente (UNDERWOOD e WATERSON, 2013).

A Análise de Árvore de Eventos (ETA) é outro método que também faz parte desta categoria. Este método é utilizado para modelar a sequência de eventos possíveis que acontecem a partir de um determinado perigo, com o objetivo de descrever as consequências da ocorrência do evento perigoso (NETJASOV; JANIC, 2008). A figura 3 mostra um exemplo de uma ETA.

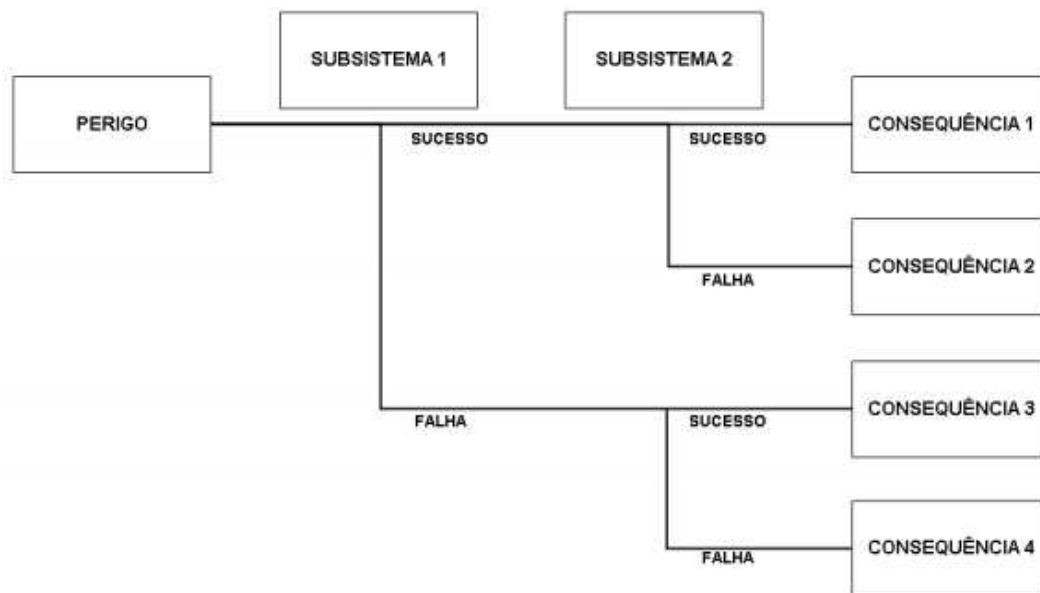


Figura 2.7: Exemplo de ETA (Dirickson, 2016)

2.4.2 Modelo Epidemiológico

Neste modelo, os acidentes são tratados como se fossem “doenças”, ou seja, ocorrem devido à interação de diversos fatores, sendo que alguns podem estar manifestados no sistema e outros na forma latente esses caracterizam a saúde geral de um sistema. As falhas latentes são aquelas relacionadas à gestão e cultura da organização, assim como falhas de tecnologia, pressões internas e psicológicas, entre outras, que são difíceis de serem observadas e que por si só não geram os acidentes. Porém, quando as consequências adversas das falhas latentes se combinam com os atos inseguros dos trabalhadores, ou seja, com as falhas ativas, são capazes de romper as defesas do sistema, causando assim um acidente (REASON, 2006).

Uma das principais teorias que traduzem a metodologia epidemiológica é o modelo do queijo suíço (Swiss Cheese Model – SCM), proposto por Reason em 1990. De acordo com o modelo, os sistemas possuem muitas barreiras de defesa, sendo algumas projetadas pela engenharia e de caráter tecnológico (alarmes, barreiras físicas, bloqueios automáticos, etc.), outras oriundas da gestão da organização (elaboração de procedimentos, mapeamento de riscos, disponibilização de treinamentos, etc.) e outras dependem das pessoas que operam o sistema (REASON, 2000). O SCM modela a causa de um acidente como uma sequência de falhas em quatro níveis (REASON, 1990):

1. Influências organizacionais
2. Supervisão insegura
3. Pré-condições para ações inseguras.
4. Ações inseguras

A função dessas barreiras é proteger as vítimas potenciais e os ativos dos riscos inerentes às atividades desempenhadas no local, e na maioria das vezes fazem isso de maneira eficaz. Em um mundo ideal, cada barreira defensiva seria intacta e sem falhas, porém na realidade elas são mais parecidas com fatias de queijo suíço, com muitos buracos, embora ao contrário do queijo, esses buracos estão continuamente abrindo, fechando e mudando de localização (REASON, 2000). Os buracos na figura representam os problemas e fragilidades em cada aspecto, distribuídos aleatoriamente em tamanho e localização. Assume-se que eventualmente esses buracos se alinham de uma maneira a criar um caminho através de cada nível, representando a combinação de falhas que leva a um acidente, atravessando até mesmo as barreiras existentes.

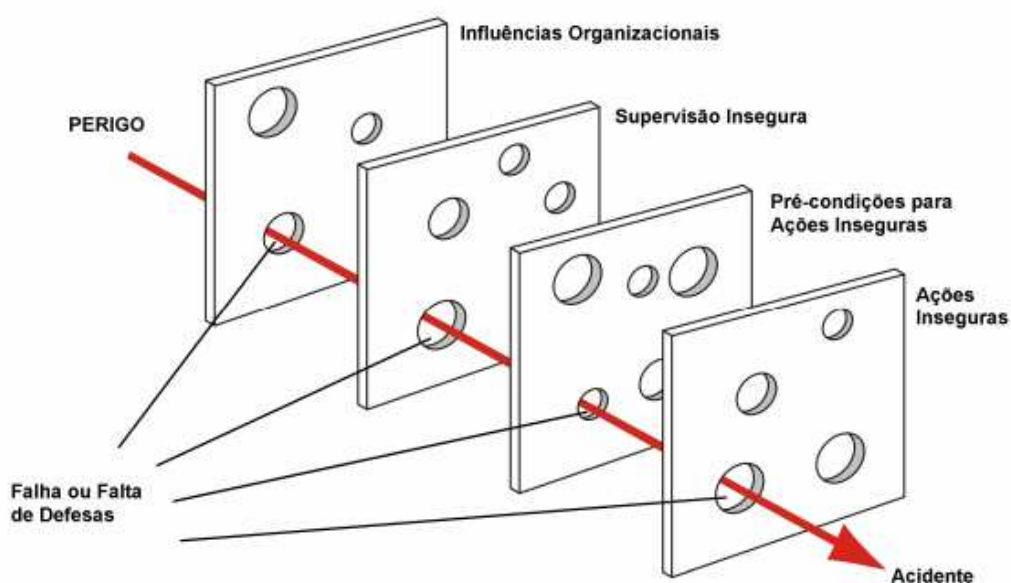


Figura 2.8: Modelo Queijo Suíço (adaptado de Reason, 1990)

2.4.3 Modelo Sistêmico

No modelo sistêmico, é utilizada uma analogia com base nos termos "estocástico" e "ressonância" para explicar os acidentes. Hollnagel (2004) explica que a variabilidade de um sistema se comporta de acordo com um modelo estocástico, ou seja, a probabilidade de que estas variações se manifestem são aleatórias e imprecisas. Estas variações não são, por si só, capazes de provocar um acidente. No entanto, pelo fenômeno da ressonância, quando estas variações agem simultaneamente e em uma mesma frequência, elas podem amplificar o risco dos acidentes. Com estas analogias, compreende-se que os fatores causais que perturbam um sistema sempre são múltiplos, não-lineares e de atuação simultânea e desordenada (chamadas de movimentos brownianos). Enquanto no modelo sequencial é recomendada a eliminação da variabilidade e de suas fontes (Binder, Almeida, Monteau, 1996), o modelo sistêmico assume que a variabilidade é normal e que sua eliminação é, em geral, impossível, sobretudo no contexto de sistemas dinâmicos e complexos. Neste contexto, o modelo sistêmico propõe que a ênfase das ações preventivas deve ser no monitoramento da variabilidade e no desenvolvimento da capacidade de adaptação às pressões organizacionais.

Segundo Hollnagel (2004), é de validade limitada deter-se na busca de causas específicas de um acidente, uma vez que cada acidente apresenta uma combinação própria de fatores que podem causá-lo. No entanto, quando há repetição do mesmo contexto e quando a tarefa ocorre com frequência, torna-se imprescindível investigar as causas para a prevenção (Dekker, 2002). Portanto, a proposta de Hollnagel (2004) está focada não apenas na busca por razões

diretas que influenciaram na ocorrência do acidente, mas também em compreender o contexto relacionado ao cenário do acidente, tanto sob a ótica ambiental, política, organizacional, individual, entre outras.

Dentro deste conceito surgem modelos novos que incorporam esse pensamento sistêmico, onde os mais famosos são (UNDERWOOD; WATERSON, 2014):

1. Systems Theoretic Accident Model and Process (STAMP)
2. Accidents Mapping (AcciMAP)
3. Functional Resonance Accident Model (FRAM)

Esses novos modelos incorporam o conceito de engenharia de resiliência, onde ao invés de procurar por causas de acidentes puramente, eles procuram entender como projetar sistemas que conseguem lidar com a variabilidade de eventos perigosos, que fazem com que o sistema entre em um estado de perigo, e assim possam utilizar de respostas projetadas para mover o sistema para um estado mais seguro.

O modelo STAMP (LEVESON, 2004) baseia-se na teoria de sistemas e os três pilares do método são: restrições de segurança, estrutura hierárquica de controle e modelo de processo. De acordo com o método, as restrições de segurança devem ser reforçadas através de controles, os quais utilizam mecanismos de realimentação e buscam garantir a segurança do sistema observando as mudanças e readaptando o controle quando necessário. O controle hierárquico significa que é possível estabelecer níveis de controle, nos quais os níveis mais baixos estão mais próximos da estrutura física onde ocorre o acidente. Cada nível acima possui mecanismos para reforçar as restrições de segurança dos níveis abaixo e ter retroalimentação para avaliar se as restrições impostas estão sendo bem sucedidas ou falhando. Para que as ações de controle sejam possíveis, o controlador de cada nível estabelece um modelo de processo, o qual permite a identificação de como o processo deve se comportar ao ser aplicada a restrição de controle (LEVESON, 2011).

O AcciMap foi projetado para utilizar a teoria de controle juntamente com o pensamento sistêmico para a análise de acidentes, consequentemente considerando que acidentes são causados pela perda de controle de um processo (UNDERWOOD; WATERSON, 2014). Rasmussen (1997) cita que todos os níveis hierárquicos afetam o controle dos perigos, portanto uma visão verticalizada do comportamento do sistema é necessária. O modelo analisa a série de interações, eventos e processos de decisão que ocorreram no sistema e resultaram na perda de controle do processo. Para isso, utiliza-se uma mistura de um fluxograma de causa e consequência com o arcabouço de gerenciamento de risco

(RASMUSSEN, 1997), descrevendo então o sistema sócio-técnico através de seis níveis organizacionais (a figura 6 mostra um exemplo).

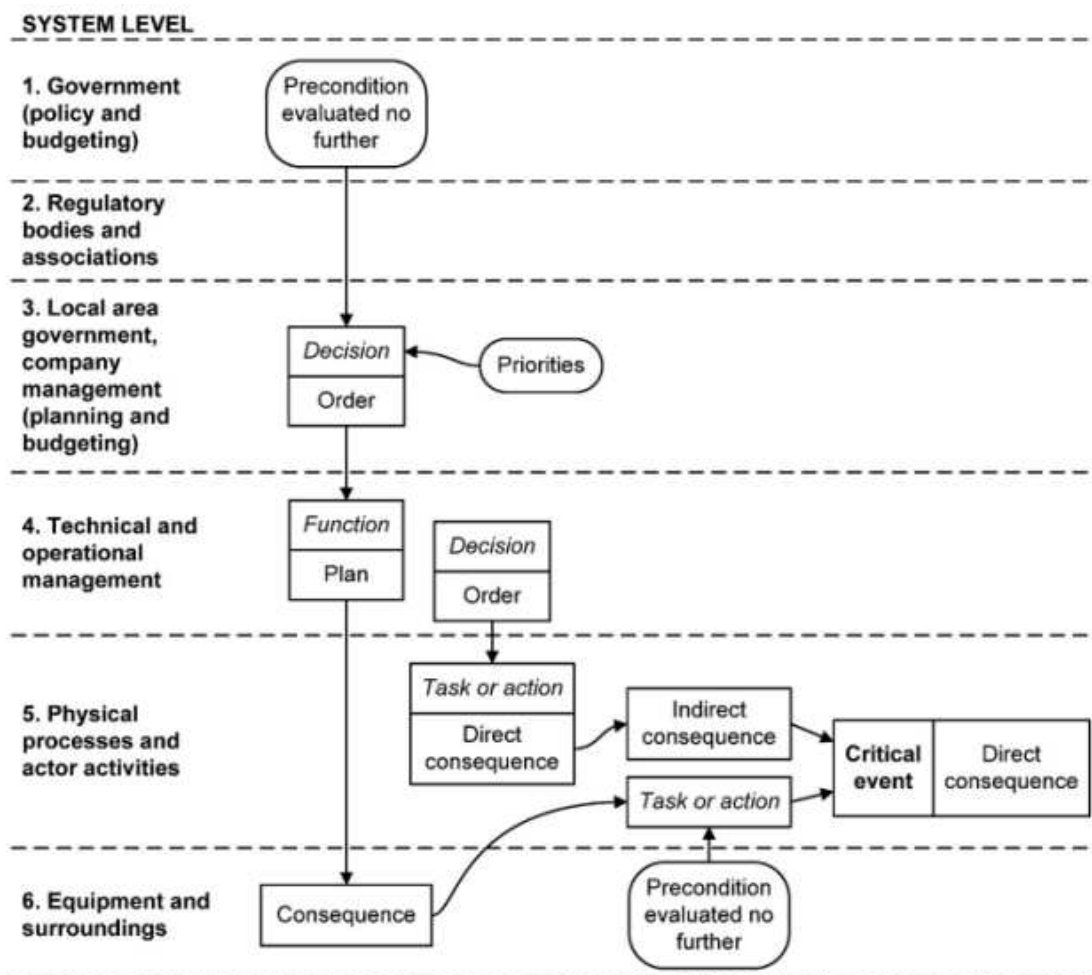


Figura 2.9: Diagrama do AcciMap (Underwood e Waterson, 2014)

Em Hollnagel (2006), um modelo de acidente por ressonância funcional (FRAM) foi desenvolvido, o qual utiliza o princípio da ressonância funcional no contexto de um sistema para identificar riscos em sistemas dinâmicos e descrever acidentes complexos. O sucesso deste modelo depende da capacidade das organizações, grupos e indivíduos para antecipar os riscos e situações críticas, reconhecendo-as a tempo de tomar medidas adequadas. O modelo de FRAM tem como objetivo investigar as condições que podem gerar acidentes entre as etapas de um processo através do mapeamento das suas interdependências. Deste modo, este modelo é definido como um sistema de análise de risco, observando as funções intra-operacionais (tempo, recursos e controle) e as funções externas (saída, entrada e pré-condição), gerando uma função estrutural hexagonal. Para exemplificar essa metodologia, a Figura 2.10 demonstra um exemplo de ressonância funcional do processo operacional da área

de navegação aérea (RNAV). Quando nos adentramos no assunto de método de navegação aérea, sabemos que é um sistema muito complexo, onde qualquer falha no procedimento pode ser fatal à operação. Por isso, o modelo de FRAM foi utilizado para identificar os riscos em seu sistema e descrever os acidentes complexos. Este exemplo também demonstra que as conexões das funções das operações não devem seguir necessariamente uma ordem sequencial. Sua metodologia consiste no mapeamento das dependências entre as funções das operações, sabendo como as operações impactam nas outras operações, tornando as condições adequadas, inadequadas ou imprevisíveis, de acordo com a forma e a cor da linha que interliga as interdependências entre as operações.

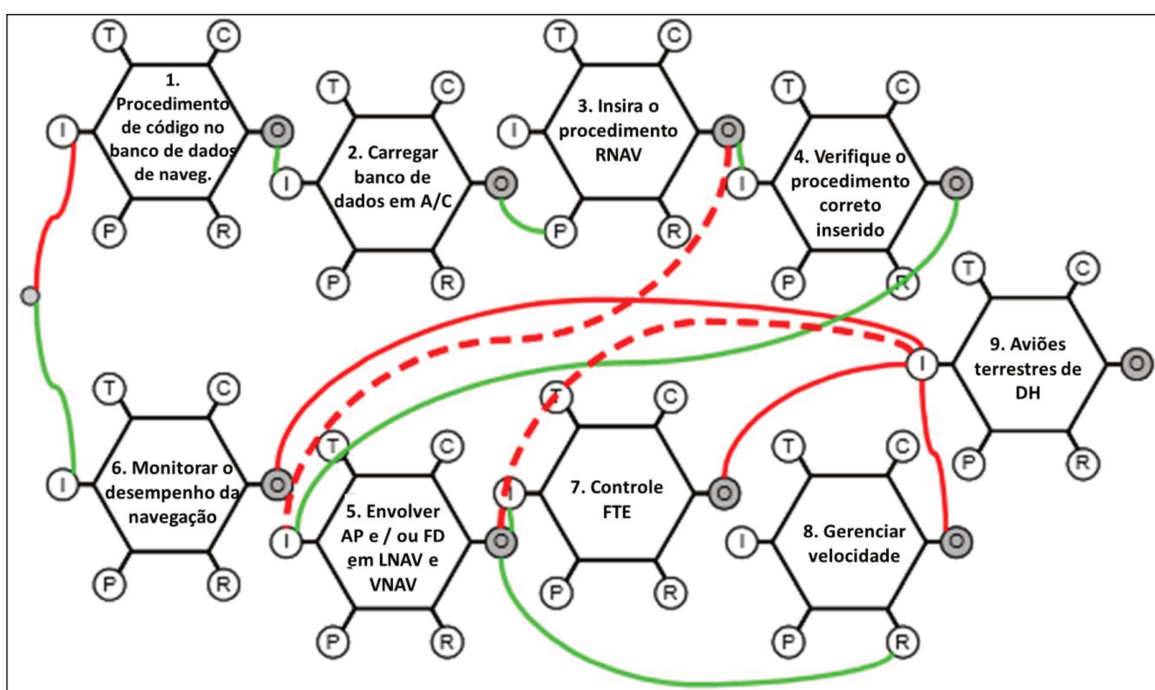


Figura 2.10: Exemplo de ressonância funcional em operações de área de navegação RNAV (adaptado de Hollnagel, 2006).

Em Ahman (2013), o modelo de FRAM foi utilizado como metodologia para interpretar as interdependências das operações em um combate a incêndios nas plataformas *offshore* na Noruega. O autor identificou as seis funções sugeridas pelo modelo de FRAM para realizar a análise do sistema e realizou o mapeamento da variabilidade das condições dessas funções para vinte operações. O autor descreveu três tipos de eventos e mapeou as interdependências entre as operações. Os resultados foram positivos, demonstrando que a metodologia conseguiu apontar os riscos operacionais, desde os mais simples até os consideravelmente mais complexos de acordo com a análise das interdependências das funções do sistema. Na

Figura 2.11 é apresentado um exemplo de mapeamento das interdependências de um conjunto de operações de um determinado evento de combate a incêndio na plataforma.

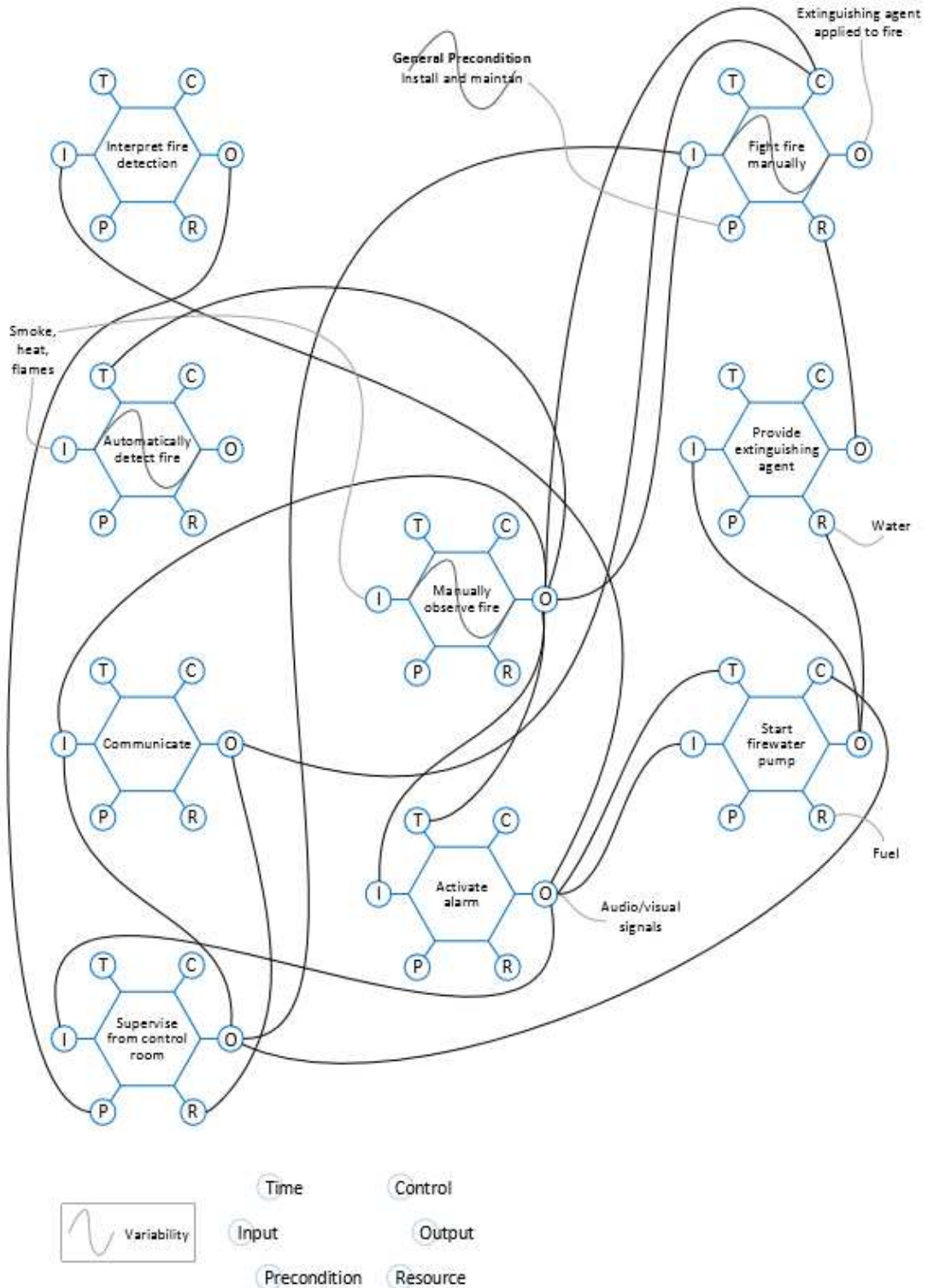


Figura 2.11: Mapeamento das interdependências de um conjunto de operações de um determinado evento de combate a incêndio na plataforma (Ahman, 2013).

2.4.4 Caracterização dos métodos de investigação de acidentes

Speziali e Hollnagel (2008) realizaram um levantamento dos principais métodos de investigação de acidentes que têm sido desenvolvidos desde o início ou meados de 1990. O estudo teve como objetivo desenvolver princípios ou critérios bem fundamentados, que possam ser usados para caracterizar os métodos escolhidos. Os autores criaram um diagrama proporcionando um suporte externo de referência para classificar os métodos em relação à consistência, confiabilidade, usabilidade, etc. O esquema do diagrama é dividido em dois eixos. No eixo horizontal, é relacionada a tratabilidade do sistema, diferenciando os métodos de sistemas tratáveis (*tractable*) com os intratáveis (*intractable*). Um método de sistema tratável tem como característica um sistema linear, apresentando riscos operacionais mais comuns e que devem estar mais instruídos e capacitados para lidar com estes tipos de ocorrências. Um método de sistema intratável apresenta riscos operacionais mais complexos, como por exemplos: fábrica de produtos químicos, missões espaciais, indústrias nucleares, etc. No eixo vertical, é relacionado o acoplamento do sistema, diferenciando os métodos de sistemas desacoplados (*loose*) com os acoplados (*tight*). O significado de acoplamento é que os subsistemas e/ou componentes estão ligados ou dependem uns dos outros em um sentido funcional, ou seja, os riscos operacionais em um sistema desacoplado são oriundos de apenas um subsistema, enquanto que no sistema acoplado os riscos operacionais podem ocorrer quando os subsistemas se interagem. Na Figura 2.12, é apresentada a caracterização dos métodos de investigação de acidentes.

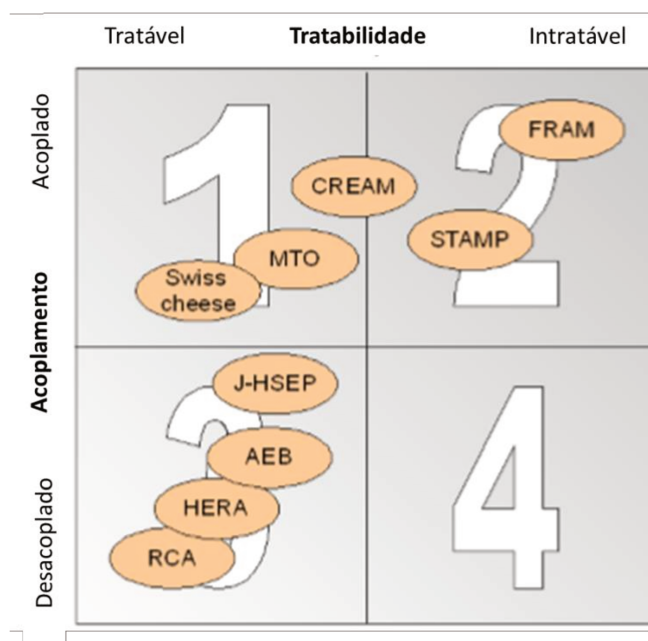


Figura 2.12: Caracterização de métodos de investigação de acidentes (adaptado de Speziali e Hollnagel, 2008).

O segundo passo é classificar o projeto de completção de poços no diagrama. Para obter alguma orientação na escolha do método correto, uma série de perguntas podem ser feitas, tais como:

1. O acidente foi similar a algo que já aconteceu antes? Se não, então o acidente é novo e desconhecido.
2. A organização estava pronta para responder ao acidente, no sentido de que procedimentos ou diretrizes estabelecidas eram disponíveis?
3. A situação voltou rapidamente sob controle? Se não, então foi um desenvolvimento demorado.
4. O acidente foi delimitado claramente a um subsistema (tecnológico ou organizacional)? Se não, então envolveu múltiplos subsistemas ou toda a instalação.
5. As consequências aconteceram conforme esperado/de forma familiar? Se não, então foram novas/incomuns.
6. As consequências foram na proporção do início do evento? Se não, então foram inesperadamente grandes (ou pequenas).

As perguntas de 1-3 se relacionam com a dimensão de tratabilidade. Caso as perguntas sejam respondidas positivamente, indica que o sistema é tratável, pelo menos em algum grau. Caso respondidas negativamente, indica que o sistema é intratável. As perguntas de 4-6 se relacionam com a dimensão de acoplamento. Caso as perguntas sejam respondidas

positivamente, indica que o sistema é desacoplado. Caso respondidas negativamente, indica que o sistema é acoplado. O planejamento da sequência operacional de completção de poços apresenta riscos operacionais mais complexos, logo, podemos classificá-lo como um sistema intratável. Além disso, possui um número grande de subsistemas que demonstram interdependências entre eles, podendo levar aos riscos operacionais mais complexos. O modelo de FRAM é uma ferramenta eficiente para interpretar as interdependências dentro de um sistema. Segundo Speziali e Hollnagel (2008), o modelo de FRAM é um método recomendado para operações *offshore*. Fazendo uma revisão na literatura, as áreas com o potencial de riscos mais complexos optam por utilizar a metodologia de FRAM. Perrow (1984) desenvolveu um diagrama classificando diferentes áreas em relação ao acoplamento e complexidade dos riscos operacionais, conforme visto na Figura 2.13.

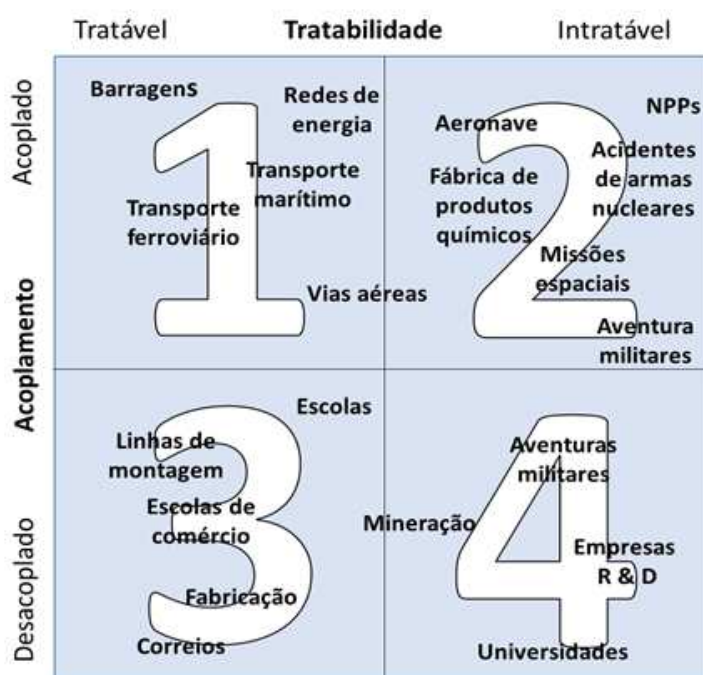


Figura 2.13: Classificação de diversas áreas no diagrama de Interação-Acoplamento (adaptado de Perrow, 1984).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, é apresentada uma fundamentação teórica relativa aos conceitos que serão necessários para o desenvolvimento da metodologia, tais como o modelo de FRAM e as classificações dos dados a serem armazenados no mapeamento das interdependências. Ainda, foram descritos importantes tópicos para o entendimento do presente estudo, como a engenharia de poço, projeto de completação e os principais equipamentos de completação.

3.1. Engenharia de Poço

Segundo Miura (2004), "Engenharia de Poço refere-se à junção de duas grandes áreas de conhecimento sobre a indústria do petróleo e gás. Estas áreas são: Perfuração e Operações de Poço. Seu foco é na Construção e Reparação do Poço, onde as operações de perfuração, completação e *workover* estão envolvidas". A Figura 3.1 mostra a ramificação dos setores que constituem a Engenharia de Poço, indicando suas ligações e diferenças. A área de Engenharia de Poço é vital para atender os objetivos de exploração e produção, já que a sua finalidade é perfurar e equipar os poços.



Figura 3.1: Subdivisões da Engenharia de Poço (adaptado de Michel, 2015).

Os poços podem ser classificados de diferentes modos de acordo com seus objetivos, sendo que os poços perfurados para descobrir novos campos, coletar dados e avaliar a extensão das reservas são denominados de poços exploratórios: pioneiro, estratigráfico,

extensão, pioneiro adjacente, jazida mais rasa, jazida mais profunda. Assim que há a certificação da viabilidade econômica, os próximos poços a serem construídos são os de desenvolvimento: produção, injeção ou especial.

Outro tipo de classificação dos poços pode ser feito quanto à sua localização: os poços podem ser *Onshore* (terrestres) ou *Offshore* (marítimos). No caso do último, dependendo da profundidade da lâmina d'água na qual o poço será construído, este pode ser classificado como sendo de água rasa (*Shallow water*), água profunda (*Deepwater*) ou água ultra profunda (*Ultra Deepwater*), conforme pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Classificação do poço em relação à profundidade da lâmina d'água (Rocha & Azevedo, 2009).

Profundidade de água (metros)	Classificação do Poço
0 até 300	Água Rasa
300 até 1500	Água Profunda
Acima de 1500	Água Ultra Profunda

Ainda, dependendo da sua trajetória, os poços podem ser classificados como sendo verticais, direcionais ou horizontais, como se pode observar na Figura 3.2.

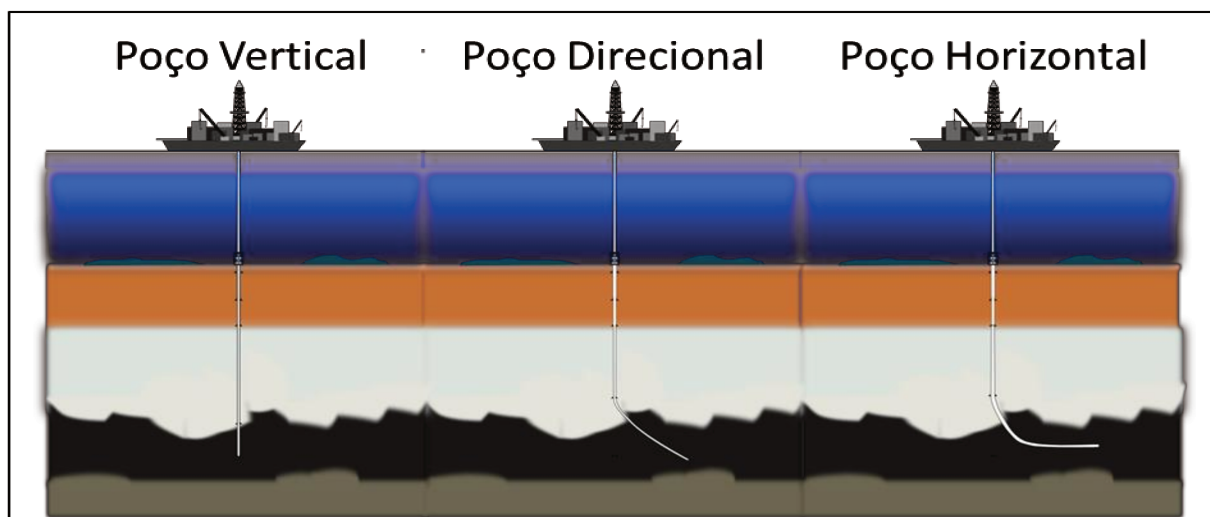


Figura 3.2: Classificação do poço em relação à sua trajetória, que pode ser vertical, direcional ou horizontal (elaborado pelo autor).

3.2. Completação de poços

Ao final da fase de perfuração, a fase de completção é iniciada, cujo objetivo é instalar e testar todos os equipamentos necessários para a produção ou injeção e monitoramento desse poço de forma segura e econômica.

Existem diversos tipos de classificações para a completção. Quanto ao número de zonas produtoras, se o poço possui apenas uma única zona se denominará “simples”, caso o poço tenha vários intervalos produtores diferentes colocados para produzir independentemente de cada um denomina-se “múltipla”. Pode ser classificado também como “Poço aberto”, quando nenhum revestimento ou liner é colocado em frente da zona produtora, ou “Poço revestido”, quando é colocado o revestimento ou *liner* em frente à zona produtora.

Conforme o exemplo da Figura 3.3, a completção pode ser classificada também como molhada, ou seja, a localização da cabeça do poço está no leito marinho, ou como seca, onde a cabeça do poço se encontra na superfície.

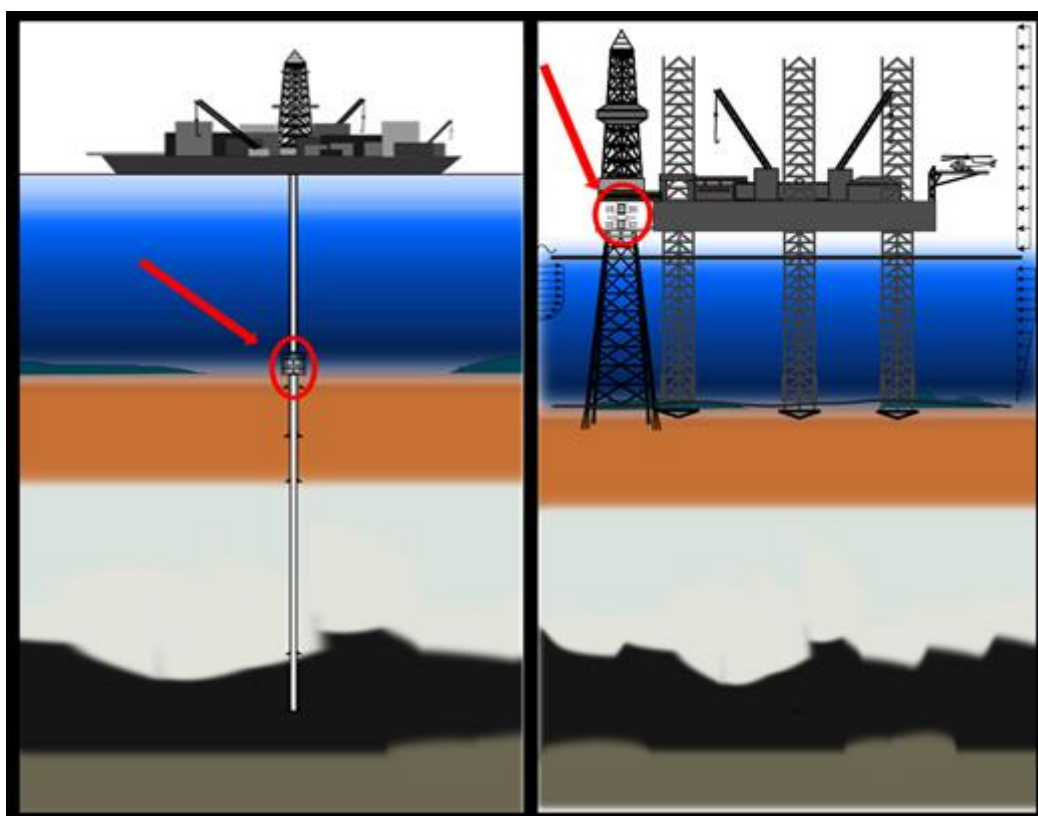


Figura 3.3 Classificação da Completção em relação à posição da cabeça do poço. Na ilustração da esquerda, um exemplo de completção molhada; na direita, um exemplo de completção seca (elaborado pelo autor).

Quanto aos aspectos técnico e operacional, a fase de completção deve buscar a otimização da vazão de produção ou injeção, e de maximizar a permanência da completção, ou seja, aquela que minimize a necessidade de intervenções futuras para a manutenção do poço, também chamadas de operações de *workover*.

3.3. Projeto de completção de poços

O projetista de completção de poços é o responsável pelo projeto da fase de completção. Sua responsabilidade é dimensionar toda a fase da completção do poço de acordo com as condições do reservatório e de como será entregue o poço assim que finalizar a etapa da perfuração do poço. O dimensionamento é consideravelmente complexo, pois é necessário dimensionar todos os recursos que serão utilizados, tais como ferramentas, materiais, unidades e equipes necessárias para serviços, assim como todo o detalhamento dos equipamentos e das operações, definindo: recursos a serem utilizados, diâmetro dos equipamentos e do poço, a profundidade da operação a ser realizada e do equipamento a ser instalado, tempo de operação, as contingências, carregamentos físicos, as condições das operações planejadas e as condições ambientais às quais a barreira de segurança física será exposta durante a sua vida útil, etc.

Considerando que a completção tem reflexos em toda a vida produtiva do poço e envolve altos custos, torna-se necessário um planejamento criterioso das operações e uma análise econômica cuidadosa. Os principais fatores a serem considerados em um projeto de completção de poços são:

- Custos de instalação e custos operacionais;
- Localização do poço (mar ou terra);
- Profundidade local e extensão do poço (sob o leito marinho);
- Tipo do poço (pioneiro, extensão, desenvolvimento);
- Finalidade (produção, injeção);
- Dimensão do reservatório;
- Fluidos produzidos (gás seco, óleo, óleo e gás, óleo e água);
- Volumes e vazões de produção esperados;
- Período total de produção previsto;
- Dano de formação;
- Tipo de fluido de completção;

- Número de zonas produtoras atravessadas pelo poço;
- Possível mecanismo de produção do reservatório;
- Localização do poço (distância em relação à costa e a outras instalações *offshore*);
- Necessidade de estimulação para aumento da produtividade;
- Controle da produção de areia;
- Possibilidade de restauração futura do poço;
- Histórico local de completações;
- Tipo de elevação dos fluidos (natural ou artificial);
- Necessidade de recuperação suplementar;
- Segurança operacional.

O projeto da segurança operacional durante a construção do poço deve ser muito bem elaborado e controlado constantemente, pois os riscos envolvidos são muito altos. A qualquer momento durante a construção do poço, um *kick* pode ocorrer, isto é, um influxo dos fluidos provenientes da formação para dentro do poço, e que caso não seja controlado apropriadamente, pode resultar no escoamento descontrolado de fluidos do poço para a superfície, o chamado *blowout*, que por sua vez pode trazer consequências catastróficas na sonda, no meio ambiente, ou até mesmo a perda de vidas humanas.

Dentro do projeto, é necessário integrar as informações de todas as outras especialidades (geologia/geofísica, perfuração, produção e reservatórios), assim como as informações de outros poços situados na mesma região do campo. Concluído e aprovado o dimensionamento desta fase, é então dado início ao planejamento da sequência operacional de completção do poço, no qual o projetista irá elaborar a sequência, procurando atingir os objetivos desta fase enquanto mantém a segurança operacional.

3.4. Equipamentos de completção de poço

Em seguida, serão descritos os principais equipamentos de completção de poços para ajudar no entendimento das operações.

Alojador (*housing*): componentes dos sistemas submarinos de cabeça de poço, constitui-se de um dispositivo tubular dotado de paredes, geralmente mais espessas que os tubos de revestimentos, com um perfil externo que permite o acoplamento de outros equipamentos.

Internamente, tem perfil próprio para o assentamento de revestimento ou outro alojador. (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Alojador de Alta Pressão (*high-pressure housing*): dispositivo soldado ao revestimento de superfície, sendo assentado e travado no interior do alojador de baixa pressão. Possui funções de sustentar o revestimento de superfície e servir de sede para os suspensores de revestimentos a serem descidos posteriormente. Possibilita o acoplamento do BOP ou da BAP. (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Arame (*Slick line*): arame especial bastante resistente, usado para operações dentro do poço

Árvore de Natal Molhada (ANM): composta por um arranjo de válvulas, *spools*, medidores de pressão e *chokes* equipando a cabeça do poço, permite o controle da produção. Apresentam variedade de configurações dependendo das condições de pressão e temperatura a que serão submetidas e de acordo com o tipo de completação, sendo simples ou múltipla (SCHLUMBERGER, 1998).

Base Adaptadora de Produção (*Production Adapter Base – BAP*): este equipamento foi desenvolvido para ser instalado e travado no alojador do Sistema de cabeça de poço submarino (SCPS) através de um conector, promovendo a vedação metálica para selar o anular entre a coluna de produção e o revestimento. Permite a instalação do BOP, do TH e da Árvore de Natal Molhada (ANM), além de receber os *hubs* de conexão das linhas de produção e de controle (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Bucha de Desgaste (*Wear Bushing – WB*): a bucha de desgaste é utilizada para proteger outros equipamentos durante operações de perfuração e completação. Pode ser instalada na cabeça do poço e no último revestimento suspenso, protegendo a superfície interna dos mesmos (IADC).

Cabo Elétrico (*Wireline – WL*): cabo trançado de um número de fios isolados no seu interior, fornece energia elétrica aos dispositivos descidos no poço, permitindo o acionamento e a transmissão de dados sobre as condições do poço para a superfície.

Capa da Árvore de Natal (*Tree cap* - TC): o *Tree cap* é o último componente a ser instalado na árvore de natal e tem a função de fornecer o acesso de serviço e monitoramento à árvore (KINGSA).

Capa de Corrosão (*Corrosion cap*): é uma capa instalada acima da cabeça da árvore de natal para protegê-la da contaminação por detritos, vida marinha e da corrosão durante o abandono temporário do poço (IADC).

Cauda de Produção: a cauda permite que em futuras intervenções a parte superior da coluna de produção seja removida, mantendo isolados os intervalos canhoneados abaixo da cauda. A cauda é composta pelos equipamentos abaixo da junta telescópica (THOMAS, 2004).

Coluna de Produção (COP): a coluna de produção é composta por tubos metálicos e outros componentes. A coluna de produção escolhida deve ser compatível com a geometria do poço e com as características dos fluidos produzidos pelo reservatório (SCHLUMBERGER, 1998). Suas principais funções são:

- Conduzir os fluidos até a superfície, protegendo o revestimento de fluidos agressivos e pressões elevadas;
- Permitir instalação de diversos equipamentos;
- Possibilitar a circulação de fluidos para o amortecimento do poço.

Coluna de Trabalho: tubulação composta por vários tubos interconectados, utilizada para realizar qualquer trabalho no poço para operações de intervenção com sonda (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Composição de Fundo (*Bottom Hole Assembly* - BHA): também chamado de Conjunto de Fundo de Poço, é o conjunto de equipamentos na extremidade inferior da coluna de perfuração: broca, alargadores, estabilizadores, motor de perfuração, *jar*, *subs*, comandos e tubos pesados de perfuração (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Ferramenta de Jateamento (FEJAT): aparato para jatear hidraulicamente a cabeça de poço. A ferramenta é projetada para limpar e preparar a cabeça de poço submarina antes da descida de coluna e também para limpar risers, BOPs, área de cabeça de poço e suspensores de coluna. (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Flexitubo (*Coiled Tubing* - CT): mangueira de aço de trecho contínuo e de pequeno diâmetro transportada em carretéis, é utilizado para realizar várias operações de completação, intervenção de poço e também na limpeza dos *risers* de produção (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Fluido de Completção: são os fluidos utilizados nos poços revestidos para efetuar os trabalhos de completação, *workover* e limpeza dos mesmos em condição de segurança e sem danificar a formação. Possui quase as mesmas funções que o fluido de perfuração, porém é isento de sólidos, deve ser compatível com a formação, não deve danificar a formação e não deve ser corrosivo, além de fornecer pressão hidrostática impedindo a migração do fluido da formação para o poço.

Junta Telescópica - *Tubing Seal Receptacle* (TSR): é um equipamento usado para absorver a expansão ou contração da coluna de produção, causada pelas variações de temperatura sofridas quando da produção ou injeção de fluidos. Permite também a retirada da coluna sem haver necessidade de retirar o *Packer* e a cauda. (THOMAS, 2004)

Mandril de *Gas lift* (MGL) e Válvula de *gas lift* (VGL): as VGL ficam alojadas dentro dos MGL, que são instalados ao longo da coluna de produção. O conjunto MGL e VGL é usado para comunicar o anular ao interior da coluna de produção. Esta comunicação permite troca dos fluidos, de maneira que a densidade dos fluidos no interior da coluna seja reduzida, retirando o fluido de amortecimento ou facilitando a produção.

A VGL só permite o fluxo do anular para coluna. A VGL opera utilizando uma esfera que veda a sua sede e uma mola que tende a manter a válvula fechada. Os mandris podem ser convencionais, sendo que neste caso as VGL são instaladas assim que a coluna é descida no poço e as intervenções necessitam da retirada da coluna. O outro tipo de mandril permite a instalação das VGLs e sua manutenção por operações por arame (SANTAREM, 2009).

Módulo de Conexão Vertical (MCV): Existem três tipos de MCVs, sendo eles: produção, anular e umbilical. A MCV-P permite a continuidade das linhas flexíveis de produção de óleo com a Unidade Estacionária de Produção (UEP). A MCV-A permite a continuidade das linhas flexíveis da linha anular com a UEP. A MCV-U permite a continuidade das linhas hidráulicas

e elétricas de controle da ANM com a UEP. Sua função é similar à do Mandril das Linhas de Fluxo (MLF) usado em conexão vertical direta.

Obturador (*Packer*): o uso dos *Packers* no interior dos poços permite o isolamento entre o revestimento e o *tubing*. Outras funções do *Packer* são proteger o revestimento de corrosão e separar zonas produtoras. São classificados pela sua aplicação, método de instalação e se são permanentes ou recuperáveis (SCHLUMBERGER, 1998):

- Permanentes

Só podem ser removidos do poço quando perfurados ou cortados. Normalmente oferecem maior resistência à pressão e temperatura. Seu diâmetro externo é geralmente menor, oferecendo mais espaço entre a ferramenta e o revestimento. Podem ser instalados utilizando *wireline*, arame, *coiled tubing* e *drill pipe* (BAKER, 2012).

- Recuperáveis

Podem ser removidos e reutilizados, e por essa razão normalmente custam mais caro que *Packers* permanentes. Podem ser instalados utilizando *wireline*, hidraulicamente, hidrostáticamente e mecanicamente (HALLIBURTON).

Perfil de Assentamento (*Nipple*): os *nipples* ou perfis de assentamento são *subs* que possuem uma área polida para vedação e uma sede de travamento. Sua função é alojar *plugs*, *standing valves*, registradores de pressão e *chokes*. Podem ser instalados em qualquer ponto da coluna. Existem dois tipos principais de *nipples*: “R” (não seletivo), que possui um batente (*no-go*) na parte inferior com diâmetro interno menor que o diâmetro interno da área polida; e o “F” (seletivo), onde a própria área selante serve de batente localizador, podendo se instalar vários *nipples* seletivos do mesmo tamanho numa mesma coluna. (GARCIA, 1997)

Preventor de Erupções (*Blowout preventer - BOP*): consiste de BOP anular e de gavetas, e possui como função básica permitir fechar a seção do poço, selar o anular entre os tubos e o poço e/ou cortar os tubos. Possui também outras aplicações, tais como:

- Operações de “Controle de Poço” na ocorrência de um *kick*;
- Isolar o ambiente poço do ambiente mar;
- Possibilitar desconexão entre o *Lower Marine Riser Package* (LMRP) e a coluna de *risers*, sob controle e com segurança, em caso de perda de posicionamento da sonda;

- Possibilitar circulação através das linhas auxiliares e o retorno do fluido de perfuração ou completação;
- Permitir o controle do poço quando ocorrer a perda da primeira barreira de segurança, fechando-o com ou sem coluna em seu interior;
- Viabilizar a execução de diversos tipos de operações e testes no âmbito da engenharia de poços: testes de estanqueidade, absorção, formação, injetividade, produção, medições para balanceio de ferramentas ou colunas, orientação de suspensores de tubulação, ponto fixo de referência, etc.

O sistema de controle do BOP opera através de dois *pods* funcionalmente idênticos: *Pod* amarelo e *Pod* azul, sendo que um deles trabalha em *stand by*, garantindo maior confiabilidade ao sistema devido à redundância. Também possui um *pod* acústico como contingência. Basicamente, as partes móveis de cada BOP são operadas hidráulicamente através de acumuladores hidráulicos, mas existem diferentes tipos de controle entre o *pod* e a sonda: pilotado hidráulicamente, hidráulico pilotado pré-pressurizado, eletro-hidráulico, multiplexado e *back-up* acústico.

Riser de Completação: Dispositivo utilizado nas operações de completação, que tem como finalidade iniciar ou garantir a produção de um poço, equipando-o para produzir óleo ou gás. Apresenta geometria vertical e pode ser flexível ou rígido. (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Running Tool (RT): são ferramentas usadas para permitir a instalação e retirada dos seguintes equipamentos: ANM e *Tree cap* (*Tree Running tool* - TRT), TH (*Tubing Hanger Running tool* - THRT), BAP (Ferramenta de Instalação da BAP - FIBAP) e BOP (Ferramenta de Instalação do BOP - FIBOP).

Sapata Guia ou Sapata de Revestimento (*Casing shoe*): a parte inferior da coluna de revestimento, incluindo o cimento ao seu redor, ou o equipamento que corre na parte inferior do revestimento (SCHLUMBERGER, 1998).

Sensor Permanente de Fundo - *Permanent Downhole Gauge* (PDG): estes instrumentos são utilizados para monitorar mudanças de pressão, temperatura, vazão, acústica e sísmica. Os sensores podem ser eletrônicos ou óticos (WEATHERFORD).

Os dados obtidos no poço são transmitidos em tempo real para a superfície, auxiliando na identificação e prevenção de problemas no poço. São equipamentos de fácil instalação,

podendo ser instalados por cabo elétrico e capazes de operar em condições de alta pressão e temperatura.

Alguns medidores de vazão óticos não apresentam restrições ao fluxo e também podem trabalhar com fluidos mono e multifásicos. Podem ser instalados sem restrições de diâmetro de tubulação e também em poços injetores ou produtores.

Sistema de Cabeça de Poço Submarino (SCPS) - *Subsea wellhead subsea housing*: cabeça de poço com completação submarina, na qual são instalados suspensores de revestimentos, suspensor de coluna de produção e elementos de vedação. Tem perfil externo padronizado para travar e vedar o BOP e a ANM (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Sub de Pressurização (*Shear-out*): É um equipamento instalado na extremidade inferior da coluna de produção que permite o tamponamento temporário desta. Possui três sedes, duas superiores que são vedadas com o lançamento de esferas de diâmetros diferentes, e a inferior tamponada. A sede tamponada é utilizada para o assentamento de *packers*, cujo mecanismo de assentamento demanda pressão. Ao se pressurizar a coluna, a força atuante na sede faz com que os parafusos cisalhem, caindo a sede no fundo do poço e liberando a passagem pela coluna (THOMAS, 2004).

Suspensor de Coluna (*Tubing Hangers* – TH): é instalado no topo da coluna de produção, utilizado para suspender a coluna de produção através da cabeça do poço. O *tubing hanger* deve garantir isolamento hidráulico entre a coluna de produção e o anular (Schlumberger, 1998). São instalados através do BOP e assentados no topo da cabeça da coluna de produção. Podem ser simples ou duplos nos casos de poços com completação múltipla (FMC).

Tampão Mecânico (*Bridge plug* - BP): são equipamentos instalados no poço para isolar a parte inferior do mesmo. Podem ser permanentes ou recuperáveis, permitindo isolar a parte inferior do poço permanentemente para impedir a produção ou temporariamente para realizar tratamentos na parte superior do *plug* (SCHLUMBERGER, 1998). O método de instalação varia de acordo com cada equipamento e fabricante.

- Permanentes

Podem ser instalados por *wireline*, arame, *coiled tubing* e mecanicamente (Halliburton).

- Recuperáveis

Podem ser instalados por arame, *coiled tubing*, *wireline*. A desinstalação também depende do equipamento, podendo utilizar equipamentos de pescaria e rotação de coluna (Halliburton).

Tree Manifold: Fornece o ponto de junção para todas as funções de controle hidráulico e interfaces com a *Tree Cap* durante a produção e com uma *running tool* durante a instalação da árvore e reentrada no poço para intervenção.

Tubo de Perfuração (*Drill pipe*): conduíte de aço tubular equipado com roscas especiais nas extremidades chamadas juntas de ferramenta. O *drillpipe* conecta o equipamento de superfície com o conjunto do fundo do poço e a broca, tanto para bombear o fluido de perfuração para a broca como para ser capaz de elevar, abaixar e girar o BHA e a broca. (SCHLUMBERGER, 1998).

Umbilical de Controle: umbilical instalado entre o BOP e a ANM para controle eletrônico ou hidráulico de válvulas, bombas e compressores localizados no leito marinho (FERNÁNDEZ et al., 2009).

Unidade Selante: é o equipamento descido na extremidade da coluna que pode ser apoiado ou travado no *Packer* permanente, promovendo a vedação na área polida do *Packer*. Divide-se em três tipos principais: âncora, trava e batente (THOMAS, 2004).

Válvula de Pé (*Standing Valve* - STV): são válvulas utilizadas para impedir o fluxo descendente dos fluidos dentro da coluna. Geralmente são instaladas e retiradas por operações com arame e alojadas em *nipples* localizados na coluna (SCHLUMBERGER, 1998). Caso a pressão da formação seja maior que a pressão na coluna, ocorrerá fluxo do reservatório para a coluna através da *standing valve*.

Válvula de Segurança de Subsuperfície controlada na superfície (*Surface Control Subsurface Safety Valve* - SCSSV): são válvulas de segurança controladas pela superfície que operam em subsuperfície, através de uma linha de controle conectada à válvula que percorre a parte externa do *tubing*. Para que a válvula permaneça aberta, a linha de controle deve permanecer pressurizada, enquanto que para fechar a válvula é necessário interromper a pressurização da linha através do controle na plataforma (SCHLUMBERGER, 1998).

3.5. Interdependências

O termo “Interdependência” é o simples fato de um ato ou unidade organizacional ser dependente de outro dentro de um processo. O conjunto de ações interdependentes que se interagem é denominado sistema. A interdependência possui, como característica, diferentes níveis de intensidade de dependência entre as unidades organizacionais. Uma interdependência baixa significa que as unidades organizacionais podem executar seu trabalho independentemente umas das outras e têm pouca necessidade de integração. A interdependência relativamente alta implica que as unidades organizacionais necessitam constantemente intercambiar recursos e informações. Segundo DAFT (1999), a interdependência pode ser classificada em três tipos de modelos:

Agrupada: dentre todos os tipos, este é o que possui a interdependência mais fraca entre as unidades organizacionais, pois trabalha de modo mais independente, necessitando pouca comunicação entre elas. Um exemplo deste modelo são as agências bancárias, pois uma agência de uma região não precisa se comunicar com uma agência de outra região. A conexão entre as agências consiste no compartilhamento de recursos de um fundo comum, e o sucesso de cada uma contribui para o sucesso da organização.

Sequencial: quando a interdependência ocorre em série, com a produção de uma unidade organizacional servindo de entrada para outra, a mesma é denominada sequencial. A primeira unidade organizacional deve realizar sua atividade corretamente para que a segunda também possa fazer o mesmo. Além disso, é necessária alguma comunicação entre as unidades organizacionais devido a exceções que possam ocorrer. A interdependência deste modelo é maior que a do modelo agrupado, pois as unidades organizacionais trocam recursos e informações, criando uma dependência maior entre elas. A programação e o planejamento da organização dos recursos num modelo de interdependência sequencial são essenciais para operações eficientes. Um exemplo de interdependência sequencial é uma linha de montagem.

Recíproca: a interdependência recíproca é semelhante à interdependência sequencial, em que a saída de um departamento se torna a entrada do outro, porém com o fato de que essa sequência na verdade é cíclica. Neste tipo de modelo, as unidades organizacionais são as que possuem uma interação mais forte. Por exemplo, os hospitais fornecem serviços coordenados

aos pacientes. Um paciente pode ser movimentado do setor de radiografias para a cirurgia; da cirurgia para a terapia física e da terapia física para onde for necessário a fim de ser tratado.

Dentro da engenharia de poço, destaca-se o *Dual Activity*, que é um sistema que reduz o tempo de operação ao permitir que atividades sejam realizadas em paralelo – diferente da forma sequencial - já que a sonda possui duas torres e, consequentemente, duas mesas rotativas. A sua principal vantagem é a redução do tempo não produtivo. O sistema *dual activity* ganha tempo na descida e subida de equipamentos para realizar as operações, mas é impossível a execução simultânea de operações dentro do poço. Por isso, ainda assim podemos considerar que a saída de uma operação é a entrada da operação seguinte, sendo que cada operação deve respeitar as condições necessárias das operações consequentes, similar a uma linha de montagem; neste caso, o processo é a construção e a instalação de equipamentos no poço e as unidades organizacionais são as operações. Deste modo, o planejamento de uma sequência operacional na engenharia de poço pode ser descrito pelo modelo de interdependências sequencial.

3.6. Modelo de Acidente por Ressonância Funcional (FRAM)

O modelo de acidente por ressonância funcional proposto por Hollnagel (2006) utiliza o princípio da ressonância no contexto de um sistema para identificar riscos em sistemas dinâmicos e descrever acidentes complexos. Este modelo é muito parecido com a ferramenta IDEF0. O sucesso deste modelo depende da capacidade das organizações, grupos e indivíduos em antecipar os riscos e situações críticas, reconhecendo-as a tempo de tomar medidas adequadas. A ressonância é um fenômeno vibratório que ocorre quando um sistema é excitado por uma força externa cuja frequência de excitação coincide – ou ao menos é próxima – com a frequência natural desse sistema, resultando num grande aumento da amplitude da onda resultante, conforme pode ser visto na Figura 3.4.

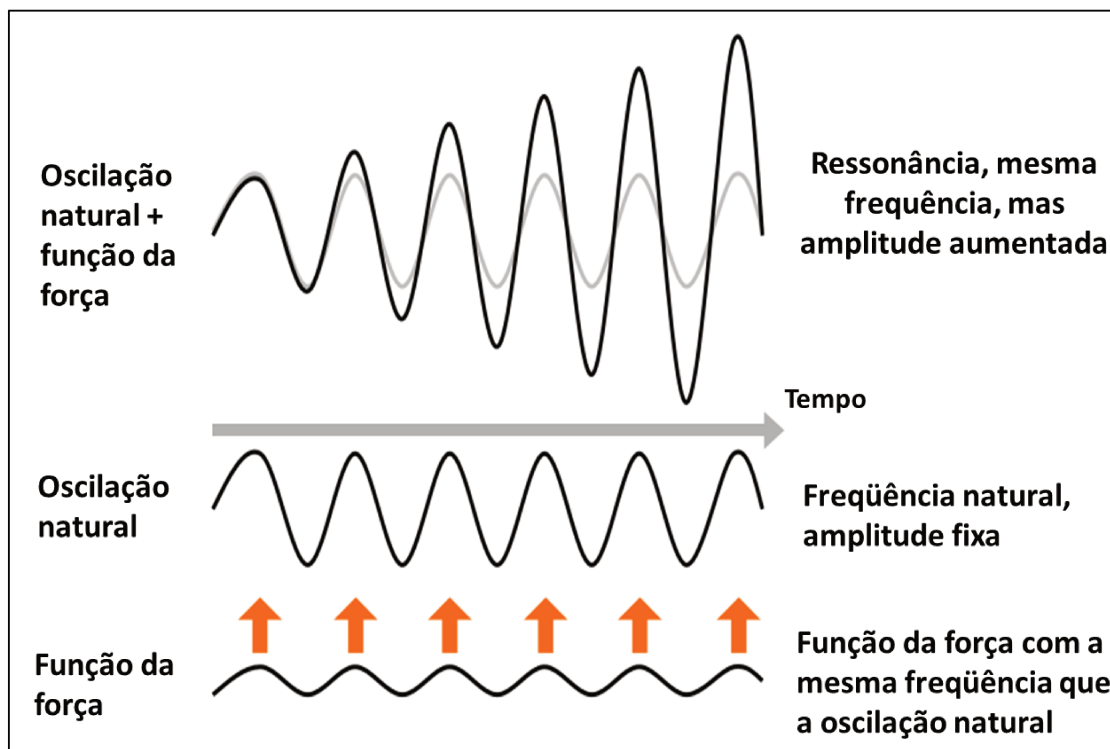


Figura 3.4: Exemplo do fenômeno de ressonância (adaptado de Hollnagel, 2008).

No modelo sistemático de acidente, a delimitação entre sistema (sinal fraco) e ambiente (ruído) é relativa, qualquer parte da variabilidade do sistema pode ser um sinal e o resto ruído. A ressonância então não depende de uma fonte desconhecida, mas sim é uma consequência das ligações funcionais do sistema.

Sistemas complexos, como os compostos por homens e equipamentos, possuem diversos subsistemas que são capazes de realizar múltiplas funções. Embora construídos para operar de modo previsível e confiável, possuem variabilidade de desempenho.

A teoria do modelo de FRAM consiste em fazer uma analogia entre um sistema real (homens + equipamentos), composto por subsistemas, cada um com sua variabilidade e a resposta em ressonância de um sistema mecânico.

Em um sistema, todos os subsistemas apresentam variabilidade de desempenho. Quando o sistema é complexo, ou seja, quando o sistema é menos previsível, os riscos operacionais são mais elevados. Ao analisar um risco operacional de um subsistema complexo separadamente, este risco (ruído aleatório) pode ser “indetectável”. A partir do momento, que todos os subsistemas são acoplados, a interpretação do sistema é aprimorada devido a análise do sistema como um todo. Deste modo, o ruído que apresentou baixa intensidade quando analisado separadamente no subsistema, agora pode gerar uma ressonância, podendo ser facilmente detectada dada a grande intensidade do ruído.

Ao utilizar o modelo de acidente por ressonância funcional (FRAM), o primeiro passo a ser tomado é identificar as estruturas funcionais para um cenário ou tarefa. As estruturas funcionais foram descritas em termo das seis relações existentes entre as funções para realizar uma tarefa, sendo elas:

Input (I): o que é necessário para realizar a função. Constitui a ligação com as funções anteriores e pode ser utilizado ou transformado pela função, para produzir os *Outputs*.

Output (O): é o produto de uma função e a ligação com as funções seguintes.

Recursos (R): representa o que é necessário para a função para processar o *Input*.

Controle (C): ou restrições, servem para supervisionar ou restringir a função. Pode ser funções ativas ou apenas planejamentos, procedimentos e diretrizes.

Pré-condição (P): são as condições que devem ser atingidas antes de realizar a função.

Tempo (T): todos os processos são governados pelo tempo, que também pode servir como uma restrição nos casos onde exista um período no qual a atividade deve ser realizada.

A representação gráfica de uma estrutura funcional é apresentada na Figura 3.5:

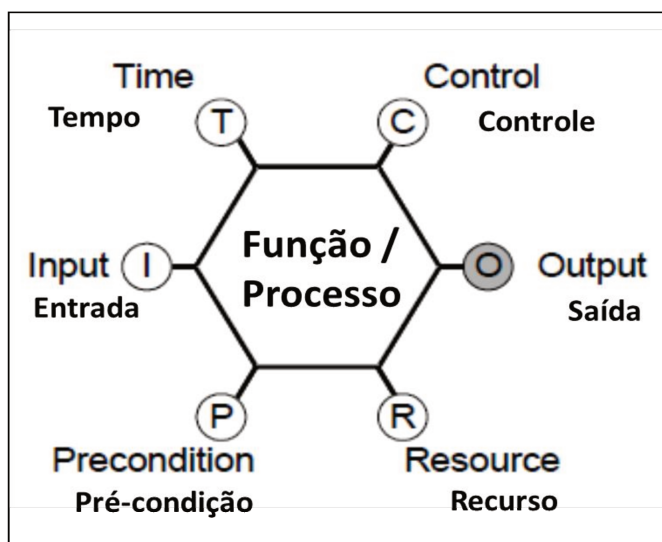


Figura 3.5: Representação gráfica de estruturas funcionais (adaptado de Hollnagel, 2006).

O FRAM tem como objetivo investigar as condições que podem gerar acidentes, tornando-se um modelo de análise de risco, que se constitui cronologicamente das seguintes fases:

- Identificar e caracterizar funções essenciais do sistema. A caracterização pode ser baseada nas seis relações existentes entre as estruturas funcionais;
- Caracterizar o potencial de variabilidade, utilizando uma lista de checagem;
- Definir a ressonância funcional baseado nas dependências entre funções identificadas;

- Identificar barreiras para variabilidade e especificar o desempenho necessário do monitoramento.

3.7. Classificação de respostas

Para criar o mapeamento das interdependências, é necessário elaborar um questionário, cujas respostas podem ser divididas em dois tipos de classificações: estruturadas (fechadas) e não estruturadas (abertas). Além disso, os dados coletados podem ser classificados como qualitativos ou quantitativos. As respostas do questionário são importantes informações que devem ser armazenadas, servindo como base estatística para a tomada de decisão sob a presença de incertezas.

3.7.1 Estruturadas

Nas respostas estruturadas, as possibilidades de resposta que os sujeitos podem dar às questões estão previstas no próprio questionário e ele apenas tem que assinalar a opção que melhor corresponde à sua situação. A escolha do sistema de respostas estruturadas deve ser feita quando se conhece muito bem a variabilidade do resultado, ou seja, possui-se um grande conhecimento e antecipação de todas as possibilidades de respostas das questões abordadas. Caso não exista tal conhecimento, pode ocorrer a limitação da precisão da resposta ou algum outro tipo de observação que impossibilite uma resposta correta.

Existem diversos formatos de resposta estruturada. Porém, neste trabalho, serão analisadas apenas as seguintes classificações:

Dicotômica: corresponde a variáveis qualitativas em que só há duas alternativas mutuamente exclusivas, como por exemplo: Sim/Não; Verdadeiro/Falso; Masculino/Feminino.

Exemplo:

Pergunta: João vai viajar nas férias?

Resposta 1: Sim

Resposta 2: Não

Categórica: envolve mais de duas respostas possíveis, como por exemplo: tipos sanguíneos, raça, escolaridade e classe social.

Exemplo:

Pergunta: Qual a escolaridade de Maria?

Resposta 1: Ensino fundamental completo

Resposta 2: Ensino médio completo

Resposta 3: Ensino superior completo

3.7.2. Não Estruturadas

Nas respostas não estruturadas as possibilidades de resposta não estão previstas no questionário, já que este não possui alternativas como respostas, tornando a pergunta aberta para uma resposta de forma livre.

Exemplo:

Pergunta: Quais são as suas metas?

Resposta de forma livre

3.7.3. Dados Qualitativos

Estes representam uma característica da qualidade associada ao item pesquisado. Por exemplo, podemos classificar uma temperatura em: quente, morna ou fria. Podemos dividir os dados qualitativos em dois grupos: os dados qualitativos nominais, nos quais não existe nenhuma ordenação nas possíveis realizações; e os dados qualitativos ordinais, nos quais existe uma ordem em seus resultados.

3.7.4. Dados Quantitativos

São variáveis que resultam normalmente de uma contagem ou mensuração, como por exemplo: distância, idade, tempo e peso. Podem ser classificados como "discretos" ou "contínuos".

Dados quantitativos discretos: é a contagem de um determinado item. Por exemplo, o número de produtos produzidos por uma máquina em um determinado período de tempo pode ser 0, 1, 2, 3, 4, etc.

Dados quantitativos contínuos: este dado é resultante das medições de uma característica da qualidade de um item. Os possíveis valores incluem "todos" os números do intervalo de variação da característica mensurada.

Na Figura 3.6, são classificadas as subdivisões dos dados qualitativos e quantitativos em um diagrama.

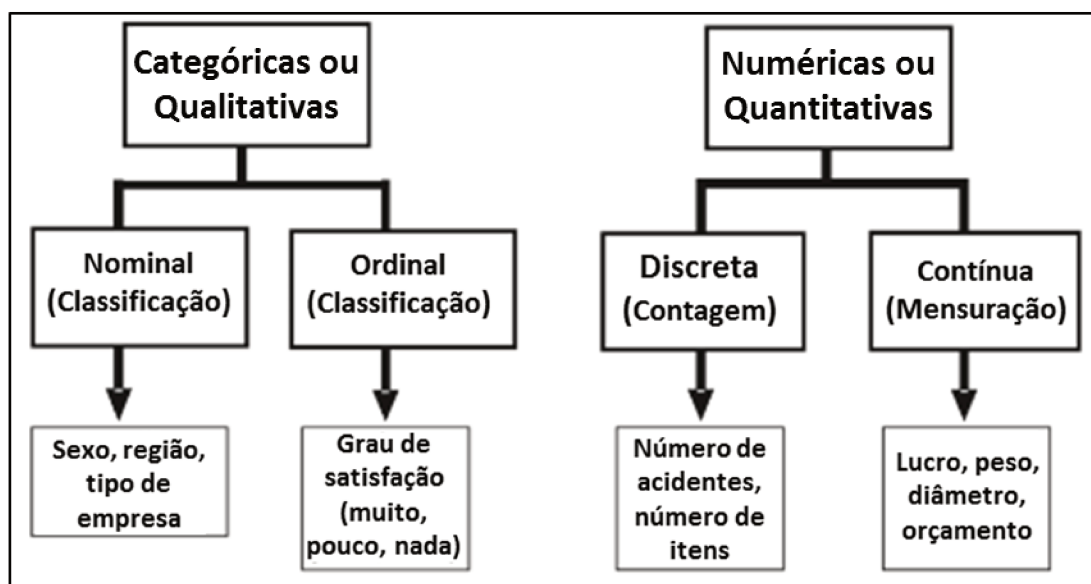


Figura 3.6: Diagrama da classificação das variáveis dos dados qualitativos e quantitativos (Adaptado de Miguel & Fleury, 2012)

3.8. Codificação das respostas

Uma das vantagens da codificação é a praticidade de se trabalhar com símbolos, os quais podem representar informações significativamente grandes. Isso torna a representação esquemática muito mais simples. É possível considerar a codificação das respostas de questões estruturadas de uma forma simples, pois as alternativas das respostas são predeterminadas. Por isso, pode-se atribuir um código para cada resposta a cada questão. As respostas estruturadas podem ser transcritas para uma base de dados através de codificações utilizando qualquer tipo de símbolo. Geralmente, aplicam-se símbolos numéricos, como codificações, para representar resultados, por exemplo:

Sim = 1

Não = 2

Verdadeiro = 1

Falso = 2

Neste tipo de variáveis, os números atribuídos às respostas não representam nenhuma relação entre elas, por exemplo, o “2” atribuído à resposta “Verdadeiro” não significa que esta valha o dobro da resposta “Falso”.

Dessa forma, utilizando uma codificação numérica, o mapeamento das interdependências será então codificado ao se aplicar na ferramenta de verificação da sequência operacional (planilha eletrônica).

4. METODOLOGIA E APLICAÇÕES

Neste capítulo, são abordados os procedimentos que permitiram criar o novo método de verificação. Seguindo uma ordem cronológica, são descritas seis fases necessárias para criar a metodologia. O modelo de FRAM foi uma ferramenta fundamental para a construção da metodologia proposta. As quatro fases citadas no Capítulo 3.6 do modelo de análise de risco (FRAM) foram utilizadas. Ainda, duas fases foram adicionadas para construir a metodologia, sendo uma, a identificação das dimensões a serem analisadas nas funções do sistema, e a outra, a caracterização do ponto de partida e chegada. A identificação das dimensões na metodologia foi uma das contribuições mais importantes do presente trabalho, permitindo a análise dos fatores mais importantes para a compreensão da relação das condições do poço com as operações.

4.1. Identificação e caracterização das funções do sistema

Na primeira fase da metodologia, apenas três funções foram consideradas essenciais para o planejamento de uma sequência operacional de completação de poço: *Input*, *Output* e pré-condição. Em Miura (2004), uma ontologia de operações baseada nos fatores internos - tempo, recursos e controle – já foi desenvolvida. Deste modo, os fatores internos de uma operação foram descartados para o presente trabalho. A estrutura funcional original, com geometria hexagonal devida à existência de seis funções, será substituída por uma geometria triangular, conforme pode ser visto na Figura 4.1. As três funções escolhidas permitem a criação da metodologia de verificação das interdependências entre as operações, baseadas em seus fatores externos.

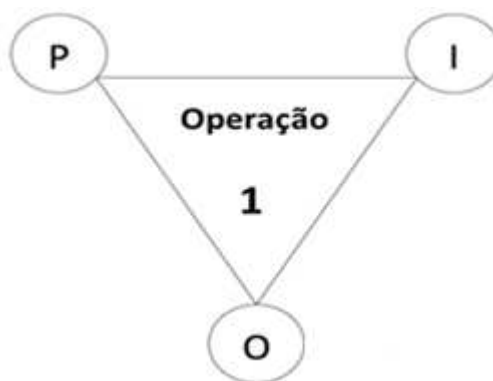


Figura 4.1: Função estrutural dos fatores externos das operações (elaborado pelo autor).

Input (I): é a conexão com o *Output* da operação anterior. Esta função inicia o processo, funcionando como um “gatilho”, o qual é dado pelo projetista. O *Input* é o *Output* da operação anterior, ou seja, é o resultado da condição do poço após a operação passada assumida como uma nova entrada de dados para a operação seguinte.

Outputs (O): são os impactos nas condições mapeadas, causadas pelas operações, e também é a ligação com a operação seguinte.

Pré-condição (P): são as condições necessárias que devem ser asseguradas antes de realizar a operação.

4.2. Identificação das dimensões

Cada operação pode impactar as operações seguintes, já que elas possuem a capacidade de influenciar o estado da condição do poço após serem realizadas. De acordo com as três funções estruturais identificadas, separa-se o mapeamento das interdependências em apenas duas funções do sistema da metodologia: pré-condição e *Output*. Pelo fato do *Input* representar o *output* da operação anterior, o mapeamento das interdependências vai constar apenas dos *outputs* e das pré-condições. É importante observar também que o *input* está substituindo o estado do poço (produto) da operação anterior.

O mapeamento das interdependências dos fatores externos das operações é o núcleo deste trabalho, criando a possibilidade da análise de uma sequência operacional. Para o presente trabalho, fatores externos são definidos como todos os impactos que uma operação pode causar no poço e que deixe consequências para operações subsequentes. O mapeamento deve ser realizado de forma lógica para que exista coerência nas informações mapeadas, permitindo uma relação entre as pré-condições e *outputs*. Desse modo, foi analisada a relação das operações com as condições do poço, tanto em seus impactos, quanto nas necessidades das condições ideais do poço para realizá-las. Dentro de uma sequência operacional, foi verificado se os impactos causados pelas operações sobre a condição do poço respeitam as pré-condições do estado do poço para as operações seguintes.

Na segunda fase, foi necessário identificar quais os fatores externos a serem analisados. Primeiramente, foi necessário estudar os tipos de impactos realizados pelas operações sobre as condições do poço, assim como os possíveis problemas operacionais que podem ocorrer ao

realizar as operações. Assim, foram identificadas cinco dimensões essenciais que se associam aos fatores externos, sendo elas:

1. **Conjunto solidário de barreiras do poço**
2. **Contato do poço com a formação**
3. **Condição de limpeza do poço**
4. **Compatibilidade do diâmetro**
5. **Compatibilidade de esforços**

É importante salientar que a identificação das cinco dimensões na metodologia foi o ponto chave para desencadear a compreensão da relação das condições do poço com as operações. Foi possível observar que existem diferentes condições do estado do poço para cada dimensão analisada. Em seguida serão detalhadas as cinco dimensões.

4.2.1. Conjunto solidário de barreiras

Em um poço de petróleo, existem equipamentos instalados no poço que podem impedir a ocorrência de um fluxo não intencional. Estes equipamentos podem ser definidos como barreiras de segurança. As barreiras de segurança, quando formam um conjunto solidário, aumentam ainda mais a segurança operacional do planejamento. Miura (2004) define barreira de segurança como “Separação física apta impedir o fluxo não intencional dos fluidos de um intervalo permeável (formação) ao longo de um caminho específico”. Segundo a API RP 96 (2013), uma barreira de segurança possui como significado “Componente ou prática que contribui para a confiabilidade total do sistema, impedindo o fluxo de fluido ou de gás da formação”.

De acordo com a API 65-2 (2010), uma barreira do tipo física pode ser classificada em quatro categorias:

Líquida: constituída por uma coluna de líquido à frente de um determinado intervalo permeável, provendo pressão hidrostática suficiente para impedir o fluxo de fluido do intervalo em questão para o poço.

Sólida consolidada: uma barreira que não se deteriora ao longo do tempo, sendo representada por:

- a) tampões de cimento ou outros materiais de características físicas similares;
- b) revestimentos cimentados;
- c) anulares cimentados entre revestimentos;

Sólida mecânica: caracterizada como temporária, constituída por:

- a) tampão mecânico permanente (*permanente bridge plug*);
- b) tampão mecânico recuperável (*retrievable bridge plug*);
- c) retentor de cimento (*cement retainer*);
- d) obturadores (*packers*), de qualquer natureza;
- e) válvulas de segurança do interior da coluna de produção;
- f) tampões mecânicos do interior da coluna de produção;
- g) equipamentos de cabeça de poço.

Natural: quando a própria natureza provém o recurso para impedir o fluxo.

- a) Hidrostática da água do mar, se esta for maior que a pressão estática e o poço for submarino.
- b) Hidrostática do próprio fluido da formação da cabeça do poço até o fundo, se este for maior que a pressão estática.
- c) Camadas litológicas que isolam o fluido.

A API RP 96 (2013) classifica também uma barreira de segurança como uma barreira operacional, sendo uma: “Ação humana ou reação que resulta na ativação de uma barreira física”. O BOP e a ANM são exemplos de barreiras operacionais. Estas se tornam mais importantes quando o sistema de barreiras físicas não pode ser testado. As combinações das barreiras de segurança físicas com as barreiras de segurança operacionais trazem uma confiabilidade maior à confiabilidade total do sistema.

A confiabilidade de qualquer barreira física é aumentada se a sua integridade é testada depois da sua instalação. O critério de aceitação deve ser estabelecido para cada barreira em específico, de forma que este defina os requisitos a serem atendidos para que a integridade da barreira seja verificada e testada conforme sua condição futura de operação. Uma barreira confirmada tem um menor nível de confiança que uma barreira testada.

Barreira confirmada: barreira na qual a performance foi apenas verificada através de critérios de aceitação relativos a posição de instalação através de dados coletados durante a instalação (API RP 96, 2013).

Barreira testada: barreira na qual a performance foi verificada através de critérios de aceitação de testes de pressão na direção do fluxo ou com a pressão diferencial igual ou maior que a máxima esperada na vida da barreira (API RP 96, 2013).

A integridade de barreiras físicas envolve as seguintes fases: projeto, manufatura, instalação no poço, teste de pressão e operação. A integridade de uma barreira operacional não pode ser testada como se faz em uma barreira física, devida sua própria natureza. Desta forma, o enfoque é dado ao treinamento e obtenção de certificação por parte daqueles que devem identificar a prover respostas aos possíveis riscos envolvidos.

Pela definição da NORSOK D-010 (2013), o Conjunto Solidário de Barreiras (CSB), chamado de “*Well Barrier Schematics (WBS)*” é um “Envelope de um ou vários elementos de barreira de poço que previnem o fluxo intencional de fluidos da formação para o poço, para outra formação ou para o ambiente externo”. Conforme o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP, 2015), a definição de um CSB é “Um conjunto de um ou mais elementos com o objetivo de impedir o fluxo não intencional de fluidos da formação para o meio externo e entre intervalos no poço, considerando todos os caminhos possíveis”. De acordo com Miura (2004), o termo CSB significa “Conjunto constituído de uma ou mais barreiras aptas a impedir o evento indesejável considerando todos os caminhos possíveis entre o sistema em estudo e o meio ambiente”. Entretanto, é possível que ocorra um fluxo que contorne uma barreira instalada, como no exemplo da Figura 4.2, cujas barreiras de segurança não estão interligadas. Um poço aberto que utilize tampões de cimento no topo e base da camada com hidrocarbonetos poderá apresentar um vazamento caso ocorra uma fratura na formação, conectando o reservatório a uma camada permeável que permita o fluxo até a superfície.

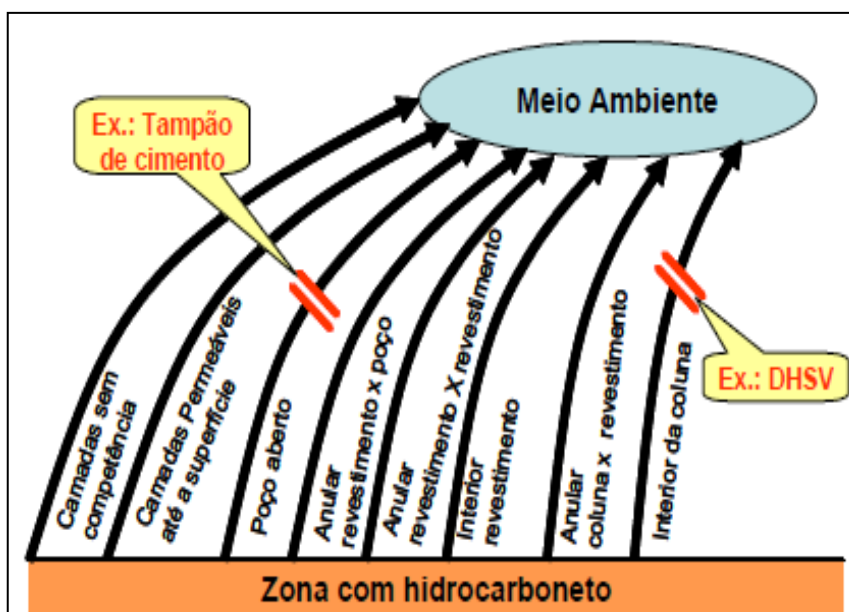


Figura 4.2: Exemplo de barreiras (Miura, 2004).

Um CSB deve apresentar barreiras em todos os caminhos possíveis, sendo solidárias para que não ocorra o contorno de uma barreira (Figura 4.3). Aplicam-se para que não ocorra a comunicação entre coluna e anular, assim como o poço e seu anular.

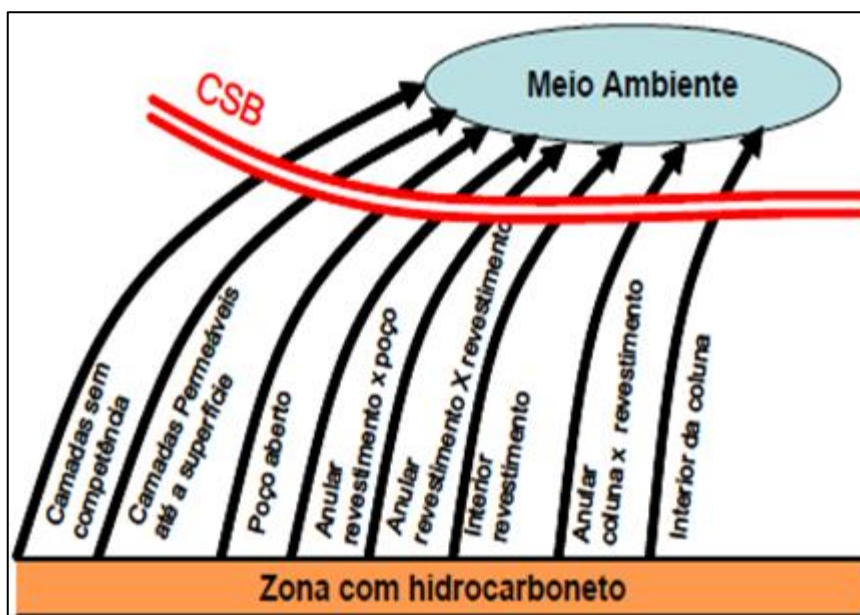


Figura 4.3: Exemplo de conjunto solidário de barreiras (Miura, 2004).

De acordo com a NORSOK D-010 (2013), o CSB primário é a primeira barreira que impede o fluxo de uma fonte potencial; já o CSB secundário é a segunda barreira que impede o fluxo de uma fonte potencial, como forma de contingência no caso de falha do primeiro

conjunto ou para impedir a migração de uma fonte potencial localizada acima do primeiro conjunto. Por convenção, o desenho mostrando o primeiro CSB independente deve ser realizado com a cor azul e o segundo CSB com a cor vermelha. Segue a Figura 4.4 como um exemplo.

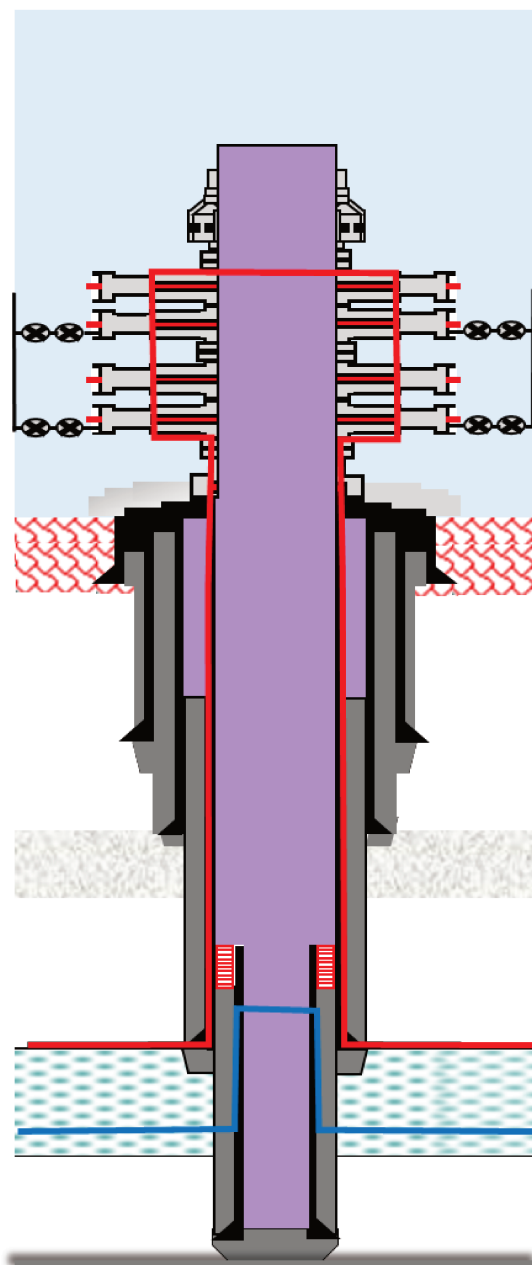


Figura 4.4: Exemplo CSB primário e CSB secundário (elaborado pelo autor)..

Para o exemplo da Figura 4.4, as barreiras de segurança que constituem o CSB primário são: *liner*, cimentação do *liner*, rocha capeadora e fluido de perfuração. Já as barreiras de segurança que constituem no CSB secundário são: revestimento de produção, cimentação do

revestimento de produção, sistema da cabeça de poço submarino (SCPS), rocha selante (cuja impermeabilidade foi garantida por um Leak-off Test) e BOP.

São caracterizados seis parâmetros mínimos dos elementos dos CSB: serem impermeáveis a fluidos; possuírem características de isolamento que não deteriorem suas propriedades ao longo do tempo; serem resistentes aos fluidos das formações (hidrocarbonetos, CO₂, H₂S, entre outros); terem propriedades mecânicas adequada para acomodação das cargas as quais serão sujeitas; não sofram contração; e que sejam aderentes aos revestimentos e formações no seu contorno.

A confiabilidade histórica de operações de poços marítimos confirma que a filosofia de barreiras múltiplas é eficaz. Segundo a API 65-2, “A confiabilidade é adquirida através da combinação das barreiras individuais como um sistema e não é o resultado da infalibilidade de um componente único”.

4.2.2. Contato do poço com a formação

O contato com a formação é uma dimensão relacionada à segurança operacional, pois o contato direto do poço com a formação é uma situação de grande risco, já que tal contato pode ocasionar a tomada de um *kick* ou um dano à formação. Algumas barreiras de segurança podem isolar o contato do poço com a formação, como por exemplo a cimentação e o revestimento. Existem operações com a capacidade de colocar o poço em contato com a formação, como o canhoneio, como também existem operações que podem verificar o isolamento do contato, como o teste de estanqueidade. Existem diferentes operações que necessitam do contato do poço com a formação para serem executadas, tais como: Teste de produção, Acidificação da matriz com HCL, Indução de surgência com N₂. Para que essas operações sejam realizadas, outras barreiras de segurança devem substituir as barreiras que isolavam o contato do poço com a formação, formando um outro CSB. Após perder as barreiras de cimentação e de revestimento em frente a zona da formação, é necessário planejar as futuras operações da sequência operacional de forma segura, principalmente caso seja necessário realizar uma operação que reduza a pressão hidrostática do poço, mudando para um regime *underbalance*, eliminando o fluido do poço como barreira de segurança. Além disso, após a criação do contato do poço com a formação, deve-se evitar operações que causem dano à formação, pois pode ser necessário realizar novas operações que removam estes danos causados por estas operações, além de que podem ser causados danos irreversíveis.

4.2.3. Condição de Limpeza

Na fase de completção, os equipamentos são mais sofisticados, tornando as operações mais delicadas. Por esse motivo, a condição de limpeza do poço é muito importante para muitas operações, pois o fluido, revestimento, ou a conexão de algum equipamento pode conter detritos que possam comprometer a execução da operação.

Define-se o fluido “sujo” como um fluido que contém detritos, resíduos, *debris*, ou sólidos em geral; em contrapartida, define-se o fluido limpo como um fluido isento de sólidos. Uma observação a ser levada em consideração é que a água do mar e o fluido de perfuração são fluidos que contém sólidos em suspensão; as operações em que estes fluidos estão presentes são operações que estes sólidos não devem comprometer a sua execução. O fluido “sujo” pode prejudicar outras operações, como por exemplo na qualidade da perfilagem para verificação da cimentação ou impedindo a conexão e vedação de algum equipamento devido aos detritos. Dependendo do grau da sujeira no revestimento e/ou na conexão de algum equipamento instalado no poço, pode-se comprometer uma futura operação, seja pela obstrução da passagem ou no impedimento da vedação de algum equipamento durante seu assentamento.

Em seguida, serão descritos exemplos de operações que podem gerar impactos nas condições de limpeza do poço:

- A operação “Condicionamento do revestimento” tem como objetivo gabaritar o revestimento e/ou *liner*. Este processo significa que a operação deve “limpar” o revestimento, cortando os tampões de cimento e/ou mecânicos, deixados no interior do poço durante o abandono temporário feito após a perfuração, bem como restos da cimentação primária. Esta operação resulta em uma boa condição do revestimento para receber os equipamentos necessários. Porém, a operação acaba sujando o fluido do poço, sendo que o tampão e/ou cimento perfurados se misturam com o fluido presente no poço. Este é um exemplo de uma operação que pode impactar tanto positivamente a limpeza de um poço, se analisado apenas o revestimento, quanto também pode impactar negativamente a limpeza, caso seja analisado o fluido do poço;
- A operação de “Canhoneio” tem como objetivo de criar uma passagem entre o poço e a formação. Para realizá-la, canhões são acionados e as cargas moldadas em seu interior são disparadas abrindo o contato do poço com a formação. Esta operação impacta negativamente na condição de limpeza do fluido do poço, pois detritos

(*debris*) das cargas, do cimento, do revestimento e da formação entram em contato com o fluido, colocando o mesmo em uma condição “suja”.

Em seguida, serão descritos exemplos de operações que são ou podem ser impactadas por uma condição ruim da limpeza do poço:

- Um fluido do poço “sujo” pode impactar na operação “Perfilagem para verificação da cimentação”, pois os sólidos presentes no fluido do poço podem resultar em informações errôneas da leitura do perfil.
- Quando existe o contato da formação com o poço, o fluido do poço possui um contato direto com a formação. Deste modo, as operações que sujam o fluido do poço e são realizadas durante este momento resultam em um dos maiores problemas durante a construção de um poço, conhecido como dano à formação.
- O assentamento e a conexão de equipamentos dentro do poço exigem um acesso livre e limpo no interior do poço e na região onde serão instalados, para que torne possível a passagem e o assentamento da respectiva ferramenta. A presença indevida de sólidos pode impedir que estas operações sejam executadas.

Os exemplos dados mostram a importância da condição de limpeza do poço, tanto como os impactos causados pelas operações quanto a condição ideal para que elas sejam realizadas. As operações podem impactar ou não o poço dos seguintes modos:

- Alterar a limpeza do fluido existente no poço (substituir o fluido sujo por um fluido limpo ou substituir o fluido limpo por um fluido sujo).
- Conservar a limpeza do fluido (condição do fluido continua a mesma).
- Alterar a limpeza do revestimento (limpar ou sujar o revestimento).
- Conservar a limpeza do revestimento.
- Alterar a limpeza da conexão (limpar ou sujar a conexão).
- Conservar a limpeza da conexão.

4.2.4. Compatibilidade do diâmetro

Tanto o diâmetro interno do revestimento quanto o da coluna é um fator muito importante a ser dimensionado em um projeto, pois o diâmetro externo dos equipamentos a serem descidos devem obedecer ao respectivo valor do *drift* do poço. O *Drift* é o valor máximo de diâmetro para realizar a passagem de determinado equipamento dentro do poço.

Assim como a coluna e o revestimento, todos os outros equipamentos a serem instalados no poço devem respeitar o diâmetro de passagem das futuras operações. Existem

equipamentos que podem selar o poço, impedindo a passagem de ferramentas, ou que podem restringir o diâmetro do poço, tornando necessário que o diâmetro externo das ferramentas respeite o novo *drift* do poço. Por conseguinte, deve-se realizar uma sequência adequada, respeitando a compatibilidade dos diâmetros das operações e do poço, para permitir a execução das operações que realizam a passagem das ferramentas pelo poço. Em seguida, serão descritos exemplos de operações que são impactadas por um mau planejamento do *drift* do poço:

- A execução da operação “Perfilagem de verificação de cimentação” não pode ser realizada com presença de um tampão mecânico no poço. O tampão tem como objetivo isolar os ambientes acima e abaixo do mesmo, o que consequentemente impediria a passagem do cabo/coluna da perfilagem até a profundidade do objetivo da operação.
- A operação de “Instalação da cauda de produção” antes da operação de “Canhoneio” pode impedir que o mesmo seja realizado como planejado, já que a instalação da cauda causa a redução do diâmetro interno do poço, tornando necessário utilizar um canhão menor que poderá reduzir a eficiência dos canhoneados.

4.2.5. Compatibilidade de esforços

Um outro ponto importante que também deve ser mapeado em relação à sequência operacional são os esforços no poço durante as operações, como exemplos: pressão, torque, tração e compressão. Existem equipamentos instalados no poço que são dimensionados para serem ativados, desativados, ou desassentados quando o valor do respectivo esforço de acionamento é atingido. Muitas operações podem realizar algum desses esforços durante os seus procedimentos na execução da operação. Estes são capazes de atingir o mecanismo de acionamento de alguma ferramenta/equipamento, podendo desconectá-lo, ou ativar sua funcionalidade em momento que não foi planejado.

4.3. Caracterização das condições das dimensões

Na terceira fase, foi realizada a estruturação do mapeamento das interdependências, caracterizando o potencial de variabilidade das condições do estado do poço para cada

dimensão analisada utilizando uma lista de checagem. Dessa forma, cada questão (dimensão) mapeada possui alternativas de condições do poço como resposta.

4.3.1. Legenda das Codificações

As codificações das respostas são representadas por algarismos e implantadas na ferramenta de verificação. É importante ressaltar que a codificação pode ser representada por qualquer outro caractere. Neste trabalho, as respostas da ferramenta serão representadas apenas por algarismos, pois os valores ajudam a representar o estado da condição do poço, relacionando as pré-condições com os *outputs*. A leitura das codificações para as pré-condições e os *Outputs* são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Legenda das codificações (Pré-condição e *Output*)

Codificação	Pré-condição	<i>Output</i> (Impacto)
-1*	-	Prejudica a dimensão (desativa)
0	A dimensão não influencia na operação.	Não influencia na dimensão
1	Necessita da pré-condição para ser realizada.	Corrige a dimensão (ativa)
2	-	Torna em condição suspeita (criteriosa)

*A alternativa (-1) na pré-condição é utilizada apenas na dimensão do contato com a formação, significando que a operação necessita daquela pré-condição para ser realizada.

4.3.2. Pré-Condições

As pré-condições são as condições necessárias que devem ser atingidas antes de realizar a operação. Todas as perguntas desta função são estruturadas, com respostas dicotômicas (sim/não). O motivo de existir apenas duas alternativas é pelo fato de que a próxima operação deve ser questionada se existe necessidade de que a dimensão analisada esteja em boa condição para que possa ser realizada. Na ferramenta, as respostas são codificadas em dois algarismos (1/0). Porém, as perguntas 4b, 4c, 5a2, 5b2, 5c2, 5d2 são de um sistema não estruturado e quantitativo contínuo. As perguntas quantitativas são importantes, pois a compatibilidade das dimensões dos valores dos diâmetros e dos esforços no poço devem ser comparados com os das operações.

As questões de número 1 e 2 referem-se à restrição de barreira de segurança. No item 1, como recomendação, procura-se atender a existência de no mínimo dois CSBs independentes

no poço para cada operação, para que o conjunto secundário sirva como contingência. Deste modo, este item é uma afirmação (recomendação), sendo o único item que não segue em formato de questão. É importante deixar claro, que as operações podem ser realizadas com apenas um CSB. Existem outras medidas, como mitigação de risco e minimização de consequências que podem ser aplicadas para garantir maior segurança ao poço.

1) É recomendado que todas as operações possuam no mínimo dois CSBs independentes (não precisa ser colocado no banco de dados, pois é uma recomendação).

Na questão 2, o contato com a formação é diretamente ligado a questão da perda das barreiras de segurança que isolam os dois componentes. Para que a pergunta da pré-condição de número 2 tenha uma coerência com a respectiva pergunta do *Output*, a resposta “sim” deve possuir o valor (-1). Isto ocorre devido ao momento em que o poço está aberto na zona canhoneada, onde não se pode contar com a cimentação do *liner* e com o próprio *liner*, pois existe uma passagem entre a formação e o poço. A lógica da resposta ser negativa é justamente para demonstrar que a condição do poço pode estar insegura, caso não haja outra(s) barreira(s) de segurança que substitua a função da segurança operacional dos mesmos.

2) O contato com a formação deve estar aberto para realizar esta operação?

Resposta A - Sim (-1)

Resposta B - Não (0)

A questão de número 3 refere-se à restrição da condição de limpeza. A importância da limpeza do poço para algumas operações é extremamente essencial. Foram mapeados os três principais locais dentro de um poço onde a sua condição pode vir implicar: fluido do poço, revestimento do poço e a conexão do equipamento.

3 a). É necessário que o fluido do poço esteja limpo para realizar esta operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

3 b). É necessário que o revestimento do poço esteja limpo para realizar esta operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

3 c). É necessário que a conexão esteja limpa para realizar esta operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

A compatibilidade do equipamento com as condições do poço é abordada nas questões de número 4 e 5. As perguntas “4b” e “4c” só devem ser informadas, caso a resposta da “4a” seja (+1), pois só é necessário informar o maior diâmetro externo e a profundidade da operação caso exista a descida e a passagem de algum equipamento por dentro do poço.

De acordo com as questões 4a, 4b, 4c, as perguntas permitem observar se o menor *drift* do poço no intervalo da operação e o maior diâmetro externo do equipamento a ser descido durante a operação são compatíveis. Além disso, é importante informar o intervalo da profundidade da operação, pois dependendo dessa profundidade, a operação não será afetada, já que a restrição de *drift* se localiza em uma profundidade maior que a da operação.

4 a) Esta operação realiza a descida e a passagem de algum equipamento por dentro do poço?

Resposta A – Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

4 b). Informar o maior diâmetro externo da operação.

4 c). Informar o intervalo de profundidade em que é realizado a operação.

Nas questões de número 5, como um meio de verificar os esforços permitidos durante a operação, é necessário mapear seus limites, tanto exercidos pela operação, quanto a dos equipamentos que possuem acionamento por algum tipo dos esforços mapeados: pressão, torque, compressão, tração. Em seguida, verifica-se se o máximo parâmetro permitido no poço é maior que a máxima força aplicada durante a operação. As perguntas são todas iguais (a; b; c; d), diferenciando apenas os parâmetros.

Como nas perguntas de número 4, cada questão “5a2, 5b2, 5c2, 5d2” só deve ser informada, caso a resposta referente a questão “5a1, 5b1, 5c1, 5d1” seja (+1), pois só deve ser informado o valor máximo do parâmetro aplicado durante a operação caso a operação realize algum esforço do respectivo parâmetro durante a operação.

5 a1). Esta operação realiza algum esforço de pressão durante a operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

5 a2). Informar o valor máximo da pressão aplicada durante a operação.

5 b1). Esta operação realiza algum esforço de torque durante a operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

5 b2). Informar o valor máximo do torque aplicada durante a operação.

5 c1). Esta operação realiza algum esforço de tração durante a operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

5 c2). Informar o valor máximo da tração aplicada durante a operação.

5 d1). Esta operação realiza algum esforço de compressão durante a operação?

Resposta A - Sim (+1)

Resposta B - Não (0)

5 d2). Informar o valor máximo da compressão aplicada durante a operação.

Na Tabela 4.2 são apresentadas de forma resumida as alternativas de respostas do mapeamento das pré-condições.

Tabela 4.2: Alternativas de respostas das pré-condições

Dimensão	Sim (+1)	Não (0)	Maior OD da operação (pol.)	Intervalo de Profundidade (m)	Valor Máx. Parâmetro (operação)
1	-	-	-	-	-
2	X	X	-	-	-
3 (a, b, c)	X	X	-	-	-
4a	X	X	-	-	-
4b*	-	-	Valor	-	-
4c*	-	-	-	Valor	-
5.1 (a, b, c, d)	X	X	-	-	-
5.2 (a, b, c, d)*	-	-	-	-	Valor

* Informar os valores quantitativos apenas quando as respostas em 4a e/ou 5.1 for (+1)

4.3.3. Output

Podemos descrever o *Output* como o resultado das consequências de determinada operação diretamente nas condições do poço e a ligação com as pré-condições seguintes. As perguntas da 1-3 são estruturadas e as respostas são categóricas (quatro alternativas). Na ferramenta, as respostas são codificadas em quatro opções de Algarismos descritos no tópico “3.3.1 Legenda das Codificações”. As perguntas da 4 e 5 são estruturadas, com respostas categóricas (três alternativas). Na ferramenta, as respostas são codificadas em três alternativas de Algarismos. As perguntas 1d, 4b, 4c, 5a2, 5b2, 5c2, 5d2 são de um sistema não estruturado e quantitativo.

Os números das perguntas dos *Outputs* tratam sobre os mesmos fatores externos que os respectivos números das pré-condições. Além disso, os *Outputs* possuem agora um maior número de opções de respostas. Quando a resposta é a opção “Não influencia (0)”, significa que a operação não atua sobre a interdependência mapeada, ou seja, é indiferente à realização da operação para o respectivo fator. A resposta “Não sabe (2)” é a opção escolhida quando não se tem certeza do resultado da operação, a qual corre o risco de ativar, desativar, isolar, abrir, limpar ou sujar. Deste modo, esta resposta se torna criteriosa, requerendo cuidado pois não se pode contar com determinada barreira de segurança ou com o fluido limpo do poço.

Deste modo, as perguntas de número 1 e 2 referem-se à barreira de segurança. O significado de “ativa” neste contexto é acrescentar uma barreira de segurança em funcionamento (operante) ao conjunto solidário de barreira de segurança independente. Já o

significado de “desativa” é o contrário: ao invés de acrescentar, a operação retira uma barreira de segurança em funcionamento do CSB independente.

As questões 1a e 1b mapeiam as duas barreiras de segurança mais importantes que fazem parte dos CSBs: o fluido do poço (barreira hidrostática) e o BOP.

1 a). Esta operação gera uma mudança na barreira hidrostática em frente a zona de interesse?

Resposta A - Ativa (+1)

Resposta B - Desativa (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

1 b) Esta operação acrescenta ou retira a barreira de segurança “BOP”?

Resposta A - Ativa (+1)

Resposta B - Desativa (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

A questão 1c está relacionada com todas as outras barreiras de segurança, sendo que a adição ou remoção da barreira de segurança pode fazer ou ter feito parte do CSB primário, secundário ou terciário.

1 c). Esta operação acrescenta ou retira alguma outra barreira de segurança no poço?

Resposta A - Ativa (+1)

Resposta B - Desativa (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

Dentro das opções de respostas da 1c, deve estar contida a informação de qual CSB independente a barreira de segurança fará ou deixará de fazer parte.

Legenda: CSB 1 - Ativa: (1c1) / Desativa: (-1c1)

CSB 2 - Ativa: (1c2) / Desativa: (-1c2)

CSB 3 - Ativa: (1c3) / Desativa: (-1c3)

1 d). Total CSBs: Informar o número de CSBs independentes existentes durante a operação.

A questão 2 remete ao impacto da operação em relação a exposição do poço com a formação, podendo “isolar” os dois, isto é, realizar a segregação do fluido do poço com o fluido da formação através de alguma barreira de segurança que impeça a migração. Como um exemplo, o teste de estanqueidade é mapeado como uma operação que “isola”, devido ao fato em que a operação é um teste que verifica a integridade da cimentação e do revestimento/*liner*. Entende-se a alternativa “abre” como a operação que cria uma passagem livre de fluidos entre a formação e o poço.

2). Esta operação gera uma mudança no contato com a formação?

Resposta A - Isola (+1)

Resposta B - Abre (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

Para a questão 3, há uma divisão das perguntas pois há a possibilidade de a operação limpar ou sujar apenas um dos três locais determinados. Isto torna não necessária a realização de operações que venham a limpar as regiões que não foram afetadas.

3 a). Esta operação gera uma mudança na limpeza do fluido do poço?

Resposta A - Limpa (+1)

Resposta B - Suja (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

3 b). Esta operação gera uma mudança na limpeza do revestimento do poço?

Resposta A - Limpa (+1)

Resposta B - Suja (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

3 c). Esta operação gera uma mudança na limpeza da conexão do poço?

Resposta A - Limpa (+1)

Resposta B - Suja (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Resposta D – Não sabe (2)

As operações são mapeadas observando se em determinada operação existe o assentamento ou o desassentamento de algum equipamento para dentro do poço que possa vir a mudar o *drift* do poço, seja aumentando ou diminuindo o diâmetro de passagem. Não se pode mapear a questão “4a” em relação se houve aumento ou diminuição do *drift*, pois para isso é necessário realizar a comparação com o *Output* anterior da condição do poço.

4 a). Esta operação gera uma nova restrição do *drift* no intervalo do poço?

Resposta A - Aumenta (+1)

Resposta B - Diminui (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

Depois de confirmado que existe a diminuição do *drift* no poço, o novo valor deve substituir o antigo. No outro caso, onde existe o aumento do *drift*, o valor será o do *drift* anterior, antes da instalação deste equipamento.

4 b). Informar o valor do *drift* que ficou após a operação (novo valor do diâmetro interno de passagem).

Como já explicado na questão de número 4 da pré-condição, a informação da profundidade é importante, pois a partir dela conhecemos exatamente a profundidade do poço em que houve a mudança do diâmetro de passagem e, com isso, observar se existe o respeito do intervalo de profundidade de trabalho das futuras operações.

4 c). Informar a profundidade em que foi alterado o *drift* do poço.

As operações são mapeadas também em relação aos impactos dos esforços permitidos nas condições do poço causados pelas operações. Isto ocorre devido a instalação ou retirada de algum equipamento que pode vir a mudar os valores máximos permitidos destes parâmetros dentro do poço. Como nas perguntas de número 4, as questões “5a1, 5b1, 5c1, 5d1” só podem ser informadas depois de analisar a informação da respectiva questão “5a2, 5b2, 5c2,

5d2”. No caso em que há mudança, deve-se realizar a comparação do novo valor máximo do parâmetro permitido com o valor anterior e observar se houve aumento ou diminuição do valor.

5 a1). Esta operação gera uma mudança na pressão máxima permitida no poço?

Resposta A - Aumenta (+1)

Resposta B - Diminui (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

5 a2) Informar o novo valor máximo da pressão permitido após a operação.

5 b1). Esta operação gera uma mudança no torque máximo permitido no poço?

Resposta A - Aumenta (+1)

Resposta B - Diminui (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

5 b2). Informar o novo valor máximo do torque permitido após a operação.

5 c1). Esta operação gera uma mudança na tração máxima permitida no poço?

Resposta A - Aumenta (+1)

Resposta B - Diminui (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

5 c2) Informar o novo valor máximo da tração permitido após a operação.

5 d1). Esta operação gera uma mudança na compressão máxima permitida no poço?

Resposta A - Aumenta (+1)

Resposta B - Diminui (-1)

Resposta C – Não influencia (0)

5 d2). Informar o novo valor máximo da compressão permitido após a operação.

Na Tabela 4.3 são apresentadas de forma resumida as alternativas de respostas do mapeamento dos *outputs*.

Tabela 4.3: Alternativas de respostas dos *outputs*

Dimensão	Ativa (+1)	Desativa (-1)	Não influencia (0)	Não sabe (2)	Qtde. CSB	Novo Valor do drift (pol.)	Profundidade do drift (m)	Valor Máx. Parâmetro (poço)
1 (a, b, c)**	X	X	X	X	-	-	-	-
1d	-	-	-	-	Valor	-	-	-
2	X	X	X	X	-	-	-	-
3 (a, b, c)	X	X	X	X	-	-	-	-
4a	X	X	X	-	-	-	-	-
4b*	-	-	-	-	-	Valor	-	-
4c*	-	-	-	-	-	-	Valor	-
5.1 (a, b, c, d)	X	X	X	-	-	-	-	-
5.2 (a, b, c, d)*	-	-	-	-	-	-	-	Valor

* Informar os valores quantitativos apenas quando as respostas em 4a e/ou 5.1 for diferente de (0)

** Caso a resposta seja (+1) ou (-1), informar qual CSB independente a barreira de segurança fará ou deixará de fazer parte, por exemplo:

Legenda: [CSB 1 – Ativa: (1c1) / Desativa (-1c1)] [CSB 2 – Ativa: (1c2) / Desativa (-1c2)...]

4.4. Interpretação da conectividade das funções

Assim que finalizado o terceiro passo, foi dado o início da quarta fase da construção da metodologia. Neste passo, foram estabelecidas as interpretações das funções quando se interagem. Podemos observar na Figura 4.5 a ligação do *Output* da “Operação 1” com o *Input* da “Operação 2”.

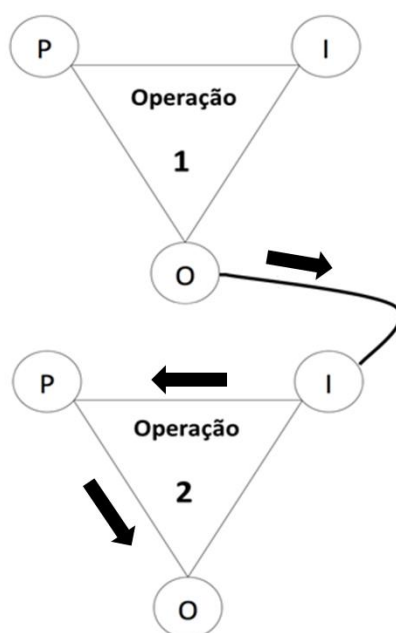


Figura 4.5: Conexões entre as funções das operações (elaborado pelo autor)..

Na Figura 4.5, após a finalização da primeira operação, a nova condição do poço será a entrada (condição inicial) para a segunda operação, o qual será o *input* dessa operação. Neste momento, é necessário observar se as condições do poço vindas da primeira operação respeitam as condições necessárias mapeadas para a execução da segunda operação. Após esta verificação, se as condições do *Input* respeitarem as condições do poço exigidas das pré-condições, a segunda operação pode ser realizada. Consequentemente, a segunda operação também irá impactar o poço com seu *output*, gerando uma nova condição do poço. Este, por sua vez, será o resultado do impacto da segunda operação sobre as condições do poço vindas da primeira operação. Em seguida, inicia-se um novo processo, dessa vez da operação seguinte, e assim sucessivamente até a conclusão da sequência operacional.

A Figura 4.6 segue um exemplo demonstrando como as conexões das interdependências das operações estão esquematizadas dentro de uma sequência.

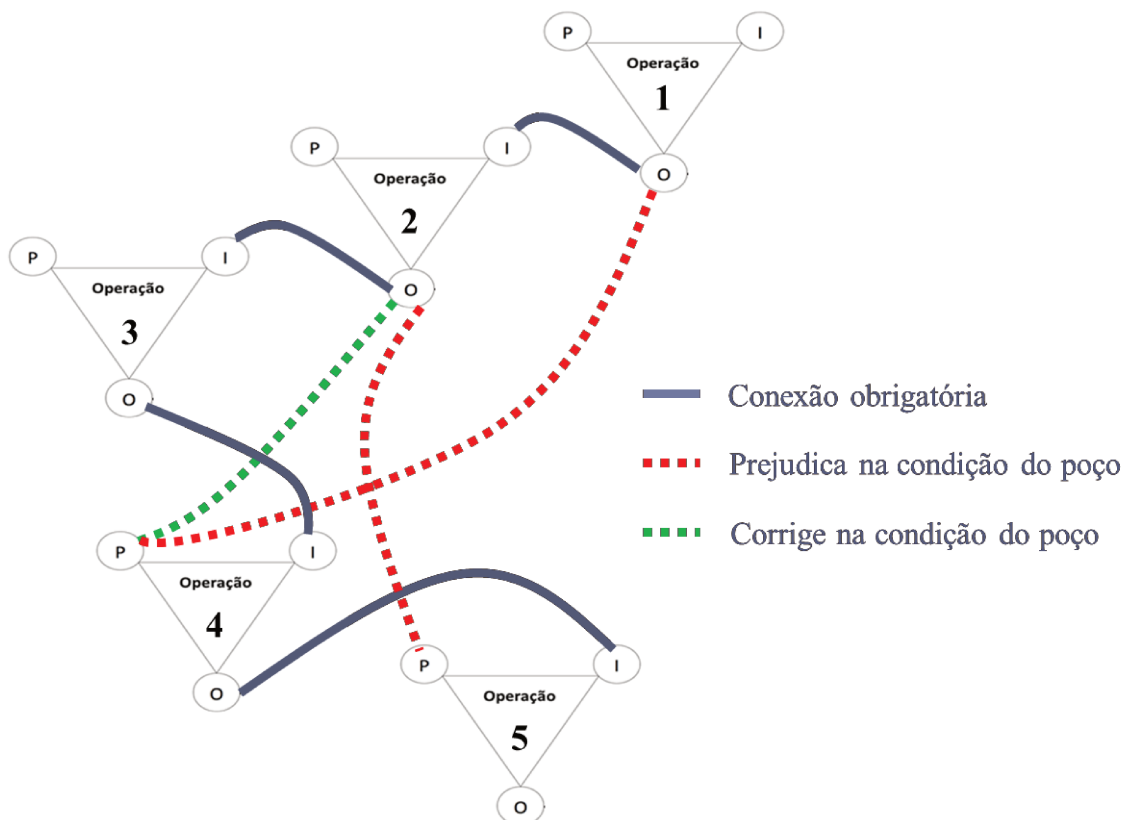


Figura 4.6: Conexões das interdependências entre as operações (elaborado pelo autor)..

Na Figura 4.6, as linhas azuis demonstram a conectividade obrigatória do *output* da operação com o *input* da operação consequente. A linha tracejada verde representa a conectividade do *output* de uma operação com a pré-condição de outra operação, mostrando

que a operação impacta na correção do estado do poço, atendendo a pré-condição da operação interligada. A linha tracejada vermelha representa a conectividade do *output* de uma operação com a pré-condição de outra operação também, porém demonstrando que a operação impacta negativamente no estado do poço, tornando a condição do poço em um estado que não atende a pré-condição da operação interligada.

4.5. Identificação das condições do poço

Na quinta fase, foram identificadas as situações que podem ou não comprometer o prosseguimento das operações. Neste passo, foram estabelecidas as interpretações para os momentos criteriosos e/ou críticos das pré-condições e *outputs* e também situações em que as pré-condições são respeitadas. É importante ressaltar que esta fase tem como objetivo de alertar o usuário das condições que devem ser monitoradas.

A pré-condição atendida pelo *output* da operação anterior, mapeada com o valor (1) - com exceção da questão “2”, o qual valor é (-1) - deve ser colorida de verde para demonstrar maior atenção e facilitar a leitura da metodologia. Neste contexto, “atenção” significa que este fator externo exige uma condição do poço a qual o *output* da operação anterior está respeitando. Porém, quando pintadas de vermelho, significa que a nova condição do poço não está satisfazendo a pré-condição desejada da operação conseguinte, criando um sinal de alerta.

As condições boas do estado do poço geradas após a realização da operação serão mapeadas com a cor amarela à fim de facilitar a leitura. Porém, serão coloridas de vermelho para demonstrar maior cuidado nos momentos em que estarão em uma condição criteriosa (2), em uma condição ruim (-1) ou em uma condição perigosa (<2) quanto ao total de CSBs independentes. É importante mencionar que neste caso, apesar do fato de estar em uma situação de “alerta”, não significa necessariamente que esta condição irá prejudicar a próxima operação.

Por fim, há a possibilidade de repetir-se uma operação dentro da sequência operacional. As operações repetidas dentro de uma sequência operacional devem ser coloridas de verde quando possuírem uma justificativa lógica. Porém, devem ser coloridas de vermelho quando não houver uma justificativa coerente.

Em seguida, serão apresentados exemplos de operações sequenciais, demonstrando como deve ser interpretado o estado do poço para cada dimensão.

O grupo “questões estruturadas e diretas (1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c)” nunca poderão ter a condição do poço com o valor da “0”, pois trata-se de uma condição do fator, ou seja, do

estado do poço. Por isso, não pode possuir como resposta o significado de que “não influencia”, mas sim uma resposta que caracterize o seu real estado. Se a operação não influencia na condição do poço (0), a condição do poço continuará sendo a mesma, com o mesmo valor que estava conforme visto na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: *Output* do Grupo “1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c” (Caso 1).

Nome da Operação (ontologia)	Estado do poço
	Pergunta (1a)
Nova condição do poço	1
Operação x (output)	0
Nova condição do poço	1
Operação y (output)	0
Nova condição do poço	1

Podemos observar neste exemplo da Tabela 4.4 que a condição do poço está mapeada com a resposta (1), significando que existe uma barreira hidrostática atuando como barreira de segurança no poço. De acordo com o mapeamento do banco de dados, as operações “Operação x” e “Operação y” não influenciam no estado da condição dessa questão (0). Logo, se a nova operação não influencia, ela não mudará a condição do poço.

Tabela 4.5: *Output* do Grupo “1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c” (Caso 2).

Nome da Operação (ontologia)	Estado do poço
	Pergunta (3b)
Nova condição do poço	-1
Operação x (output)	0
Nova condição do poço	-1
Operação y	0
Nova condição do poço (output)	-1

A Tabela 4.5 é também um exemplo que demonstra a mesma ocorrência da do resultado anterior, já que as operações “Operação x” e “Operação y” também não influenciam na condição do poço (0) nesse caso.

Entretanto, quando a operação influencia na condição do poço, possuindo valor diferente de (0), a nova condição do poço será o valor mapeado.

Tabela 4.6: *Output* do Grupo “1a, 1b, 2, 3a, 3b, 3c” (Caso 3).

Nome da Operação (ontologia)	Estado do poço
	Pergunta (2)
Nova condição do poço	2
Operação x (output)	1
Nova condição do poço	1
Operação y (output)	-1
Nova condição do poço	-1

A Tabela 4.6 denota exatamente a mudança da condição do poço. Partindo de um *output* com uma situação criteriosa (2), onde não se sabe se existe ou não contato do poço com a formação, é realizada a “operação x”, que isola o contato existente entre o poço e a formação (-1), gerando uma nova condição do poço. Em seguida, podemos observar que a “operação y” expõe o contato entre estes (+1), mudando novamente a condição do poço.

As questões quantitativas seguem uma leitura diferente das qualitativas, sendo mais complexas. Primeiramente, as questões quantitativas (4b, 4c, 5a2, 5b2, 5c2, 5d2), serão denominadas de “Grupo 4, 5 quantitativo”. Este grupo possui uma conexão com o “Grupo 4, 5 qualitativo” (4a, 5a1, 5b1, 5c1, 5d1), pois a nova condição do poço das questões qualitativas é apenas informada após a comparação dos valores quantitativos com o *input*.

No exemplo da Tabela 4.7, podemos observar que as questões “4b” e “4c” são informadas primeiramente com seus valores. Isto ocorre devido a necessidade da comparação destas informações com o *Input*. No exemplo da “Operação w”, o valor do *drift* é reduzido e em uma profundidade menor quando comparado com a condição do poço anterior. Após a entrada desta informação, a nova condição do estado do poço da pergunta “4a” é formado, o qual terá o valor (-1) devido a operação diminuir o valor do *drift* no intervalo do poço. Estes valores são coloridos com a cor vermelha por diminuírem o valor do *drift*.

Tabela 4.7: *Output* do Grupo quantitativo e qualitativo da questão 4 (Caso 1).

Nome da Operação (ontologia)	Estado do poço		
	4a	4b (in)	4c (m)
Nova condição do poço	0	8,00	2000,0
Operação w (output)	-	7,00	1850,0
Nova condição do poço	-1	7,00	1850,0
Operação x (output)	-	-	-
Nova condição do poço	0	7,00	1850,0
Operação y (output)	-	4,35	1200,0
Nova condição do poço	-1	4,35	1200,0
Operação z (output)	-	9,00	1200,0
Nova condição do poço	1	7,00	1850,0

Caso a operação não impacte na diminuição ou no aumento do *drift*, o valor do novo *output* gerado da questão “4a” será (0), significando que não houve alteração no estado do poço de uma operação para a outra. Neste caso, o novo estado do poço das questões “4b” e “4c” continuarão com os valores do estado do poço anterior. Estes valores deverão ser coloridos com a cor amarela. Isso pode ser observado na “Operação x”.

No exemplo da “Operação y”, o *drift* é reduzido em uma profundidade menor, e assim que realizada a “Operação z”, o valor do *drift* é corrigido nesta mesma profundidade, retornando o valor da condição do poço para o menor *drift* descrito anteriormente.

Outro exemplo pode ser visto na Tabela 4.8, onde a interpretação do novo estado do poço das questões “5a2, 5b2, 5c2, 5d2” são iguais ao da “4b, 4c”.

Tabela 4.8: *Output* do Grupo quantitativo e qualitativo da questão 5 (Caso 2).

Nome da Operação (ontologia)	Estado do poço	
	5a1	5a2 (psi)
Nova condição do poço	0	8000
Operação w (output)	-	6000
Nova condição do poço	-1	6000
Operação x (output)	-	-
Nova condição do poço	0	6000
Operação y (output)	-	8000
Nova condição do poço	1	8000

Na Tabela 4.9, um exemplo de barreiras de segurança da questão “1c” é apresentado, o qual demonstra que as barreiras podem se acumular. Elas devem ser totalizadas

independentemente dos CSBs que fizerem parte. É importante ressaltar que nesta somatória de barreiras de segurança, o “fluido do poço” e “BOP” não fazem parte.

Tabela 4.9: *Output* da barreira de segurança (1c).

Nome da Operação (ontologia)	Estado do poço
	Pergunta (1c)
Nova condição do poço	7
Operação x (output)	-1c1
Nova condição do poço	6
Operação y (output)	0
Nova condição do poço	6
Operação z (output)	1c2
Nova condição do poço	7

A quantidade de barreiras de segurança de um poço não determina o número de CSBs independentes existentes no poço. Para tornar possível a automatização de quantificação de CSBs existentes no poço, é necessário mapear as barreiras de segurança de acordo com os seus respectivos caminhos e provar a interligação entre elas. Pode-se definir “caminho” como uma região que possibilita a passagem do fluido indesejado. Nesse trabalho, consideram-se seis caminhos possíveis nos quais um *kick* pode ocorrer: Rocha, Anular B, Interligação Anular A x Anular B, Anular A, Interligação Coluna x Anular A, Coluna. Isso pode ser visto na Figura 4.8 e na Tabela 4.11. No caso em que o poço não possui coluna no seu interior, não se devem incluir na análise da formação de CSB os seguintes caminhos: Interligação Coluna x Anular A; Coluna, conforme pode ser visto na Figura 4.7 e na Tabela 4.10.

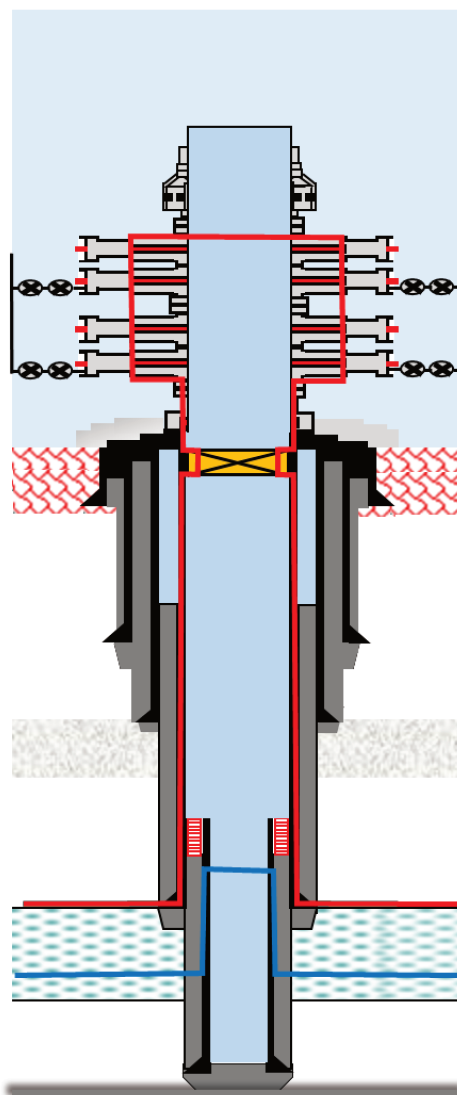


Figura 4.7: Exemplo do esquema de CSBs independentes sem coluna no interior do poço (elaborado pelo autor).

Tabela 4.10: Mapeamento das barreiras de segurança em seus caminhos sem coluna

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completção	BOP + SCPS + BPR
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

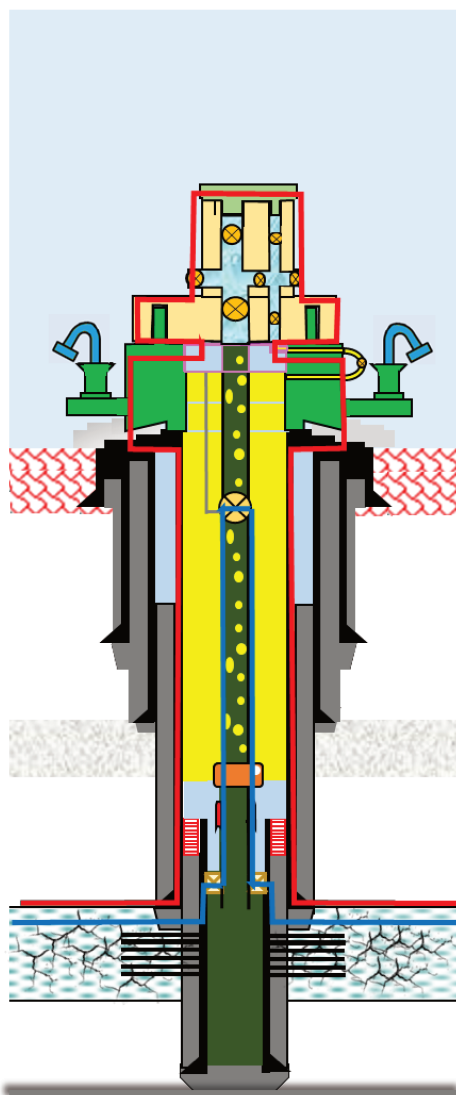


Figura 4.8: Exemplo do esquema de CSBs independentes com coluna no interior do poço (elaborado pelo autor).

Tabela 4.11: Mapeamento das barreiras de segurança em seus caminhos com coluna

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha caeadora 1	Rocha caeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM + <i>Tree cap</i>
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM + <i>Tree cap</i>
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM + <i>Tree cap</i>

Podemos observar na Tabela 4.11 que uma barreira de segurança pode servir como uma barreira em mais de um caminho. A utilização da tabela com este modelo é muito importante, pois ajuda a mostrar claramente as barreiras de segurança que compõe cada CSB independente e os caminhos a serem analisados. Além disso, na tabela o CSB primário é colorido com azul para mostrar que as barreiras que o constituem fazem parte da linha azul na figura, do mesmo modo que o CSB secundário é colorido de vermelho para representar suas barreiras. Caso a operação desfaça o CSB primário, o CSB secundário passará a ser o primário, e se existir, o terciário passará a ser o secundário. Caso a operação desfaça o CSB secundário, o CSB terciário passará a ser o secundário. Devido a existência do algoritmo “Análise Dinâmica Quantitativa de CSB”, desenvolvido por Miura (2004), o qual permite verificar o total de CSBs independentes após cada operação, este trabalho não se concentrará na quantificação de CSBs.

4.6. Caracterização do ponto de partida e ponto de chegada

Na sexta fase, foi necessário caracterizar um ponto de partida e um ponto de chegada para listar as operações necessárias para a criação de uma sequência operacional.

Como premissa para os exemplos de estudo de caso do presente trabalho, um poço marítimo típico de desenvolvimento do pré-sal é perfurado. As etapas de perfuração foram constituídas das seguintes fases:

- 1** - Descida da coluna de perfuração com broca tricônica de 36” (Figura 4.9).
- 2** - Perfuração rotativa na primeira fase com broca tricônica de 36” (Figura 4.9).
- 3** - Poço de 36” preenchido com colchão viscoso adensado (Figura 4.9).
- 4** - Instalação do revestimento condutor de 30” e cimentação do revestimento condutor (Figura 4.10).
- 5** - Perfuração da segunda fase com broca de 26” (Figura 4.10).
- 6** - Instalação do revestimento de superfície de 20” e cimentação do revestimento de superfície (Figura 4.10).
- 7** - Perfuração da terceira fase com broca de 17 1/2” (Figura 4.11).

8 - Instalação do revestimento de intermediário de 13 $\frac{3}{8}$ " e cimentação do revestimento de intermediário (Figura 4.11).

9 - Descida do BOP pendurado pelo *riser* de perfuração (Figura 4.11).

10 - Conexão do BOP no alojador de alta (Figura 4.12).

11 - Perfuração da quarta fase com broca de 12 $\frac{1}{4}$ " (Figura 4.12).

12- Instalação do revestimento de produção de 9 $\frac{5}{8}$ " e cimentação do revestimento de produção (Figura 4.12).

13- Perfuração da quinta fase (reservatório) (Figura 4.13).

14- Instalação do *liner* de produção de 7" e cimentação do *liner* (Figura 4.13).

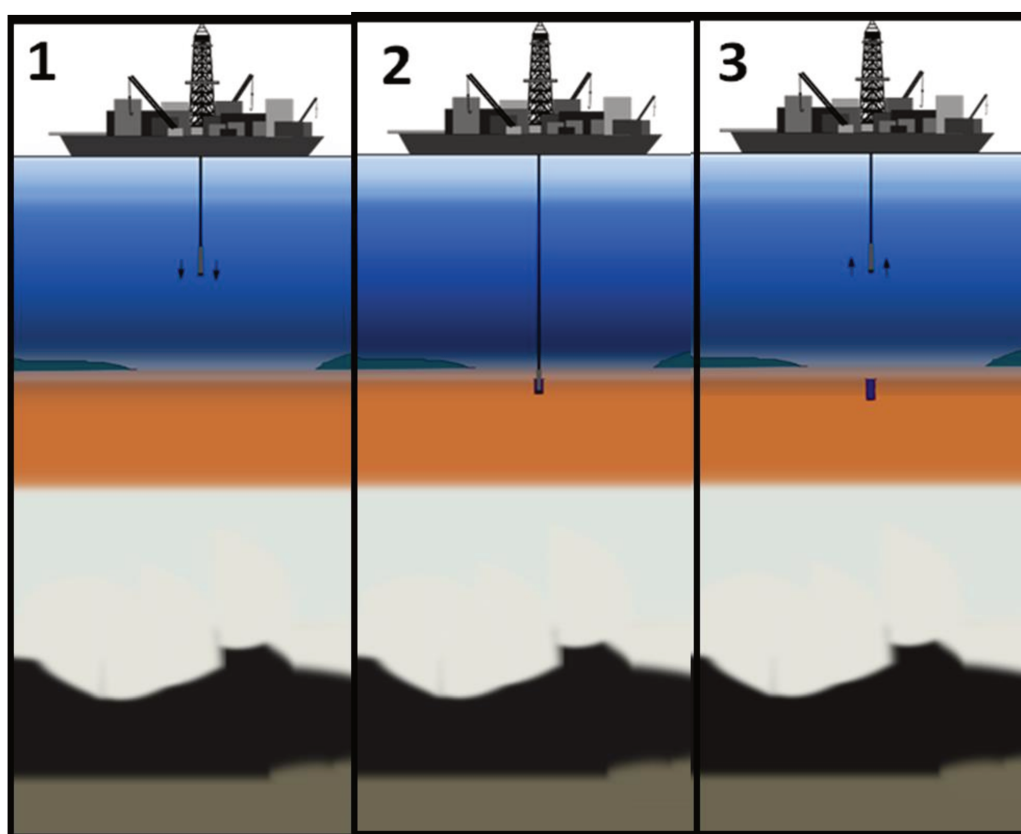


Figura 4.9: Etapas 1 a 3 da perfuração (elaborado pelo autor).

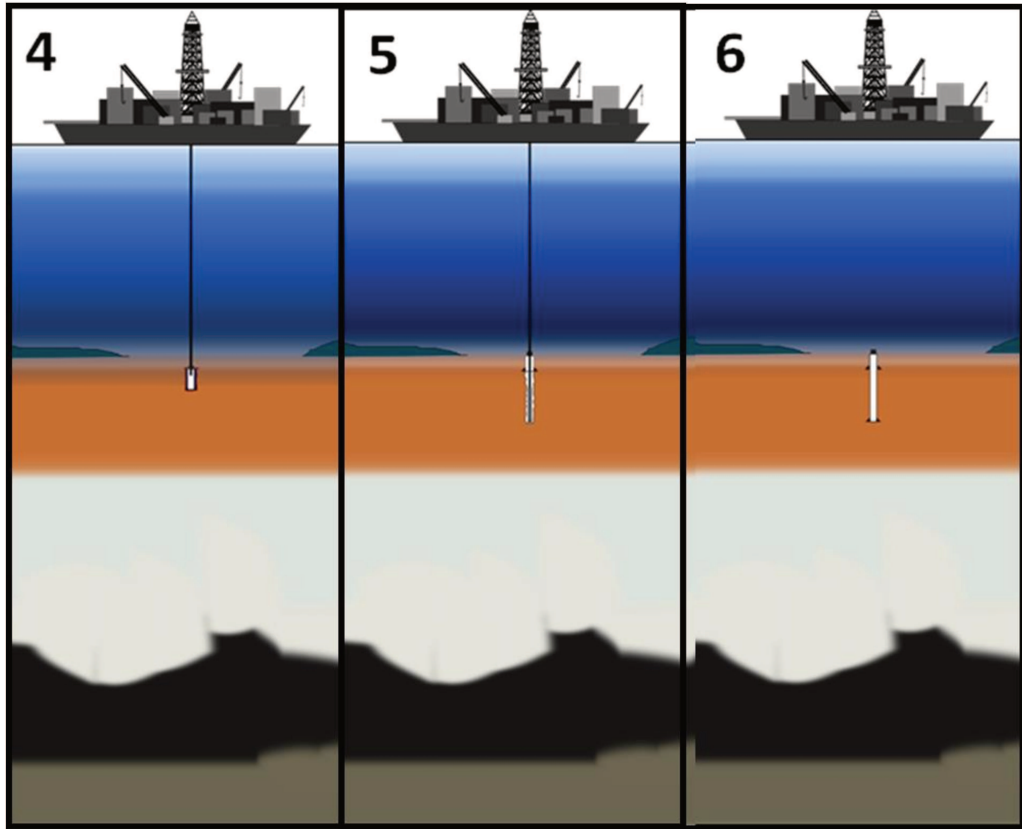


Figura 4.10: Etapas 4 a 6 da perfuração (elaborado pelo autor).

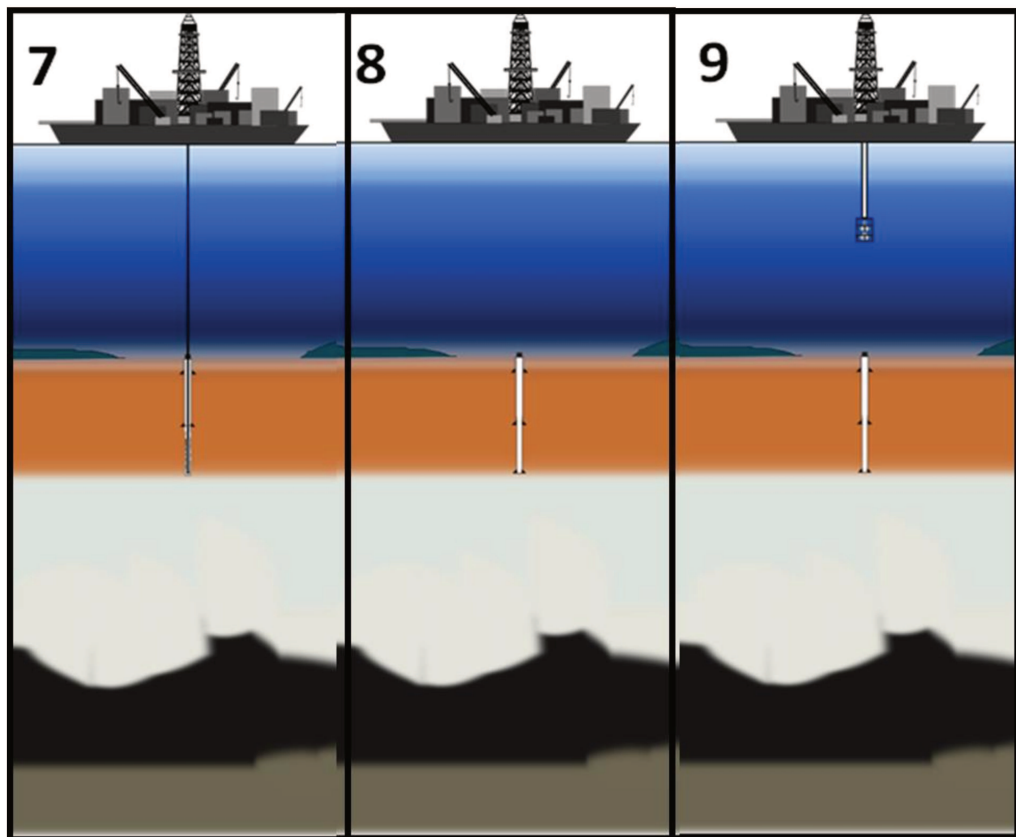


Figura 4.11: Etapas 7 a 9 da perfuração (elaborado pelo autor).

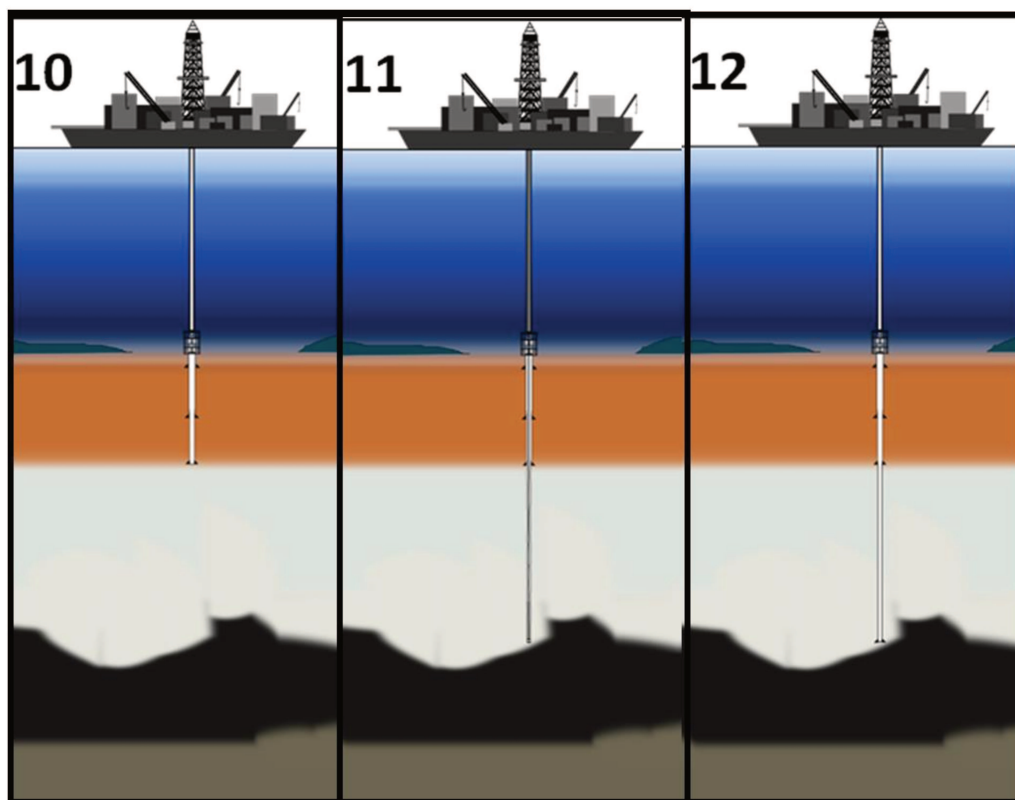


Figura 4.12: Etapas 10 a 12 da perfuração(elaborado pelo autor).

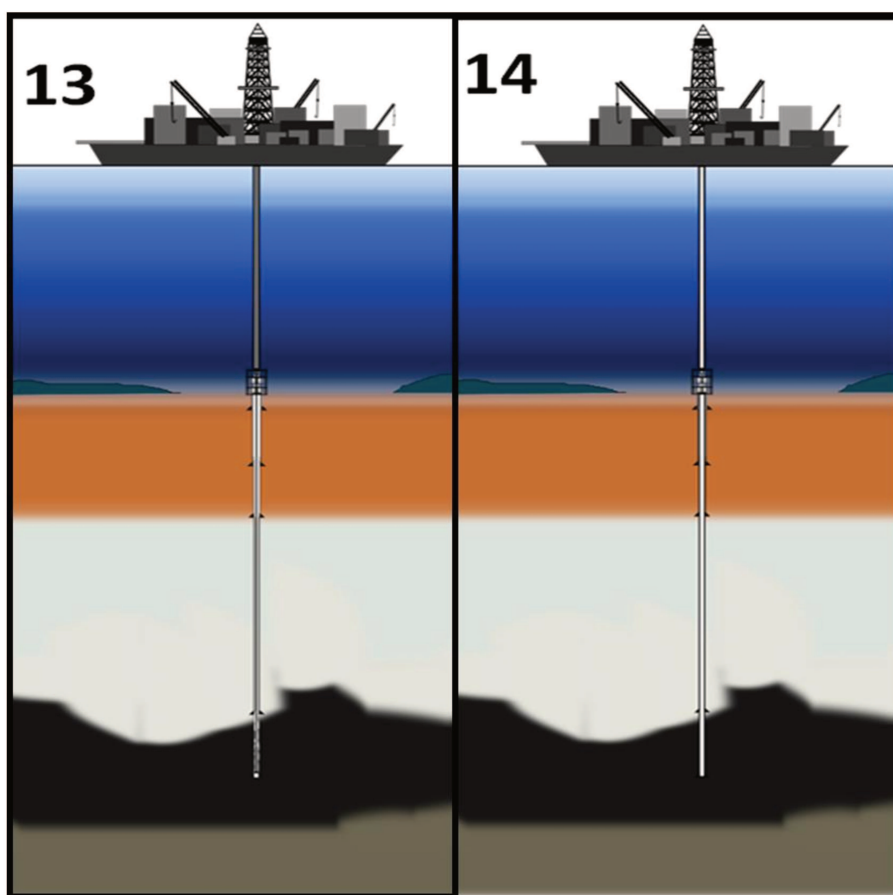


Figura 4.13: Etapas 13 e 14 da perfuração (elaborado pelo autor).

Logo que realizada a instalação e cimentação do *liner* de produção, a etapa de perfuração é concluída, dando o início à etapa de completação do poço. Como premissa da metodologia, o dimensionamento do projeto de completação foi considerado corretamente realizado, não sendo, portanto, parte deste trabalho.

O ponto de partida (estado inicial do poço) definido para o estudo de caso deste trabalho se encontra com as seguintes características, conforme a Figura 4.14:

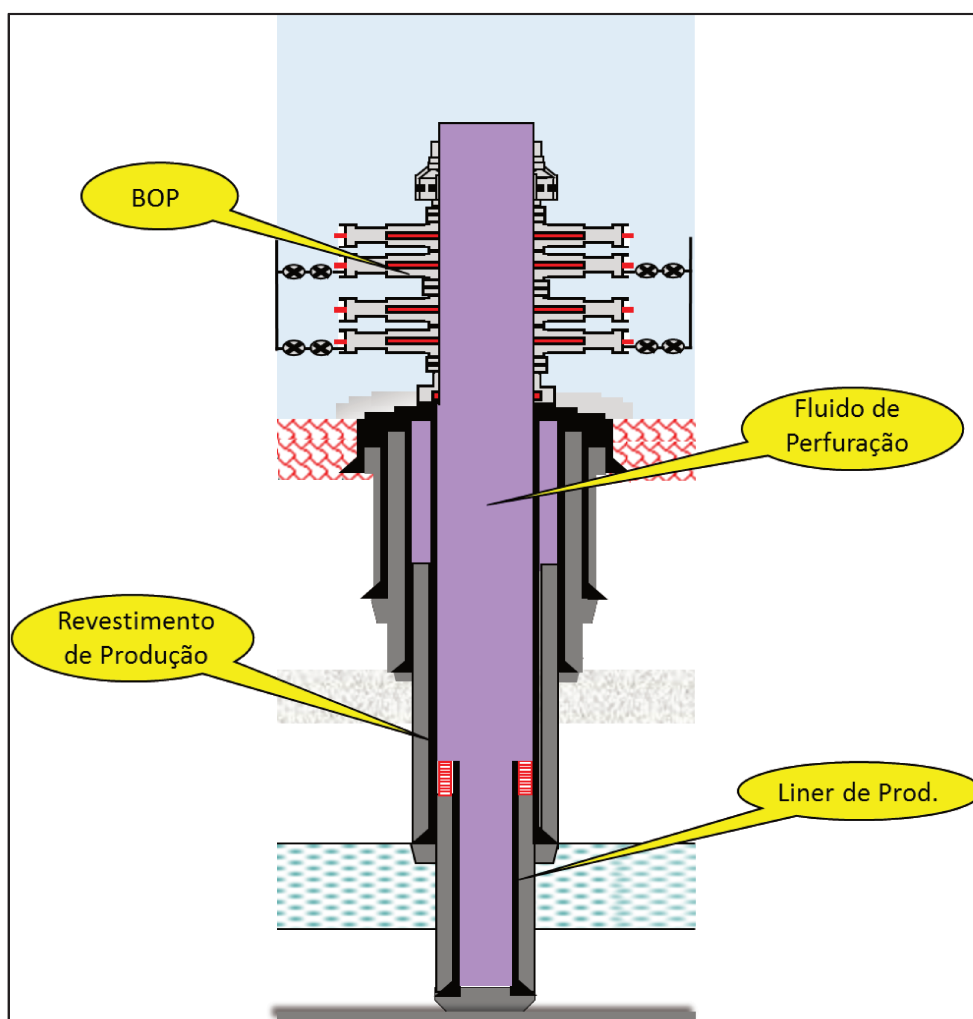


Figura 4.14: Estado inicial do poço, logo após o fim da perfuração (elaborado pelo autor).

Estado Inicial (Ponto de partida)

- BOP instalado;
- Fluido de perfuração no interior do poço;
- Revestimento de produção 9 5/8”;
- Sapata *liner* 7”;

- *Liner* cimentado até o topo (acabou de ser cimentado);
- Não foi realizado ainda o teste de estanqueidade;
- O fluido de perfuração e o *liner* estão “sujos”.

Ao final da fase da completação, o ponto de chegada (estado final do poço) definido para o estudo de caso deste trabalho se encontra com as seguintes características, conforme visto na Figura 4.15:

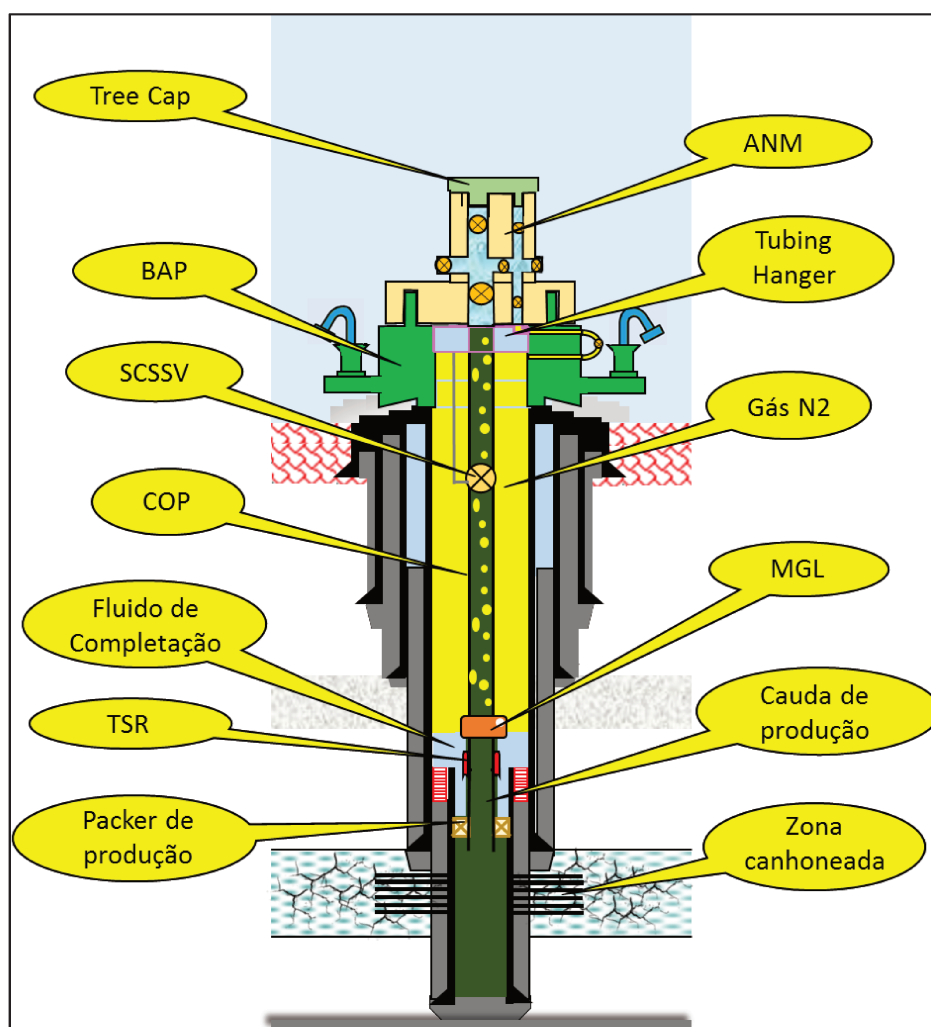


Figura 4.15: Estado final do poço após a completação (elaborado pelo autor).

Estado final (Ponto de chegada)

- Canhoneado;
- Gás de *gas lift* no anular, acima do MGL;
- Fluido de completção abaixo do MGL;

- Cauda e *packer* de produção instalados;
- Coluna de produção e *Tubing Hanger* instalados;
- BAP e ANM instalados;
- Induzido a surgência.

Diferentes caminhos e pontos intermediários

A etapa de completação do poço pode ser realizada de diferentes modos, ou seja, através de diferentes sequências operacionais, sendo algumas com mais e outras com menos operações. Dadas essas diferenças, é caracterizada a relação do tempo, custo, eficiência e segurança no final de todo o processo.

Podemos fazer uma analogia, vista na Figura 4.16, de um cidadão (João) que está de carro em sua casa (ponto de partida) querendo ir para a escola (ponto de chegada). Porém, para chegar à escola, João terá que abastecer o seu carro no posto (ponto intermediário), pois está com gasolina insuficiente até o seu destino. Existem diferentes caminhos possíveis para realizar esta viagem. Da sua casa até o posto, existem três rotas possíveis (1, 2 e 3). Do posto até a escola existem mais três rotas possíveis (4, 5 e 6). Deste modo, existem nove caminhos diferentes possíveis de fazer esta viagem respeitando a passagem pelo ponto intermediário:

- Trajetória 1 (azul) + Trajetória 4 (cinza)
- Trajetória 1 (azul) + Trajetória 5 (preto)
- Trajetória 1 (azul) + Trajetória 6 (laranja)
- Trajetória 2 (vermelho) + Trajetória 4 (cinza)
- Trajetória 2 (vermelho) + Trajetória 5 (preto)
- Trajetória 2 (vermelho) + Trajetória 6 (laranja)
- Trajetória 3 (verde) + Trajetória 4 (cinza)
- Trajetória 3 (verde) + Trajetória 5 (preto)
- Trajetória 3 (verde) + Trajetória 6 (laranja)

As rotas mais longas, isto é, com distâncias maiores, são análogas às sequências operacionais que possuem mais operações ou que possuem operações com tempo de duração maior. Assim, a opção de não querer passar por determinado local é equivalente a uma sequência operacional com determinada operação indesejada devida algum tipo de risco ou falta de recursos.

Por exemplo, suponhamos que a trajetória 6 é um percurso perigoso, pois no trecho perto da lanchonete com a esquina da rua 3 é um local com grande risco de assalto, então João deve evitar as alternativas que envolvem este percurso. Na completção, isso é equivalente a uma operação que pode causar algum tipo de risco operacional, tais como dano à formação ou desativação de alguma barreira de segurança ativa; pode ser também por alguma questão de logística, na qual exista a falta de algum recurso, tais como equipamento, equipe especializada, sonda, etc.

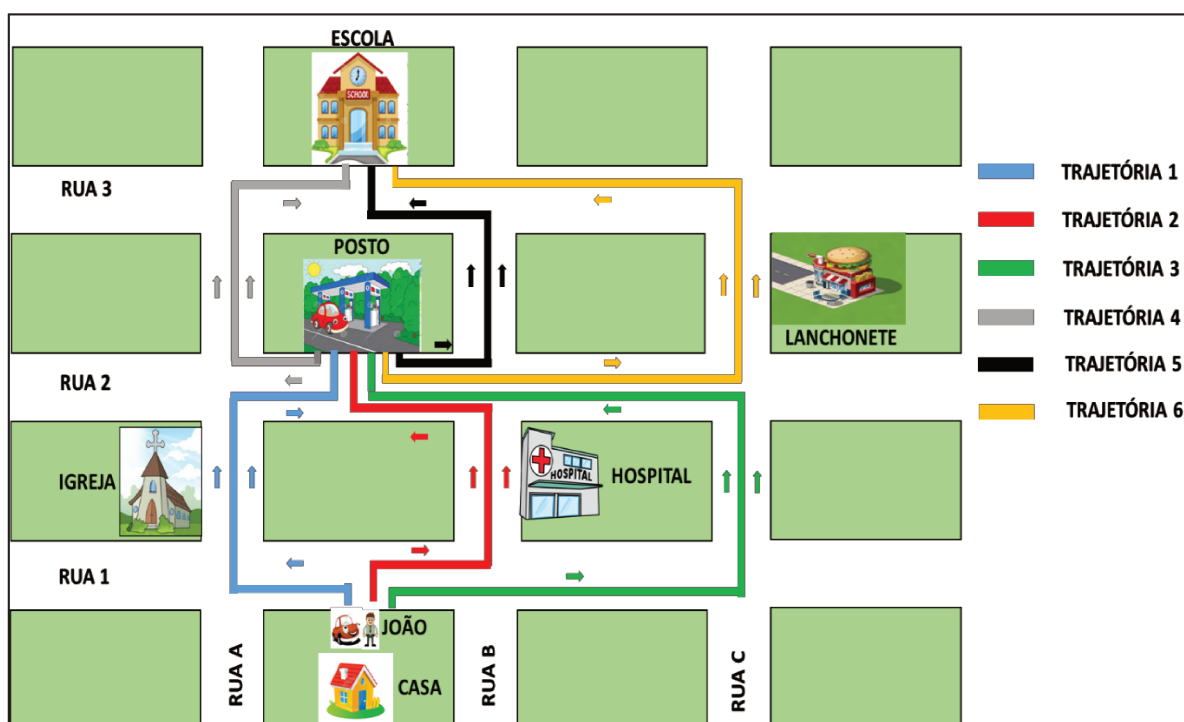


Figura 4.16: Analogia de trajetórias com sequências operacionais da completção (elaborado pelo autor).

Cada sequência operacional terá características próprias, tais como maior segurança operacional, maior eficiência ou menor tempo. Deste modo, é analisado dentro da metodologia se a determinada sequência operacional obedece às condições necessárias.

Em algum momento, durante determinada sequência operacional, deve-se respeitar a passagem por dois pontos intermediários. Podemos definir “ponto intermediário”, como um ponto obrigatório de passagem com determinadas condições do poço. Sendo assim, o poço no primeiro ponto intermediário deve apresentar a cauda de produção e o *packer* instalados, reservatório canhoneado, fluido de completção no interior do poço e BOP instalado, conforme visto na Figura 4.17.

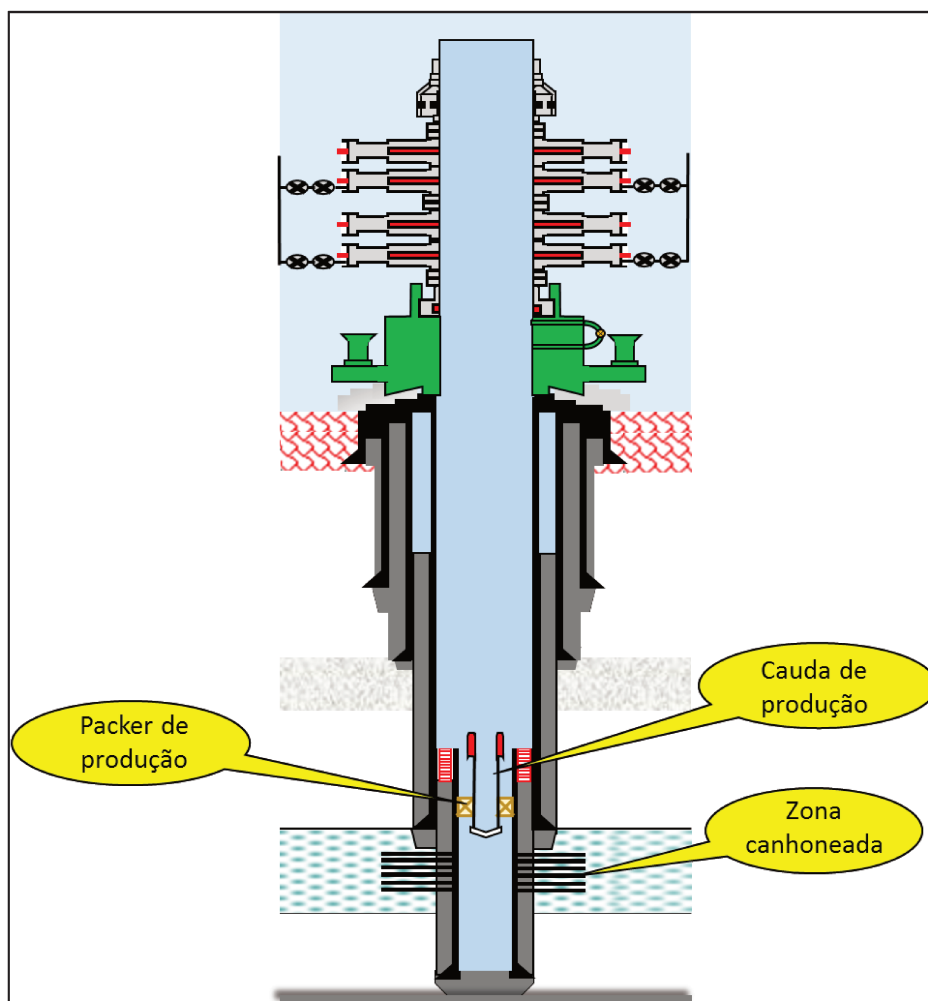


Figura 4.17: Ponto Intermediário 1 da sequência operacional de completação (elaborado pelo autor).

O segundo ponto intermediário deve apresentar a coluna de produção, válvula de segurança de subsuperfície, mandril de *gas lift*, TSR ou PBR, suspensor de coluna, *plug* no suspensor de coluna, reservatório canhoneado, gás de *gas lift* no anular acima do MGL e fluido de completação abaixo do MGL, conforme visto na Figura 4.18.

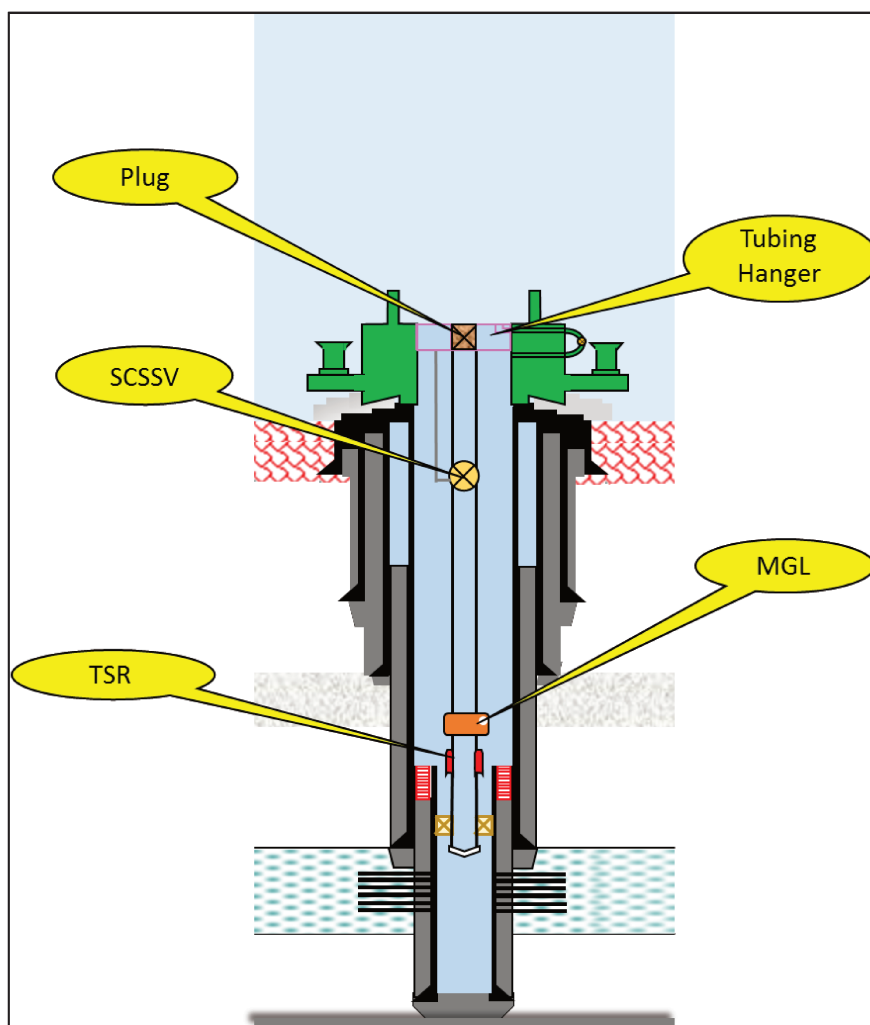


Figura 4.18: Ponto Intermediário 2 da sequência operacional de completação (elaborado pelo autor).

Dada a imposição das condições do poço no final da completação, é possível predeterminar um ou mais pontos intermediários como passagem em uma sequência operacional, o que mostra uma lógica em seu processo. Em outras palavras, significa que, independentemente da sequência operacional, para alcançar o objetivo (estado final do poço) deve-se passar por estes pontos em algum instante, cujas configurações possuem determinadas características que mostram progressos na sequência operacional.

Após o ponto inicial e final serem caracterizados, foi criado um banco de dados listando operações que são ou que podem vir a ser necessárias para cumprir com o objetivo da completação, atingindo as condições do estado final do poço. Baseado na ontologia das operações de construção e reparo de poços marítimos elaborada por Miura (2004), foram selecionadas 39 operações com nomes padronizados da fase de completação, listadas na

Tabela C.1 do Apêndice C. Algumas operações que não estão nessa ontologia foram adicionadas para o presente trabalho.

Após a seleção das operações, foi realizado o mapeamento das interdependências dos mesmos de acordo com a terceira fase da metodologia. O mapeamento gerou um banco de dados com 1120 informações das 39 operações e da condição inicial. Fazem parte do banco de dados 28 questões (interdependências), sendo que os *Outputs* (4a, 5a1, 5b1, 5c1, 5d1) e o totalizador de CSBs não estão incluídos. O mapeamento das interdependências das operações se encontra no Apêndice A. Neste mesmo apêndice, também é encontrada uma explicação sucinta sobre cada operação mapeada para complementar o entendimento do trabalho.

4.7. Criação da Ferramenta de Verificação

Para aplicar a metodologia de verificação em um programa (ferramenta), foi utilizada uma planilha eletrônica, a qual permitiu criar tabelas, controles e cálculos. O banco de dados criado também foi implementado, mostrando o mapeamento das interdependências das 39 operações. Nesta planilha, todas as operações e suas respectivas interdependências mapeadas (pré-condições e *Outputs*) devem ser armazenadas.

Com o objetivo de criar uma planilha eletrônica que informe respostas de forma rápida, foi introduzido um conjunto de instruções (programas) que a ferramenta deve executar de forma lógica para se obter os resultados. No programa, foram introduzidos os seguintes itens:

- Banco de dados (Lista das operações e o mapeamento das interdependências);
- Interpretação entre os *outputs* com os estados do poço;
- Interpretação entre os estados do poço com as pré-condições seguintes;
- Outras regras estabelecidas como interpretações da metodologia;
- A interligação entre o banco de dados e a metodologia implantada;
- Formas de alertar o usuário do programa de situações ruins, criteriosas ou de operações repetitivas.

O objetivo da ferramenta é averiguar a existência de riscos operacionais dentro da sequência dada. Após a criação da ferramenta, é necessária apenas a entrada da sequência operacional a ser analisada. O resultado da ferramenta deve promover maior praticidade de verificação e permitir atentar aos possíveis descuidos durante a elaboração de um planejamento de sequência operacional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, foram testados três casos de planejamento de sequência operacional, os quais não estavam necessariamente corretos, justamente para demonstrar que a metodologia é capaz de identificar problemas na sequência. Deve-se destacar que os três estudos de caso foram testados pela ferramenta de verificação. Os estudos de caso utilizaram as operações listadas do Apêndice C. É importante salientar que tanto o mapeamento quanto a verificação das sequências operacionais foram consultados por um especialista da área. Posteriormente, são discutidos os resultados.

A metodologia não tem como objetivo quantificar o número de CSB. O algoritmo “Análise Dinâmica Quantitativa de CSB” desenvolvido em Miura (2004) pode realizar essa quantificação.

5.1. Estudo de Caso 1

A lista da sequência operacional se encontra na Tabela C.2 do Apêndice C.

Operações que se repetiram:

Operação nº 3 - Troca de Fluido de perfuração pela água do mar

Justificativa: (Desnecessária) sub operação da operação de retirada de BOP

Esta operação é necessária para que no momento em que for retirar o BOP, o fluido localizado na região interna deste equipamento e do *riser* não contamine o leito marinho. Porém, podemos classificar esta operação como sub operação da operação de “Retirada de BOP”, sendo uma etapa do procedimento desta operação.

Operação nº 4 – Retirada do BOP

Justificativa: operação necessária para a instalação da BAP

Operação nº 7 - Troca de Fluido da água do mar pelo fluido de perfuração.

Justificativa: operação desnecessária

Neste momento da sequência operacional, já poderia ser realizada a troca do fluido existente do poço pelo fluido de completção. Esta ação, já evitaria a adição de mais uma outra operação de troca de fluido (fluido de perfuração pelo fluido de completção).

Operação nº 11 - Troca de Fluido de perfuração pelo fluido de completação

Justificativa: operação necessária

Esta operação é realizada para obedecer a pré-condição da operação de “Perfilagem de verificação de cimentação”. Porém, a operação de perfilagem poderia ter sido executada anteriormente da operação de “Condicionamento do revestimento”, a qual tem impacto de sujar o fluido do poço.

Operação nº 23 – Teste de Produção

Justificativa: operação necessária

Teste realizado para analisar o nível de dano da formação com o objetivo de dimensionar o volume de ácido para a operação de acidificação de matriz.

Operação nº 25 - Teste de Produção

Justificativa: operação desnecessária

Pode ser realizado o teste de produção simplificado, pois neste momento, o objetivo do teste é apenas analisar o fluxo de produção para avaliar o resultado da operação de acidificação de matriz.

Operação nº 27- Retirada de BOP

Justificativa: operação necessária para a instalação da ANM.

Observações relevantes:

Não é possível realizar a operação nº18 de Teste de válvula de segurança DHSV se ainda não foi instalado este equipamento. Este equipamento não desce juntamente com a coluna de produção definitiva.

Na **Tabela 5.1**, as condições de limpeza do poço desde a condição inicial até a operação nº 11 são apresentadas, demonstrando as pré-condições atendidas e não atendidas. Lembra-se aqui que a condição de limpeza (3a, 3b, 3c) se refere respectivamente a: fluido do poço, revestimento e conexão do equipamento. Podemos observar também, na tabela, as operações repetidas que possuem e que não possuem justificativa lógica. Na ferramenta de verificação, cada operação das sequências operacionais é representada por três linhas, sendo que a primeira linha representa o *input* da operação, a segunda linha representa a pré-condição da operação a ser realizada, e a terceira linha representa o estado do poço após a execução da operação.

Tabela 5.1: Estudo de Caso 1 (Condição de limpeza – Parte 1)

Análise da Sequência						
Nº da oper.	Pré-condição			Estado do poço		
	3a	3b	3c	3a	3b	3c
0	-	-	-			
				-1	-1	1
				-1	-1	1
1	0	0	0			
				-1	-1	1
				-1	-1	1
2	0	1	0			
				-1	-1	1
				-1	-1	1
3	0	0	0			
				-1	-1	1
				-1	-1	1
4	0	0	1			
				-1	-1	-1
				-1	-1	-1
5	0	0	0			
				-1	-1	1
				-1	-1	1
6	0	0	1			
				-1	-1	1
				-1	-1	1
7	0	0	0			
				1	-1	1
				1	-1	1
8	0	0	1			
				1	-1	1
				1	-1	1
9	1	1	0			
				1	-1	1
				1	-1	1
10	0	0	0			
				-1	1	1
				-1	1	1
11	0	0	0			
				1	1	1
				1	1	1

Estado do Poço

-1 } Condição ruim
2 }

1 Condição boa

Pré-Condição

1 Não atende a pré-condição

1 Condição atendida

Operação repetida

Sem justificativa lógica

Com justificativa lógica

Condição de Limpeza (3):

Revestimento (3b): pode existir o comprometimento em realizar a operação nº 2 (Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico – BPR), já que não foi realizada nenhuma operação após a cimentação do *liner* que garanta a condição de limpeza do revestimento (Tabela 5.2).

Na Tabela 5.2, as condições de limpeza do poço desde a operação nº 12 até a operação nº 21 são apresentadas, demonstrando as pré-condições atendidas e não atendidas. Podemos observar também na tabela, que nenhuma dessas operações se repetiram.

Tabela 5.2: Estudo de Caso 1 (Condição de limpeza – Parte 2)

Análise da Sequência						
Nº da oper.	Pré-condição			Estado do poço		
	3a	3b	3c	3a	3b	3c
12	1	0	0	1	1	1
				1	1	1
13	0	0	0	1	1	1
				-1	1	1
14	0	1	0	-1	1	1
				-1	1	1
15	1	0	1	-1	1	1
				-1	1	1
16	1	0	0	-1	1	1
				-1	1	1
17	0	0	0	-1	1	1
				-1	1	1
18	0	0	0	-1	1	1
				-1	1	1
19	0	0	0	-1	1	1
				-1	1	1
20	0	0	0	-1	1	1
				-1	1	1
21	1	0	0	-1	1	1
				-1	1	1

Estado do Poço

-1 } Condição ruim

2 } Condição ruim

1 } Condição boa

Pré-Condição

1 } Não atende a pré-condição

1 } Condição atendida

Operação repetida

Sem justificativa lógica

Com justificativa lógica

Fluido do poço (3a): após realizar a operação de canhoneio (operação nº 13), três operações podem ser comprometidas, devido ao fato de exigirem que a condição do fluido do poço estivesse limpa, mas nenhuma operação foi feita antes para reverter esta condição. Os debris e

sólidos em geral podem impedir a retirada ou o assentamento destes equipamentos. As operações que podem ser comprometidas são:

- Retirada de bucha de desgaste (operação n° 15)
- Montagem e descida de coluna definitiva (operação n° 16)
- Retirada de objeto arame de coluna -*Standing valve* (operação n° 21)

Na Tabela 5.3, as condições de compatibilidade de diâmetro desde a condição inicial até a operação n° 7 são apresentadas, demonstrando as pré-condições atendidas e não atendidas.

Tabela 5.3: Estudo de Caso 1 (drift do poço)

Análise da Sequência						
N° da oper.	Pré-condição			Estado do poço		
	4a	4b (in)	4c (m)	4a	4b (in)	4c (m)
0	-	-	-			
				0	6,151	Valor
1	0	-	-	0	6,151	Valor
				0	6,151	Valor
2	1	Valor	Valor	0	6,151	Valor
				-1	0	Valor
3	1	Valor	Valor	-1	0	Valor
				0	0	Valor
4	0	-	-	0	0	Valor
				0	0	Valor
5	0	-	-	0	0	Valor
				0	0	Valor
6	0	-	-	-1	Valor	Valor
				-1	0	Valor
7	1	Valor	Valor			
				0	0	Valor

Estado do Poço

-1 } Condição ruim

2 } Condição ruim

1 Condição boa

Pré-Condição

1 Não atende a pré-condição

1 Condição atendida

Operação repetida

Sem justificativa lógica

Com justificativa lógica

Drift do poço (4): a operação n° 3 (Troca de Fluido do *riser* pela água do mar) e a operação n° 7 (Troca de fluido da água do mar pelo fluido de perfuração) também foram apontadas pela metodologia, sendo que na existência de um tampão mecânico no poço (BPR), só é possível trocar o fluido acima do tampão, pois este impede a passagem da coluna de trabalho até o fundo do poço.

Discussão de resultados

No primeiro estudo de caso foi possível observar que a metodologia apontou claramente problemas na sequência operacional. Os problemas consistiram nos seguintes fatores externos: condição de limpeza (revestimento e fluido do poço) e na compatibilidade do equipamento com as condições do poço (drift do poço). As condições apontadas devem ser atendidas para evitar riscos operacionais na sequência operacional.

Existem muitas operações que se repetiram sem justificativa coerente. Este problema pode implicar no prolongamento da sequência operacional, ou até mesmo na sua falha. Quando a operação se repete, existe a necessidade de reavaliar o planejamento, e observar se existe a possibilidade de realizar em uma ordem mais apropriada, que resulte apenas uma vez a realização da operação.

5.2. Estudo de Caso 2

A lista da sequência operacional está na Tabela C.3 do Apêndice C.

Operações que se repetiram:

Operação n° 3 - Troca de Fluido da água do mar pelo fluido de perfuração.

Justificativa: operação desnecessária

Poderia realizar a operação de “Condicionamento de revestimento” em seguida do “Teste de estanqueidade”, e na sequência, já poderia trocar o fluido existente no poço pelo fluido de completção. Deste modo, a adição de mais uma operação de “Troca de fluido” (fluido de perfuração pelo fluido de completção) seria evitada.

Operação n° 4 – Retirada de BOP

Justificativa: operação necessária para a instalação da BAP

Operação n° 21- Retirada de BOP

Justificativa: operação necessária para a instalação da ANM.

Operação n° 10 - Troca de Fluido de perfuração pelo fluido de completção

Justificativa: operação necessária

Operação realizada para obedecer a pré-condição da perfilagem. Porém, a operação de perfilagem poderia ser feita antes de sujar o fluido do poço com a operação de condicionamento do revestimento.

Condição de Limpeza (3):

Fluido do poço (3a): em seguida da operação de canhoneio (operação n° 12), três operações podem ser comprometidas. Os debrís e sólidos em geral podem impedir a retirada ou o assentamento destes equipamentos. As operações que podem ser comprometidas são:

- Retirada de bucha de desgaste (operação n° 13)
- Montagem e descida de coluna definitiva (operação n° 16)
- Retirada de objeto arame de TH/ANM (operação n° 23)

Revestimento (3b): pode existir o comprometimento em realizar a operação n° 2 (Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico – BPR), já que não foi realizada nenhuma operação após a cimentação do *liner* que garanta a condição de limpeza do revestimento.

Na Tabela 5.4, as condições de limpeza do poço desde a operação n° 20 até a operação n° 22 são apresentadas. Podemos observar nesta tabela, que a metodologia apontou uma devida atenção na condição de limpeza da conexão do equipamento.

Tabela 5.4: Estudo de Caso 2 (Condição de limpeza)

Análise da Sequência						
N° da oper.	Pré-condição			Estado do poço		
	3a	3b	3c	3a	3b	3c
20				-1	1	1
	0	0	1	-1	1	1
				-1	1	1
21				-1	1	1
	0	0	1	-1	1	2
				-1	1	2
22				-1	1	2
	0	0	1	-1	1	2
				-1	1	2

Estado do Poço

-1
2 } Condição ruim

1 Condição boa

Pré-Condição

1 Não atende a pré-condição

1 Condição atendida

Operação repetida

Sem justificativa lógica

Com justificativa lógica

Conexão (3a): foi realizada a operação n° 22 (Instalação da ANM) sem realizar o jateamento da conexão da BAP para garantir a limpeza da conexão (Tabela 5.4).

Drift do poço (4): a operação n° 3 (Troca de fluido do *riser* pela água do mar) foi indicada pela metodologia, pois na existência de um tampão mecânico no poço (BPR), só é possível

trocar o fluido acima do tampão, pois este impede a passagem da coluna de trabalho até o fundo do poço.

Discussão de resultados

No segundo caso, a metodologia também apontou problemas na sequência operacional. Este caso apresentou problemas nos mesmos fatores externos que o primeiro caso: condição de limpeza e na compatibilidade do equipamento com as condições do poço (drift do poço). Porém, além de problemas relacionados com o revestimento e fluido do poço, também foram mostrados problemas com a conexão de equipamentos do poço. Esta situação ocorreu devida a instalação da ANM sem realizar o jateamento da conexão da BAP. Além disso, foi observado também problemas quanto à passagem da coluna de trabalho em relação ao drift do poço, pois este foi tamponado pelo BPR.

5.3. Estudo de Caso 3

A lista da sequência operacional está na Tabela C.4 do Apêndice C.

Operações que se repetiram

Operação n° 6 – Retirada de BOP

Justificativa: operação necessária para a instalação da BAP

Operação n° 23 - Retirada de BOP

Justificativa: operação necessária para a instalação da ANM

Operação n° 30 – Teste de Produção

Justificativa: operação necessária

Teste realizado para analisar o nível de dano da formação com o objetivo de dimensionar o volume de ácido para a operação de acidificação de matriz.

Operação n° 30 – Teste de Produção simplificado

Justificativa: operação necessária

É um teste com uma duração menor, não sendo necessário realizar a limpeza e efetuar a estática, no qual o objetivo é observar o fluxo da produção. Esta operação foi necessária para avaliar o resultado da operação de acidificação de matriz observando a sua eficiência na remoção de dano.

Observações relevantes

Operação n° 1 – Teste de Estanqueidade

Foi realizada para garantir a estanqueidade da cimentação do *liner* e do próprio *liner*, pressurizando fluido no interior do poço certificando de que não há vazamento. Além disso, foi fechada uma gaveta do BOP durante o teste para testar sua integridade e garantir que esta gaveta pode fechar a passagem do poço (integridade da barreira de segurança). Esta operação permitiu que não fosse necessário realizar a operação “Teste de BOP” por completa (teste de todas as gavetas).

Discussão de resultados

O terceiro estudo de caso foi o único que apresentou uma sequência operacional correta segundo a metodologia. Todas as pré-condições foram atendidas pelos *ouputs* das operações anteriores. As operações repetidas da sequência demonstraram justificativa lógica para serem realizadas novamente. Foi possível observar uma melhoria do tempo deste caso, pois não houve a realização de operações desnecessárias. As operações “Teste de produção” e “Retirada de BOP” tiveram justificativa lógica para serem realizadas novamente.

No Apêndice B, foi realizado o esquema ilustrativo da sequência operacional do terceiro caso. As figuras complementam no entendimento dos procedimentos e das consequências das operações sobre as condições do poço. Ainda, são ilustrados os CSBs independentes presentes em cada operação. Além disso, são apresentadas tabelas que mapeiam as barreiras de segurança em relação aos seus caminhos e os CSBs que se constituem.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo criar uma metodologia para verificar sequências operacionais de completção, gerando resultados que mostraram a eficiência da metodologia. Os resultados dos estudos de caso propostos destacaram as operações que não se adequaram à determinada sequência, apontando claramente a restrição violada durante o planejamento.

Dos três casos de sequências operacionais apresentados no trabalho, dois demonstraram problemas operacionais com as interdependências mapeadas, segundo a metodologia, e um caso verificou que a sequência estava correta, obedecendo as restrições impostas pela metodologia. Ainda, pode-se observar uma melhoria do tempo da sequência operacional do terceiro caso, pois neste não foram observadas operações desnecessárias. Além disso, poucas operações se repetiram, sendo que estas tiveram justificativas lógicas para serem realizadas novamente.

Foi possível observar que as operações possuem um grande nível de interdependência entre elas, devido ao poder de impacto das operações sobre as condições do estado do poço. Um dos principais pontos que desencadearam a compreensão do presente estudo foi a identificação das cinco dimensões importantes no planejamento de completção de poços, que permitiu a análise das interdependências entre as operações, sendo elas: conjunto solidário de barreiras, contato do poço com a formação, condições de limpeza do poço, compatibilidade do diâmetro do poço e compatibilidade dos esforços realizados no poço.

O entendimento da metodologia é simples, pois apenas a criação de três funções do sistema (*output*, *input* e pré-condição) possibilitou relacionar os impactos das operações com as condições necessárias do poço para a sua execução. Além disso, foi realizado o mapeamento das interdependências das dimensões analisadas para cada operação através de codificações, sendo que os valores estabelecidos ajudaram na lógica da relação entre as funções do sistema. Para facilitar ainda mais o entendimento, um esquema de cores com diferentes tipos de interpretações foi estabelecido para auxiliar o monitoramento da sequência operacional.

Conclui-se, ainda, que a implementação do mapeamento das interdependências e da metodologia em um programa resultou em uma ferramenta que auxilia o projetista, apontando as inconsistências do planejamento. Além disso, a ferramenta permite uma percepção visual dos problemas operacionais da sequência analisada.

Para futuros trabalhos, a prática da metodologia de verificação do planejamento de uma sequência operacional pode ser implementada em um programa de otimização de processos. Este programa deverá armazenar todas as informações do banco de dados, junto com a metodologia, e apresentar o melhor resultado de planejamento da sequência operacional a partir de determinada operação. Consequentemente, o resultado pode vir a reduzir ainda mais o tempo da fase de completção do poço.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: **Portaria ANP N° 25**. 2002.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: **Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP)**, 2015.

AHMAN, J. **Analysis of interdependencies within the firefighting function on an offshore platform**. Lund University, Lund, Sweden, 2013.

ALENCAR, W. **Gestão de processos, riscos, controles e indicadores**. Acessado em 17 de maio de 2017. Disponível em < <http://www.produtividademaxima.com/sobre/>>

American Petroleum Institute: API STANDARD 65 – Parte 2. **Isolating Potential Flow Zones during Well Construction**. 2° edição, dezembro de 2010, Washington, EUA.

American Petroleum Institute: Recommended Practice 53. **Recommended Practices for Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells**. 3° edição (API RP 53, março de 1997, reafirmado em setembro de 2004) Washington, EUA.

American Petroleum Institute: Recommended Practice 96. **Deepwater Well Design and Construction**. 1° edição (API RP 96, março de 2013), Washington, EUA.

BAKER. **Packer Systems Catalog**. 2012. Disponível em: <<http://www.bakerhughes.com/news-and-media/resources/brochures>>. Acessado em: 5 de abril de 2016.

BELLARBY, J. **Well Completion Design**. Editora Elsevier. SPE, Aberdeen, UK, 2009, 711 p.

COLOQUHOUN, G. J.; BAINES, R. W.; CROSSLEY, R. **A state of art review of IDEF0**. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 6, n. 4, p. 252-264, 1993.

CORRÊA, Karlos E. S; GONÇALVES, Rafael; LIMA, Renato da S; ALMEIDA, Dagoberto A. de. Mapeamento do Processo de Fornecimento em uma Rede de Supermercados. XXV ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, RS Nov 2005.

Disponível em:

<<http://hermes.ucs.br/carvi/cent/dpei/odgracio/ensino/Gestao%20Estrategica%20Custos%20Unisc%202005/Artigos/Artigos%20ENEGEP%202005/Mapeamento%20do%20processo%20de%20fornecimento%20em%20uma%20rede%20de.pdf>> Acessado em: 14 de maio de 2017.

DAFT, Richard L. **Teoria e Projeto das Organizações**. Rio de Janeiro: LTC, 6ª ed., 1999.

DEOLINDO, V. **Planejamento Estratégico em Comarca do Poder Judiciário**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Poder Judiciário da FGV Direito Rio), Porto Alegre, 2011.

DIRICKSON, Y. M. R. **Metodologia de Análise de Impacto em Segurança Crítica da Automação das Tarefas do Controlador de Tráfego Aéreo da Torre de Controle de Aeródromo**. São Paulo, 2016, 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DOF GROUP BRAZIL. **Capital Markets**, 2012. Disponível em: <http://www.dof.no/Files//Filer/DOF/PDF/presentation/Q1Q4%202012/3.DOFS_Brazil_CM D2012_Eto.pdf>. Acessado em: 12 de fevereiro de 2016

DUNN-NORMAN, S.; PEDEN, J. M. **A Computational Model of Well Completion Design**. In: Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers. 2-5 de outubro de 1988, Houston, TX, SPE 18183.

FERNÁNDEZ, E. F. Y.; JUNIOR, O. A. P.; PINHO, A. C. (Organizadores) **Dicionário de petróleo em língua portuguesa**. Editora Lexikon. Rio de Janeiro, 2009.

FMC. **Tubing Heads**. Disponível em:

<<http://www.fmcmeasurementsolutions.com/en/SurfaceWellhead/Technologies/ConventionalWellhead/TubingHeads.aspx>>. Acessado em: 5 de maio de 2016.

GARCIA, J. E. L. **A completção de poços no mar**. Petrobras, Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos Norte-Nordeste. Versão 3, 1997.

HALLIBURTON. **Drillable Service Tools**. Disponível em: <http://www.halliburton.com/public/tttcp/contents/Books_and_Catalogs/web/ServiceTools/H03280_03_Drillable_Tools.pdf>. Acessado em: 6 de março de 2016.

HALLIBURTON. **Retrievable Service Tools**. Disponível em: <<http://www.halliburton.com/en-US/ps/service-tools/retrievable-Packers-tools/default.page?node-id=hgoxc0th>>. Acessado em: 6 de março de 2016

HERRERA, I. A. & WOLTJER, R. **Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis**. Taylor & Francis Group, Londres, 2009.

HOLLNAGEL, E. **Capturing an Uncertain Future: The Functional Resonance Accident Model**. In: EUROCONTROL SAFETY R&D SEMINAR, 2527, outubro de 2006, Barcelona, Espanha.

HOLLNAGEL, E. **Barrier analysis and accident prevention**. Aldershot, UK: Ashgate, 2004

HOLLNAGEL, E. **The Functional Resonance Accident Model and the Functional Resonance Analysis Method**. École des Mines de Paris: Centre for Research on Risk and Crises (CRC) Sophia Antipol.is, França, 2008

HOLLNAGEL, E.; SPEZIALI, J. **Study on Developments in Accident Investigation Methods: A Survey of the “State-of-the-Art”**. Ski Report 2008:50, janeiro de 2008, 45p.

IADC. **Oil and Gas Drilling Lexicon Glossary**. Disponível em: <<http://www.iadclexicon.org>>. Acessado em: 7 de julho de 2016.

IDEF0. **Integration Definition for Function Modelling**, FIPS Publication 183, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1993.

KINGSA. **Tree cap**. Disponível em: <<http://www.kingsa.com/products/wellhead-components/tree-caps/>>. Acessado em: 5 de julho de 2016.

LEVESON, N. **A new accident model for engineering safer systems**. Safety Science, v. 42, n. 4, p. 237 –270, abr. 2004.

LEVESON, N. **Engineering a Safer World**. 1. ed. Cambridge: Library of Congress, 2011. p. 555

LIU, Y.; WANG, L.; YAN, Y. **Biodiesel synthesis combining pre-esterification with alkali catalyzed process from rapeseed oil deodorizer distillate**. Fuel Processing Technology, v. 90, n.7, p. 857-862, 2009.

LUGER, G. F. **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving**. 6º edição. Editora Pearson. University of New Mexico, 7 de março de 2008, 784 p.

MCCARTHY, J.; Hayes, P.J. **Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence**. In Meltzer and Michie, 1969.

MCCARTHY, J. **Circumscription – A form of non-monotonic reasoning**. Artificial Intelligence, 13, 1980.

MELO, I. S. **Administração de sistemas de informação**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

MICHEL, E. M. C. **Mineração, estruturação e disseminação de conhecimento especializado em engenharia de petróleo**. 3 de novembro de 2015, 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo), Universidade Estadual de Campinas.

MIGUEL, P. A. C; FLEURY, A.; et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2º edição. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2012. 280 p.

MIURA, K.; SMIDERLE, L.G. S.M.; GOMES, R. B.; TRINDADE, C. S.; LINHARES F. A. S.; **Simulador de Barreira de Segurança Operacional**, 1996, Rio de Janeiro, I ENCONTRO TÉCNICO SOBRE A INFORMÁTICA NA ENGENHARIA DE POÇO. PETROBRAS S.A., 3 a 7/nov/1996, 4p.

MIURA, K. **Ontologia da Construção e Reparo de Poços Marítimos**. 30 de outubro de 2004, 489 f. Apêndice da tese de Doutorado (Doutorado em Ciências e Engenharia de Petróleo), Universidade Estadual de Campinas.

MIURA, K. **Um estudo sobre a segurança operacional na construção de poços marítimos de petróleo**. Dezembro de 2004, 710 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Petróleo), Universidade Estadual de Campinas.

MIURA, K. **Um Método para Aquisição e Representação de Conhecimento sobre Procedimentos Operacionais em Serviço de Completação de Poços Marítimos**. Janeiro de 1992, 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo), Universidade Estadual de Campinas.

NORSOK D-010 (2013) NORSOK Standard, **“D-010: Well integrity in drilling and well operations”**. D010, Rev. 4, Oslo, Norway, Norwegian technology Standards Institution, junho de 2013, 224 p.

PEDEN, J.M. **Rationality in Completion Design and Equipment Selection in North Sea**. In: SPE EUROPEAN PETROLEUM CONFERENCE. Outubro de 1986, Londres, SPE 15887.

PEDROSA, O. A. J.; FERNÁNDEZ, E. F.; PINHO, A. C. **Dicionário de Petróleo em língua portuguesa**. Editora Lexikon, dezembro de 2009, 656 p.

PERROW, C. **Normal accidents: Living with high risk technologies**. New York: Basic Books, Inc. 1984.

RASMUSSEN, J. **Risk management in dynamic society: a modelling problem**. Safety Science, v. 27, n 2-3, p. 183-213, nov. 1997.

REASON, J. **Human Error**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1990. ISBN 978-0-521-31419-0

REASON, J. **Human error: models and management**. Artigo em BMJ, UK, 2000.

REASON, J. HOLLNAGEL, E. PARIES, J. **Revisiting the “Swiss cheese” model of accidents**. EEC Note No. 13/06. Brétigny-sur-Orge, France, 2006.

ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. **Projeto de Poços de Petróleo: Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimentos**. Editora Interciência. 2007, 511 p.

SANTAREM, A. C. **Análise de sistemas de elevação artificial por injeção de nitrogênio para surgência de poços de produção**. Fevereiro de 2009, 51 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Petróleo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary, 1998. Disponível em: <<http://www.glossary.oilfield.slb.com>>. Acessado em: 27 de março de 2016.

SLAVUTZKI, L. C. **Metodologia para avaliação e classificação de causas de acidentes de trabalho**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Produção)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

THOMAS, J. E. (Organizador) **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Editora Interciência. 2º edição, 2004, 272 p.

UNDERWOOD, P. WATERSON, P. **The human factors analysis and classification system**. Loughborough University, 2013.

UNDERWOOD, P. WATERSON, P. **Systems thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis**: A comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models. Accident Analysis and Prevention, v. 68, p.75-94, jul. 2014.

WEATHERFORD. **OMNIWELL PRODUCTION AND RESERVOIR MONITORING**. Disponível em: < <http://www.weatherford.com/en/products-services/production/production-and-reservoir-monitoring>>. Acessado em: 30 de março de 2016.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Lean Seis Sigma**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

APÊNDICE A MAPEAMENTO (INTERDEPENDÊNCIAS)

Neste apêndice, foram mapeados os 33 tipos de informações citadas no capítulo 4.3 em formato de tabela, sendo 15 pré-condições e 18 *Outputs* de todas as operações listadas no APÊNDICE C. Para ajudar no entendimento de cada operação, foram descritos também o objetivo e o princípio de funcionamento de modo sucinto. É importante salientar que o mapeamento das interdependências foi consultado por um especialista da área.

Condição Inicial do Poço

Tabela A.1: Condição Inicial

<i>Output</i>																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
1	1	7	2	0	-1	-1	-	6.151	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

A condição inicial é o estado do poço no momento em que foi finalizada a fase de perfuração para iniciar a fase de completção. O *liner* acabou de ser instalado e cimentado.

Operação n° 1 - Abertura de válvula de segurança DHSV

Tabela A.2: Abertura de válvula de segurança DHSV

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	-1c1	0	0	0	0	1	Valor	Valor	-	-	-	-	-	-	-	-

Esta operação tem como objetivo abrir a válvula de segurança da subsuperfície controlada na superfície para permitir a comunicação acima e abaixo deste equipamento no caminho da coluna de produção. Para realizar esta operação é necessário pressurizar a linha de controle da válvula de segurança. Existem casos em que a válvula possui mais de uma linha de controle por redundância.

Operação n° 2 - Acidificação de matriz *bull head* (HCl) pela coluna

Tabela A.3: Acidificação de matriz *bull head* (HCl) pela coluna

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
-1	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tratamento químico feito na formação para aumento da permeabilidade original, por meio da injeção de uma solução ácida (HCL), de forma a dissolver compostos inorgânicos presentes na matriz da rocha. Esta operação desloca a solução ácida por dentro da coluna, podendo danificá-la, assim como os demais equipamentos. Por isso, a solução deve ser dimensionada para que aconteça a reação química apenas em contato com o reservatório.

Operação n° 3 - Acidificação de matriz *bull head* (HCl) com flexitubo

Tabela A.4: Acidificação de matriz *bull head* (HCl) com flexitubo

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
-1	0	0	0	1	Valor	Valor	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Esta operação possui o mesmo objetivo que a operação n° 2, diferenciando apenas no modo em que o ácido é deslocado até o reservatório. Nesta operação, o ácido é deslocado através da unidade de flexitubo.

Operação n° 4 - Assentamento de objeto arame em TH/ANM

Tabela A.5: Operação n° 4 - Assentamento de objeto arame em TH/ANM

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	1	1	Valor	Valor	1	Valor	0	-	0	-	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c2	0	0	0	0	-1	0	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

Um *plug* interno é instalado no alojador do *tubing hanger* com a finalidade de isolar o poço e garantir sua vedação.

**Operação n° 5 - Assentamento de *Packer* e cauda de produção (*Packer* permanente)
+ Teste de *Packer* (aplicação de peso) + STV**

Tabela A.6: Assentamento de *Packer* e cauda de produção (*Packer* permanente) + Teste de *Packer* (aplicação de peso) + STV

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	1	0	1	Valor	Valor	1	Valor	0	-	0	-	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c1	0	0	0	0	-1	0	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

A cauda de produção e o *Packer* são instalados nesta operação. Neste método, o assentamento do *Packer* (permanente) é realizado através de um cabo elétrico, que, quando acionado, detona um explosivo que move a camisa superior para baixo, comprimindo o conjunto contra a camisa retentora. Este movimento expande o elemento de vedação e as cunhas contra o revestimento. Pode ser instalada a *standing valve* travada na cauda para descer junto à cauda de produção.

Operação n° 6 - Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)

Tabela A.7: Operação n° 6 - Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	1	0	1	Valor	Valor	1	Valor	0	-	0	-	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c2	0	0	0	0	-1	0	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

O assentamento deste tampão mecânico deve ser feito no interior do revestimento através de *wireline* para isolar a parte inferior do poço, fornecendo vedação confiável nos dois sentidos.

Operação n° 7 - Balanceio de coluna

Tabela A.8: Balanceio de coluna

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Operação realizada para dimensionar a medida exata da última seção da coluna de produção a ser instalada. Dimensiona a última conexão de *drill pipe* baseando-se na marca efetuada em relação aos dois pontos de referência exatas existente no poço (BAP e *Packer*). Efetua marca para balanceio com o *drill pipe* pintado em frente ao BOP (TSR fechado). Verifica a profundidade até a marca, e faz o balanceio para manter TSR 1,5m aberto. Nesta operação também é realizada a liberação dos pinos do TSR através do seu cisalhamento.

Operação n° 8 - Canhoneio a cabo (*overbalance*)

Tabela A.9: Canhoneio a cabo (*overbalance*)

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	1	Valor	Valor	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
2	0	0	-1	-1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O canhoneio a cabo é realizado em regime *overbalance*, ou seja, a pressão hidrostática do fluido no poço é maior que a do fluido na formação, gerando fluxo neste sentido. Sua corrida é através de um cabo de acionamento elétrico, sendo uma operação mais rápida, podendo carregar grande quantidade de carga moldada e podendo ser disparada num intervalo de até 80 metros. Uma desvantagem desta operação é o elevado dano à formação, sendo que, após o disparo do canhão, os *debris* são varridos em sentido à formação. Esta operação tem como objetivo criar uma passagem entre o poço e a formação.

Operação n° 9 - Combate a perda de circulação

Tabela A.10: Combate a perda de circulação

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
-1	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
1	0	0	0	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

No momento em que foi verificado certo nível de perda de circulação que inviabiliza a continuação da operação, a operação de combate à perda de circulação se torna necessária. Nesta operação, é injetado um fluido para dentro do poço que contenha um tipo de gel ou sólidos em sua concentração com o objetivo de tamponar a região que sofre perda de circulação.

Operação n° 10 - Condicionamento de revestimento

Tabela A.11: Condicionamento de revestimento

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	1	Valor	Valor	0	-	1	Valor	0	-	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	-1	1	0	1	Valor	Valor	-	-	-	-	-	-	-	-

Para realizar a operação de condicionamento de revestimento, é necessário descer a composição de fundo (BHA) no poço com a finalidade de gabaritar o interior do revestimento de produção e *liner* para deixar em condição ideal, permitindo receber os equipamentos necessários. A broca é utilizada para cortar os tampões de cimento e/ou mecânicos, deixados no interior do poço no abandono temporário pela perfuração, bem como restos da cimentação primária. O raspador é uma ferramenta com lâminas retráteis, que desce raspando a parte interna do revestimento de produção, retirando o que foi deixado pela broca.

Operação n° 11 - Conexão/*pull in* de linha de produção

Tabela A.12: Conexão/*pull in* de linha de produção

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nesta operação é realizada a instalação de MCV-P, MCV-A e MCV-U para permitir a continuidade das linhas flexíveis de produção, de anular e linhas hidráulicas e elétricas de controle da ANM com a UEP.

Operação n° 12 - Indução de surgência com N₂

Tabela A.13: Indução de surgência com N₂

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
-1	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
-1	0	0	0	-1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Esta operação tem como objetivo induzir surgência do óleo através da redução da pressão hidrostática do poço. O bombeamento do gás nitrogênio em estado líquido criogênico é realizado através das linhas até o espaço anular, preenchendo ele todo, expulsando o fluido de completação através da comunicação entre o anular e a coluna de produção pelo MGL.

Operação n° 13 - Instalação de ANM

Tabela A.14: - Instalação de ANM

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	1	0	-	-	0	-	0	-	1	Valor	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c2	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nesta operação, é realizada a descida da ANM travada no *Tree Running tool* (TRT) + *Riser* de Completação + umbilical de controle. Após o assentamento e travamento da ANM, são efetuados os testes de acoplamento.

Operação n° 14 - Instalação de BAP

Tabela A.15: Instalação de BAP

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	1	0	-	-	0	-	0	-	1	Valor	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c2	0	0	0	0	-1	Valor	Valor	-	-	-	-	-	-	-	-

A Base Adaptadora de Produção (BAP) é instalada pela Ferramenta de Instalação da BAP (FIBAP) no alojador da SCPS. A BAP vai permitir a instalação do Suspensor de Coluna, da ANM, e dos Módulos de Conexão Vertical. Nesta operação, é instalada a bucha de desgaste junto à BAP.

Operação n° 15 - Instalação de BOP

Tabela A.16: Instalação de BOP

Pré-Condção														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	1	0	-	-	0	-	0	-	1	Valor	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	1	1c2	0	0	0	0	-	-	-	-	Valor	-	-	-	-	-	-

Durante a fase da completção, após o destravamento e a recuperaçõ da FIBAP, o BOP pode ser retornado ao poço, só que desta vez, ele é assentado no alojador da BAP. Assim que instalado e testado, continua a operar como barreira operacional, possibilitando o fechamento do poço através de suas gavetas.

Operação n° 16 - Instalação de suspensor de coluna

Tabela A.17: Instalação de suspensor de coluna

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	1	Valor	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c2	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Este equipamento é instalado no alojador da BAP, no topo da coluna de produção, utilizado para suspender a coluna de produção através da cabeça do poço. O *tubing hanger* deve garantir isolamento hidráulico entre a coluna de produção e o anular. Este equipamento é instalado através do *Tubing Hanger Running tool* (THRT).

Operação n° 17 - Instalação de *tree cap* e *corrosion cap* (ROV)

Tabela A.18: Instalação de *tree cap* e *corrosion cap* (ROV)

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	1	0	-	-	0	-	0	-	1	Valor	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c2	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Atualmente, o equipamento “*corrosion cap*” é solidário à *tree cap*, os quais são descidos juntos ao TRT + *Riser* de Completação, assentando-se a *tree cap* no *Tree Manifold* até o seu travamento. Posteriormente, é realizado um teste do acoplamento destes equipamentos, e em seguida, é destravada e retirada a TRT.

Operação n° 18 - Instalação de válvula de segurança SCSSV em coluna

Tabela A.19: Instalação de válvula de segurança SCSSV em coluna

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-1	Valor	Valor	-	-	-	-	-	-	-	-

O *pup-joint* (tubo curto) da coluna de produção que está localizado logo abaixo do fundo do mar é retirado, em cujo local deve ser instalada a válvula da SCSSV, que por sua vez, deve ser descida aberta com a linha pressurizada.

Operação n° 19 - Jateamento da BAP

Tabela A.20: Jateamento da BAP

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Esta operação pode ser realizada quando o BOP ou a ANM não estão mais conectados na BAP. O acúmulo de detritos no alojador da BAP deve ser removido. Uma das formas de executar esta operação é operar um ROV, que irá esfregar com um escovão o alojador, garantindo a limpeza do alojador. A outra opção é realizada pela Ferramenta de Jateamento (FEJAT).

Operação n° 20 - Jateamento de *housing*

Tabela A.21: Jateamento de *housing*

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Esta operação pode ser realizada quando o BOP ou BAP não estão conectados na cabeça do poço. Este acúmulo de detritos no alojador de alta da cabeça de poço também pode ser removido através dos mesmos procedimentos citados na operação n° 19.

Operação n° 21 - Montagem e descida de coluna definitiva

Tabela A.22: Montagem e descida de coluna definitiva

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	0	0	1	Valor	Valor	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c1	0	0	0	0	-1	Valor	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

A montagem e descida e instalação da coluna definitiva no interior do poço é realizada por várias seções de tubos. Esta operação pode vir a demorar vários dias. Esta coluna será a coluna “propriamente” definitiva durante a vida de produção do poço. A coluna é formada por tubos metálicos, e receberá componentes de subsuperfície necessários à produção e controle do reservatório.

Operação n° 22 - Perfilagem para Verificação de cimentação

Tabela A.23: Perfilagem para Verificação de cimentação

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	0	0	1	Valor	Valor	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O teste de estanqueidade já deve ter assumido a garantia da segurança das operações em relação à cimentação. A operação de perfilagem para verificação da cimentação irá verificar a qualidade da cimentação e garantir de que no final da vida útil do poço produzido (20-30 anos), a cimentação estará com a integridade segura.

Operação n° 23 - Prevenção de hidrato

Tabela A.24: Prevenção de hidrato

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O cenário de poços com lâmina d'água profunda, onde as pressões são altas e temperatura baixas, possuem elevado potencial de formação de hidratos. Deste modo, são adicionados inibidores de hidratos, para prevenir este problema. Nesta operação, são injetados os inibidores pela coluna de produção, até que sejam retornados pela coluna do anular.

Operação n° 24 - Retirada de BOP

Tabela A.25: Retirada de BOP

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	1	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	-1	0	0	0	0	2	-	-	-	-	Valor	-	-	-	-	-	-

O BOP é retirado pela FIBOP para tornar possível o assentamento da BAP no alojador de alta, ou o assentamento da ANM no alojador da BAP. Lembrando que, pelo sistema *dual activity*, este equipamento fica pendurado cerca de 30 metros afastado do poço na torre do lado, ganhando tempo e reduzindo custo.

Operação n° 25 - Retirada de BHA (Camisa TSR)

Tabela A.26: Retirada de BHA (Camisa TSR)

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	1	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nesta operação, é retirada a camisa externa da junta telescópica (parte superior da coluna). A retirada do equipamento é realizada através da sapata guia que se encaixa no mandril, e por parafusos de cisalhamento (para tração ou compressão).

Operação n° 26 - Retirada de *Bridge plug* recuperável

Tabela A.27: Retirada de *Bridge plug* recuperável

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	1	0	0	-	-	1	Valor	0	-	1	Valor	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	-1c2	0	0	0	0	1	Valor	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

O BPR pode ser desassentado e recuperado para a sonda através da ferramenta de recuperação deste equipamento, para prosseguir com as operações que necessitam da passagem livre do poço.

Operação n° 27 - Retirada de bucha de desgaste

Tabela A.28: Retirada de bucha de desgaste

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	0	1	0	-	-	0	-	0	-	1	Valor	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A recuperação da bucha é feita através dos mordentes de recuperação da ferramenta, os quais possuem mola que lhes permitem retrair na entrada da ferramenta na bucha e expandir no perfil interno da mesma. Com a ferramenta devidamente acoplada, aplica-se uma tração rompendo a gaxeta de cisalhamento da bucha de desgaste.

Operação n° 28 - Retirada de objeto arame de coluna (*Standing valve*)

Tabela A.29: Retirada de objeto arame de coluna (*Standing valve*)

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	1	Valor	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

A retirada do *standing valve* do *nipple* para a superfície é realizada através de operação com *slickline* (arame).

Operação n° 29 - Retirada de objeto arame de TH/ANM

Tabela A.30: Retirada de objeto arame de TH/ANM

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	1	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	1	Valor	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	-1c2	0	0	0	0	1	Valor	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

O *plug* no perfil interno do *tubing hanger* é recuperado para a sonda através de operação com arame.

Operação n° 30 - Retirada de *tubing hanger running tool*

Tabela A.31: Retirada de *tubing hanger running tool*

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A ferramenta de instalação do suspensor de coluna de produção é retirada até a superfície, destravando-se o mesmo do suspensor de coluna.

Operação n° 31 - Retirada de *tree running tool*

Tabela A.32: Retirada de *tree running tool*

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Após o destravamento da TRT da ANM, a ferramenta é conduzida até a superfície através de uma coluna de *risers* de completção.

Operação n° 32 - Rompimento de Sub de Pressurização

Tabela A.33: Rompimento de Sub de Pressurização

Pré-Condção														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	1	Valor	1	Valor

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	1	Valor	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor

Ao se pressurizar a coluna, a força atuante na sede faz com que os parafusos cisalhem, fazendo com que o *shear-out ball* caia para o fundo do poço, liberando a passagem pela coluna.

Operação n° 33 - Teste de BOP

Tabela A.34: Teste de BOP

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	-	0	-	0	-	-	-	-	--	Valor	-	-	-	-	-	-

O teste de BOP é realizado para verificar se o equipamento possui condições de operar de forma confiável. Segundo a API RP 53, o BOP não deve passar de 21 dias sem ser testado. Nesta operação, as gavetas são testadas separadamente, fechando-se uma de cada vez, para saber se todas as gavetas estão de forma operante.

Operação n° 34 - Teste de Estanqueidade

Tabela A.35: Teste de Estanqueidade

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	1	Valor	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c1	1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Deve ser a primeira operação a ser realizada na completação, pois é preciso garantir a estanqueidade da cimentação do poço, pressurizando fluido no interior do poço, certificando de que não há vazamento. Esta operação também é utilizada para testar a estanqueidade de equipamentos, necessitando da utilização de um tampão mecânico para poder realizar o teste.

Operação n° 35 - Teste de produção

Tabela A.36: Teste de produção

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
-1	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Teste realizado com o objetivo de medir a vazão e definir as características dos fluidos produzidos.

Operação n° 36 - Teste de Produção simplificado

Tabela A.37: Teste de Produção simplificado

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
-1	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Esta operação também é um teste de produção, porém, com uma duração menor, de modo que não seja necessário realizar a limpeza e efetuar a estática, em cujo objetivo seja apenas observar o fluxo da produção.

Operação n° 37 - Teste de válvula de segurança SCSSV

Tabela A.38: Teste de válvula de segurança SCSSV

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	1c1	0	0	0	0	-1	0	Valor	-	Valor	-	-	-	-	-	-

Um teste de fechamento da válvula é realizado para garantir a confiabilidade de segurança deste equipamento, como uma barreira de segurança. Para fechar a válvula é necessário despressurizar a linha de controle. Após a confirmação do fechamento da válvula, pressuriza-se a linha novamente para abrir o mesmo.

Operação n° 38 - Troca de Fluido de poço (FAM) (FC) (FP)

Tabela A.39: Troca de Fluido de poço (FAM) (FC) (FP)

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	1	Valor	Valor	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
0	0	0	0	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bombeia o novo fluido dentro do *drill pipe* ou da coluna de trabalho pela cabeça de injeção até o fundo do poço. O fluido substituirá também as linhas de *choke*, *kill* e *booster line*. À frente deste novo fluido, um colchão viscoso ajudará a empurrar o fluido presente no poço, retornando pelo espaço anular entre a coluna/revestimento e depois coluna/*riser* até atingir os tanques da superfície para o seu tratamento. Esta operação pode ter as seguintes funções: substituir o fluido de perfuração por um fluido de completção; ou substituir o fluido contaminado por um fluido limpo; ou substituir o fluido do poço por um fluido de diferentes propriedades.

Operação n° 39 - Troca de Fluido do *riser* pela água do mar

Tabela A.40: Troca de Fluido do *riser* pela água do mar

Pré-Condição														
2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2 (N)
0	0	0	0	1	Valor	Valor	0	-	0	-	0	-	0	-

Output																	
1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b (pol.)	4c (m)	5a1	5a2 (Pa)	5b1	5b2 (Nm)	5c1	5c2 (N)	5d1	5d2(N)
1	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Troca de fluido de perfuração para água do mar, para evitar a contaminação no fundo do mar, quando realizar a operação da retirada do BOP, visando a segurança do meio ambiente.

APÊNDICE B SEGURANÇA E SEQUÊNCIA OPERACIONAL

Neste Apêndice, para complementar a verificação da sequência operacional, foi feito um esquema ilustrativo demonstrando o estado da condição do poço e os dois conjuntos solidários de barreira de segurança independente após cada operação do terceiro caso. Além disso, para todas as operações da sequência, também foram feitas tabelas para se mapear as barreiras de segurança em relação aos seus caminhos e os CSBs que as compõem. Pode-se observar que o CSB primário é colorido com azul para mostrar que as barreiras que constituem este conjunto fazem parte da linha azul na figura. O CSB secundário é colorido de vermelho para representar as barreiras que fazem parte deste conjunto.

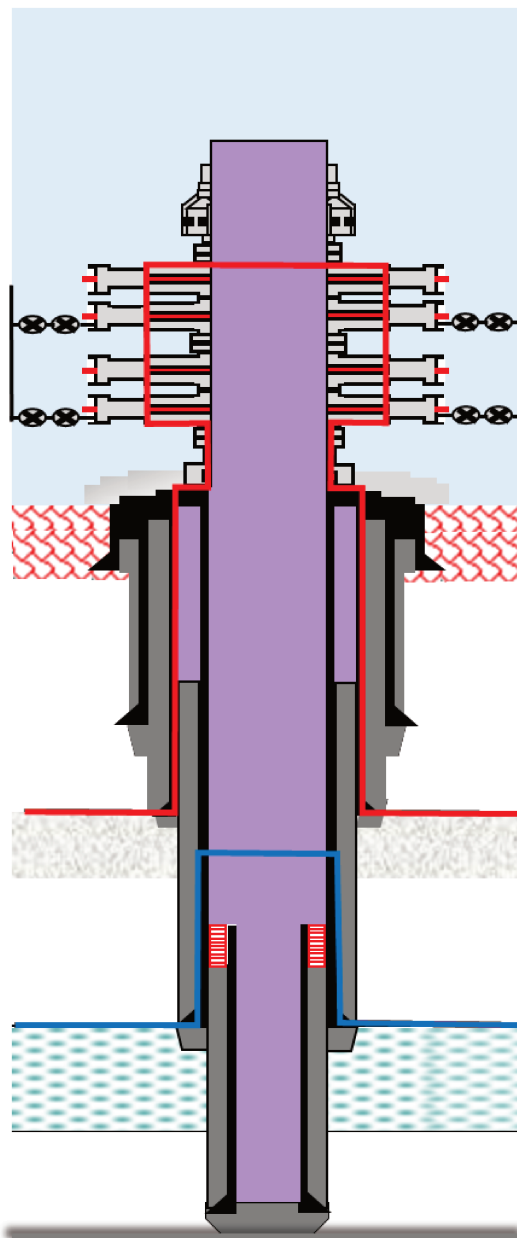


Figura B.1: Condição inicial (elaborado pelo autor).

Tabela B.1: Condição inicial

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do revestimento de produção	Cimentação do revestimento de superfície
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	Revestimento de produção	Revestimento de superfície
ANULAR A	Fluido de perfuração	BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

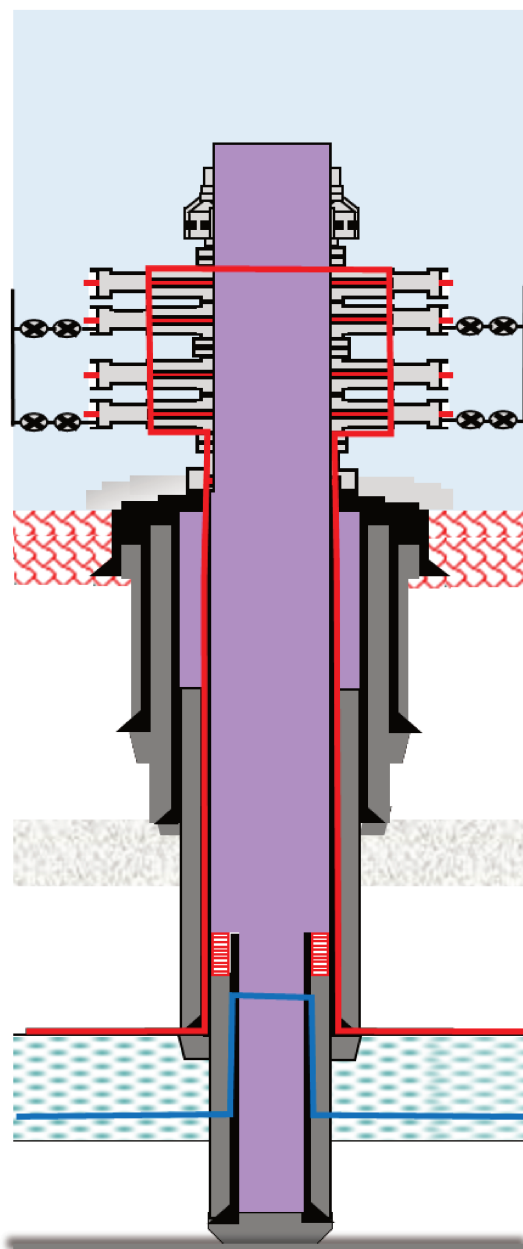


Figura B.2: Operação 1: Teste de Estanqueidade (elaborado pelo autor).

Tabela B.2: Operação 1: Teste de Estanqueidade

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de perfuração	BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

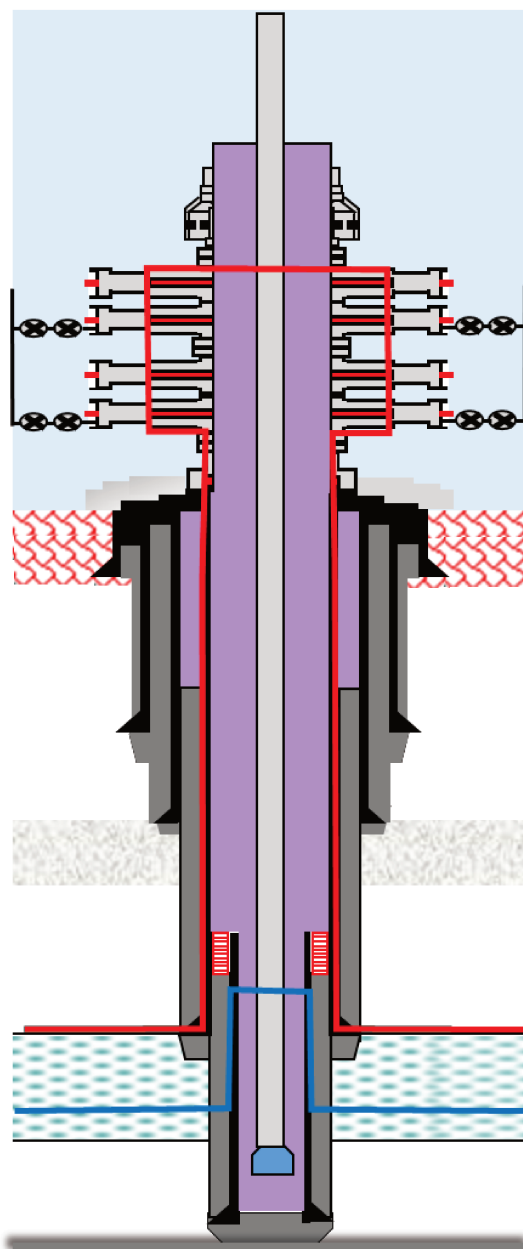


Figura B.3: Operação 2: Condicionamento de revestimento (elaborado pelo autor).

Tabela B.3: Operação 2: Condicionamento de revestimento

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de perfuração	BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

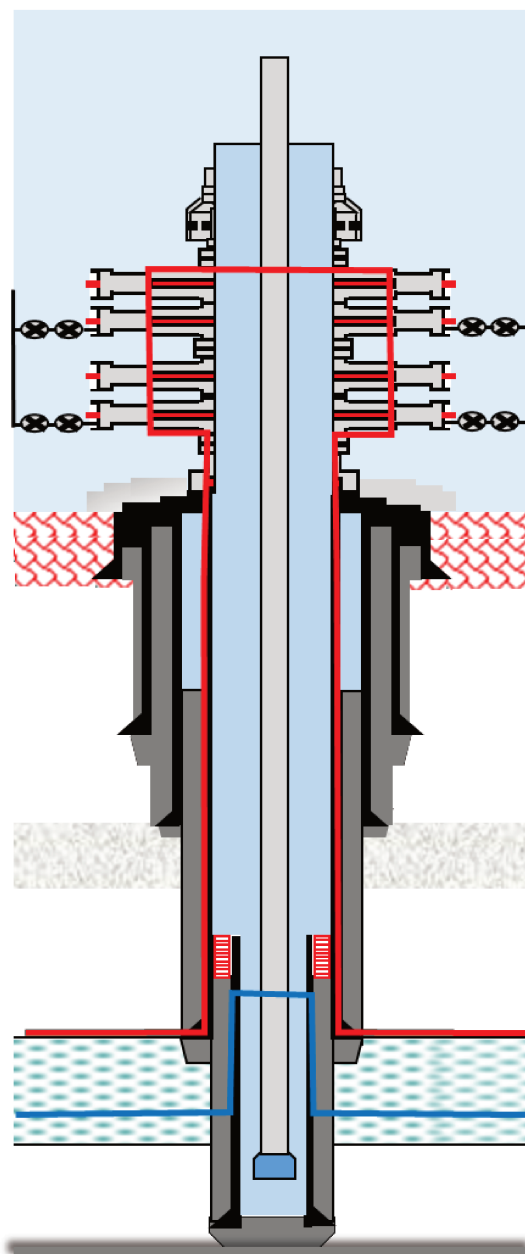


Figura B.4: Operação 3: Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP) (elaborado pelo autor).

Tabela B.4: Operação 3: Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

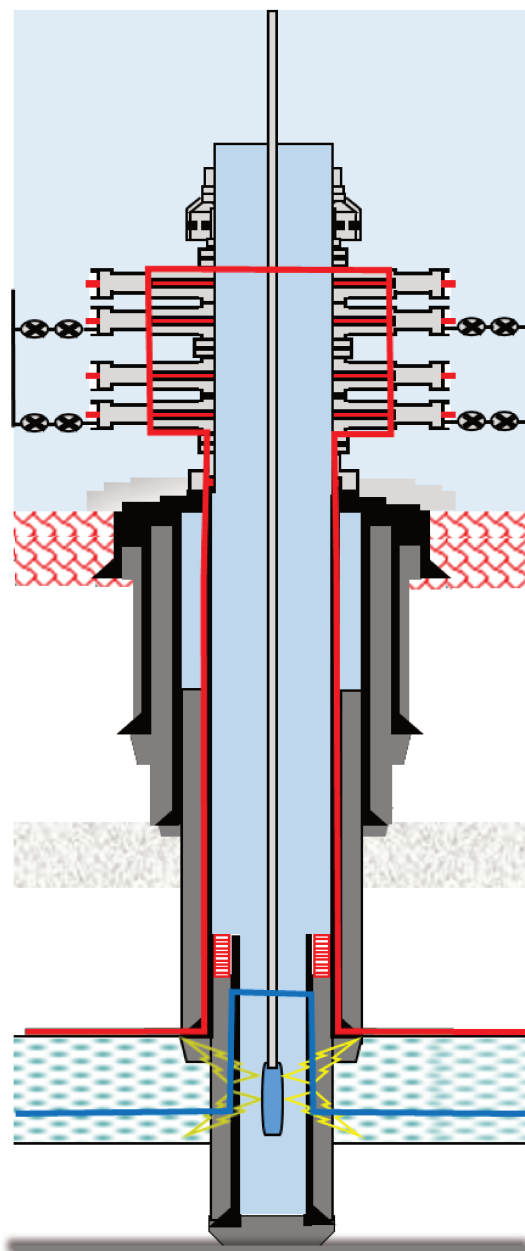


Figura B.5: Operação 4: Perfilagem para Verificação de cimentação (elaborado pelo autor).

Tabela B.5: Operação 4: Perfilagem para Verificação de cimentação

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha caeadora 1	Rocha caeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

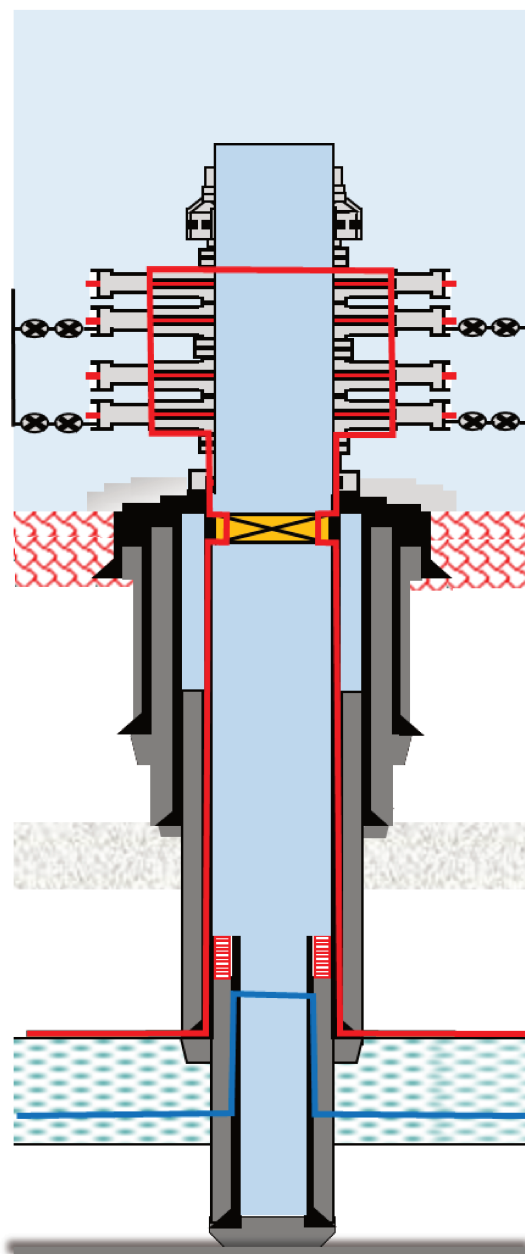


Figura B.6: Operação 5: Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR) (elaborado pelo autor).

Tabela B.6: Operação 5: Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BOP + SCPS + BPR
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

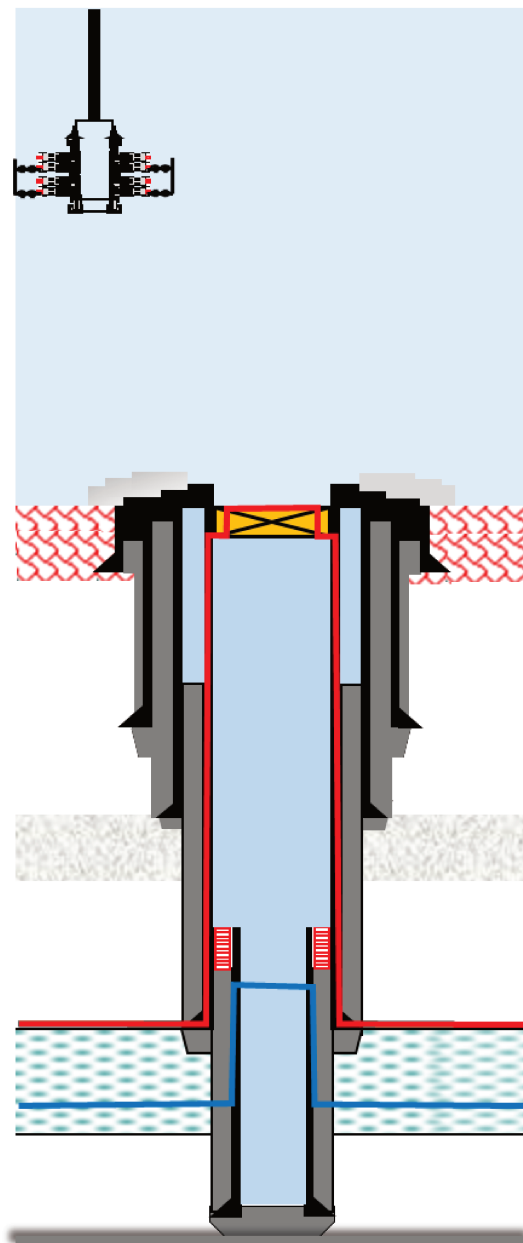


Figura B.7: Operação 6: Retirada de BOP (elaborado pelo autor).

Tabela B.7: Operação 6: Retirada de BOP

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	SCPS + BPR
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

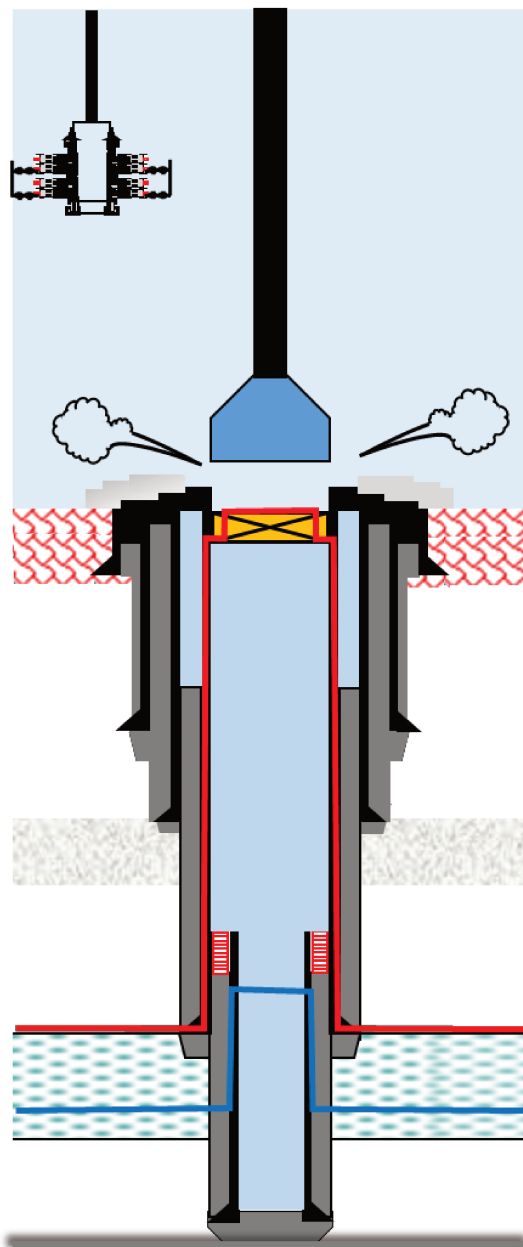


Figura B.8: Operação 7: Jateamento de *housing* (elaborado pelo autor).

Tabela B.8: Operação 7: Jateamento de *housing*

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	SCPS + BPR
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

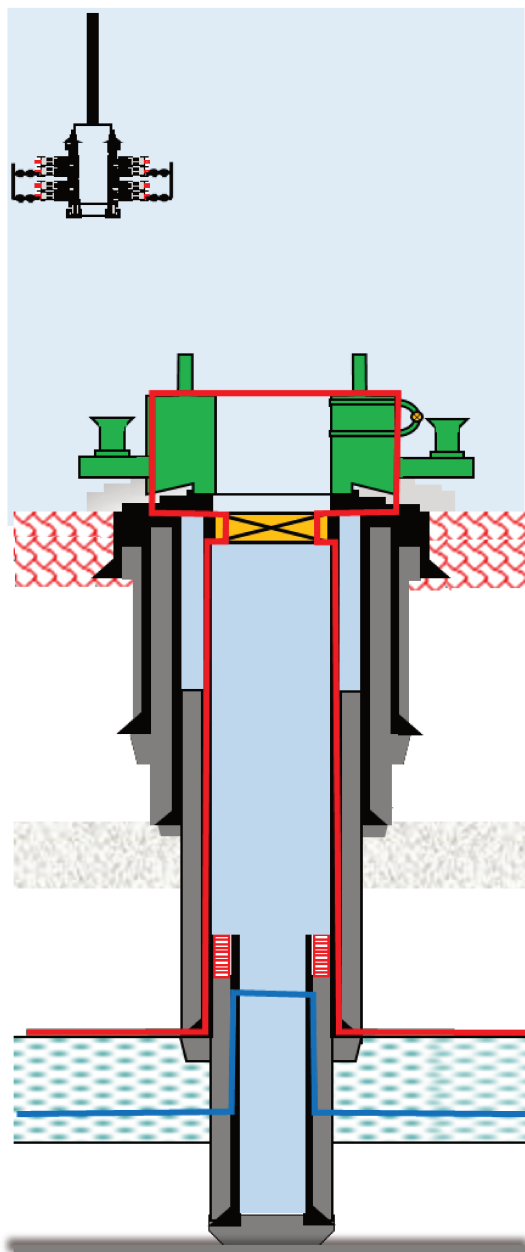


Figura B.9: Operação 8: Instalação de BAP (elaborado pelo autor).

Tabela B.9: Operação 8: Instalação de BAP

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BAP + SCPS + BPR
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

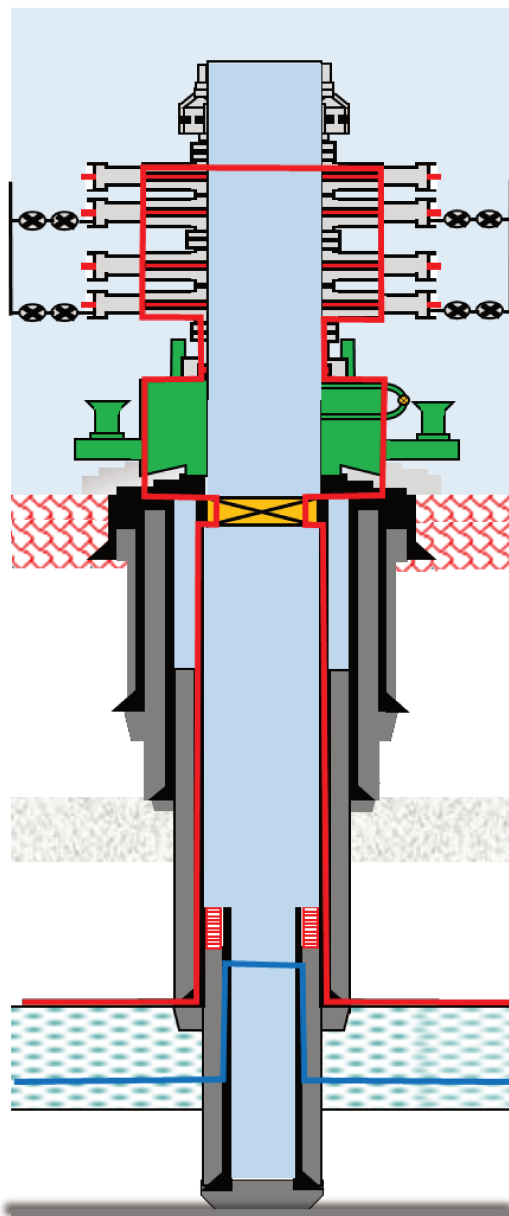


Figura B.10: Operação 9: Instalação de BOP (elaborado pelo autor).

Tabela B.10: Operação 9: Instalação de BOP

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BAP + BOP + SCPS + BPR
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

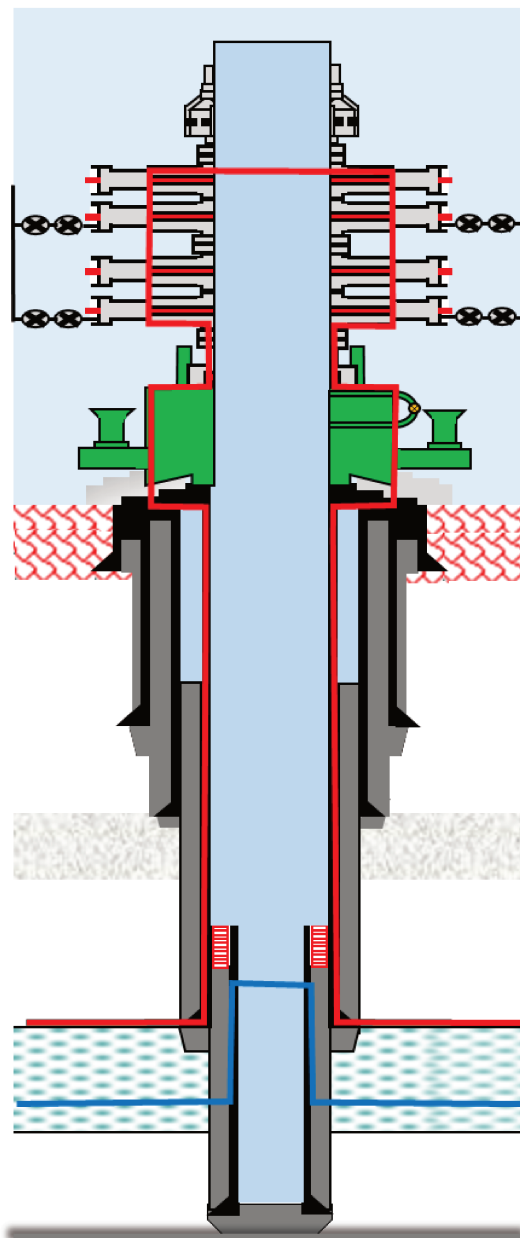


Figura B.11: Operação 10: Retirada de *Bridge plug* recuperável (elaborado pelo autor).

Tabela B.11: Operação 10: Retirada de *Bridge plug* recuperável

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

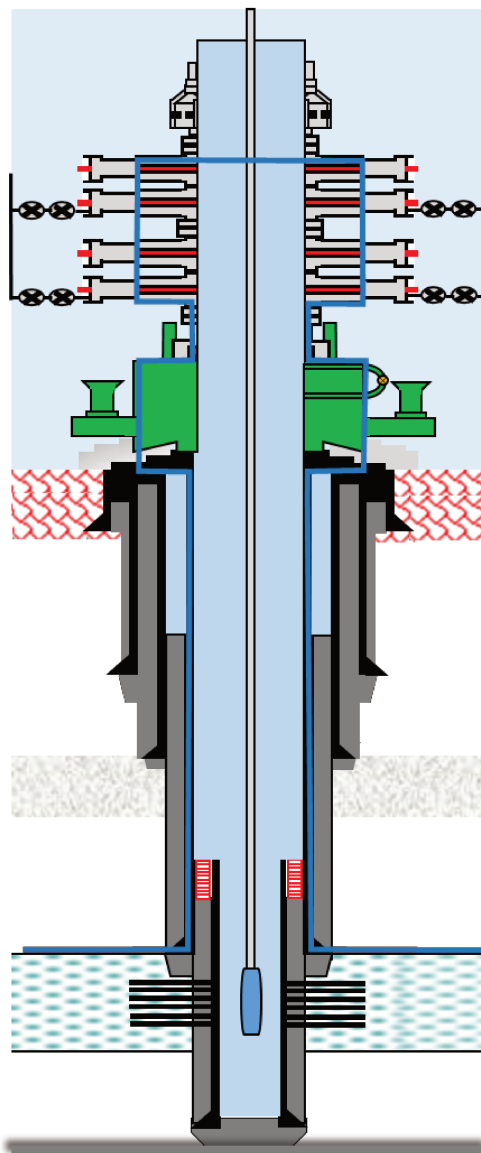


Figura B.12: Operação 11: Canhoneio a cabo “*overbalance*” (elaborado pelo autor).

Tabela B.12: Operação 11: Canhoneio à cabo (*overbalance*)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha caeadora 2	
ANULAR B	Cimentação do revestimento de produção	
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	Revestimento de produção	
ANULAR A	BAP + BOP + SCPS	
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	
COLUNA	-	

Observação: Não se pode contar com o fluido de completação como barreira de segurança após a operação de canhoneio em *overbalance*.

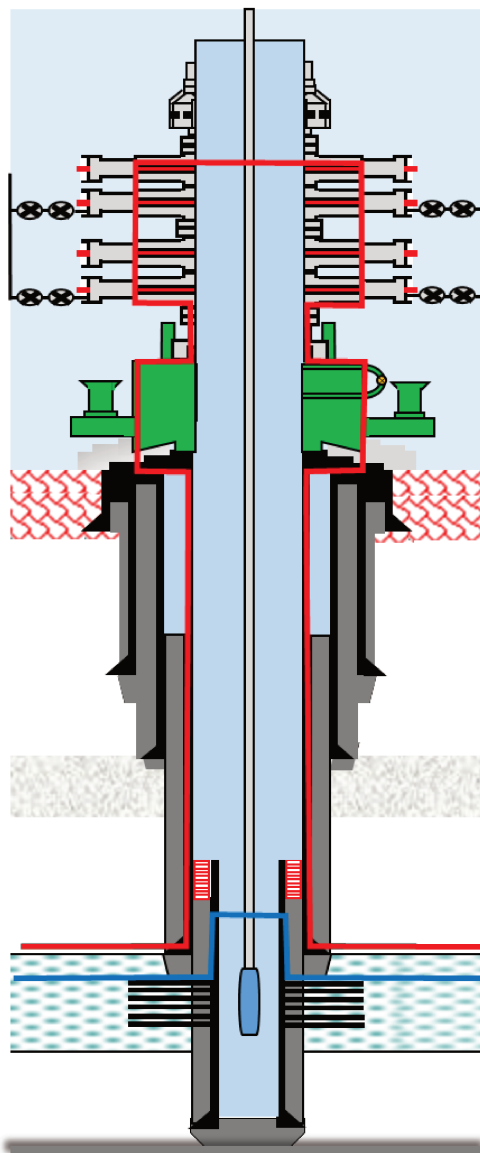


Figura B.13: Operação 12: Combate a perda de circulação - Completar o poço com fluido e verificar seu comportamento (elaborado pelo autor).

Tabela B.13: Operação 12: Combate a perda de circulação (Completar o poço com fluido e verificar seu comportamento)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	Fluido de completação	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	-	-
COLUNA	-	-

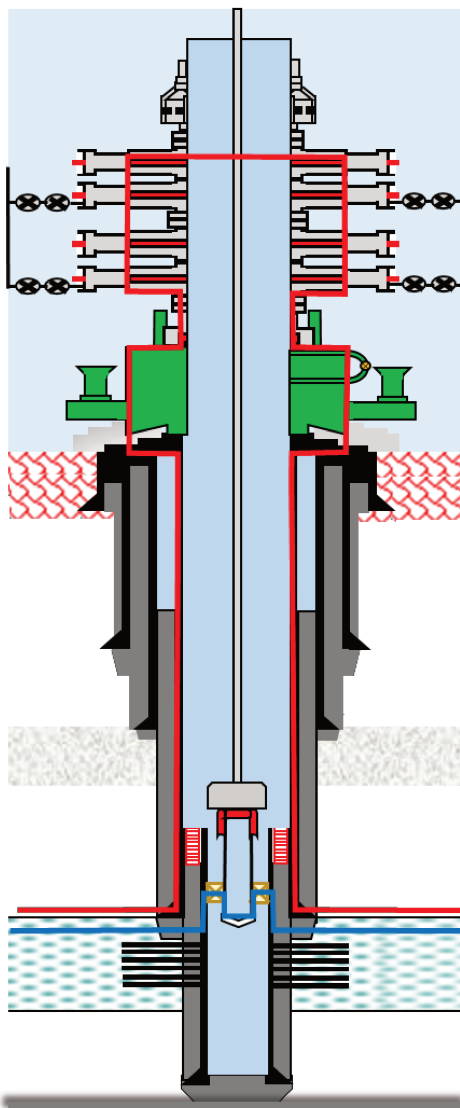


Figura B.14: Operação 13: Assentamento de *Packer* e cauda de produção (*Packer* permanente) + Teste de *Packer* (aplicação de peso) + STV (elaborado pelo autor).

Tabela B.14: Operação 13: Assentamento de *Packer* e cauda de produção (*Packer* permanente) + Teste de *Packer* (aplicação de peso) + STV

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	Cauda de produção	-
COLUNA	Fluido de completação + STV	-

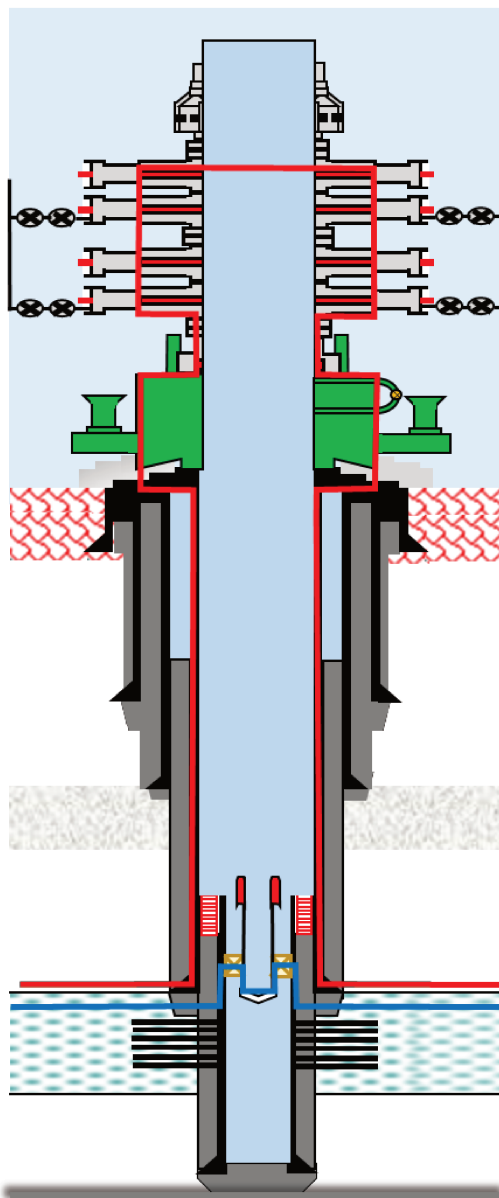


Figura B.15: Operação 14: Retirada de BHA (Camisa TSR) (elaborado pelo autor).

Tabela B.15: Operação 14: Retirada de BHA (Camisa TSR)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	Cauda de produção	-
COLUNA	Fluido de completção + STV	-

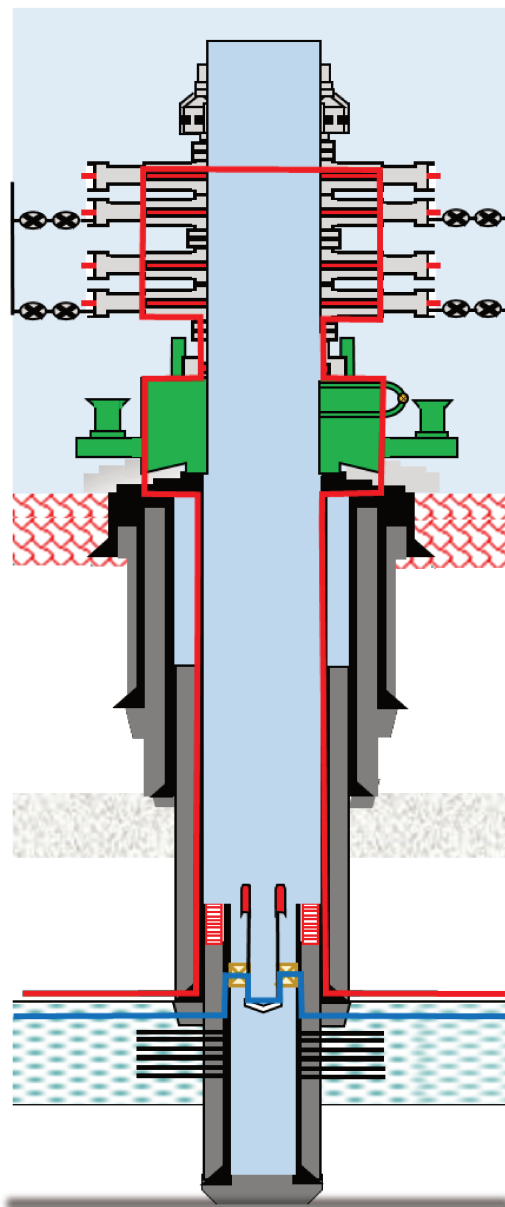


Figura B.16: Operação 15: Retirada de bucha de desgaste (elaborado pelo autor).

Tabela B.16: Operação 15: Retirada de bucha de desgaste

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	Cauda de produção	-
COLUNA	Fluido de completação + STV	-

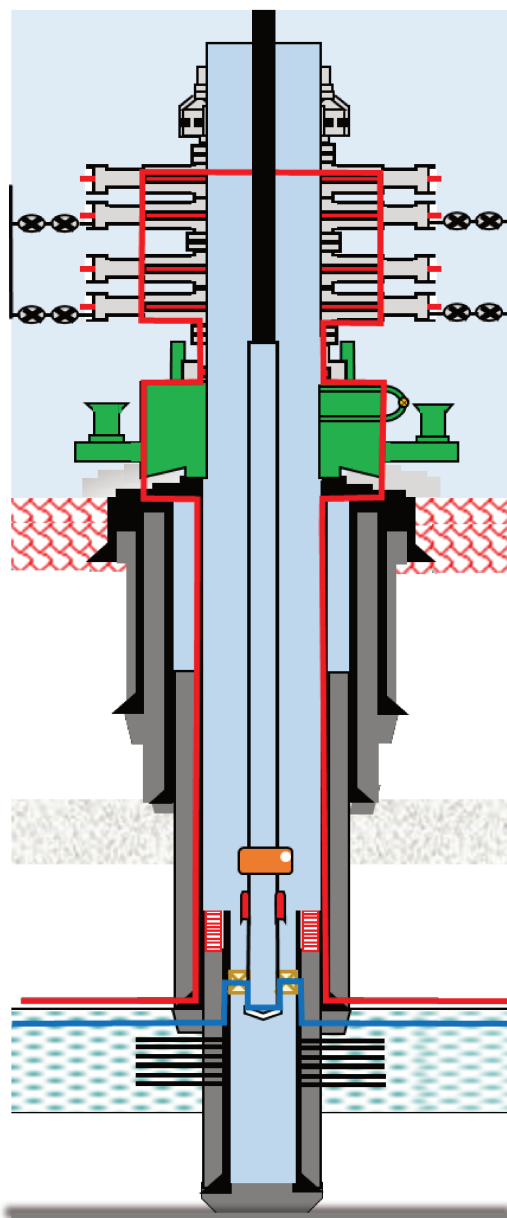


Figura B.17: Operação 16: Montagem e descida de coluna definitiva (elaborado pelo autor).

Tabela B.17: Operação 16: Montagem e descida de coluna definitiva

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + BOP + SCPS
COLUNA	Fluido de completação + STV	BAP + BOP + SCPS

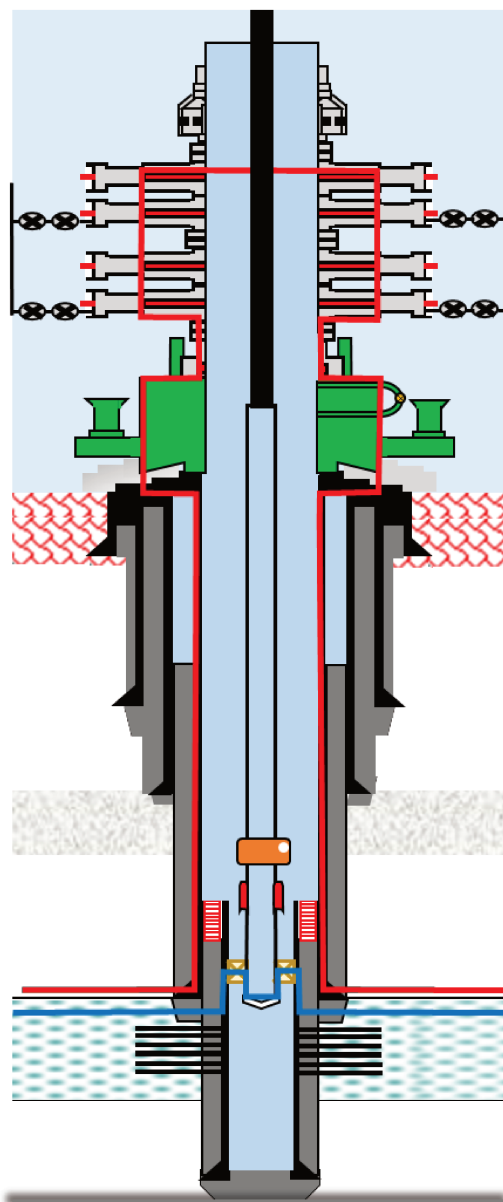


Figura B.18: Operação 17: Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)
(elaborado pelo autor).

Tabela B.18: Operação 17: Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + BOP + SCPS
COLUNA	Fluido de completação + STV	BAP + BOP + SCPS

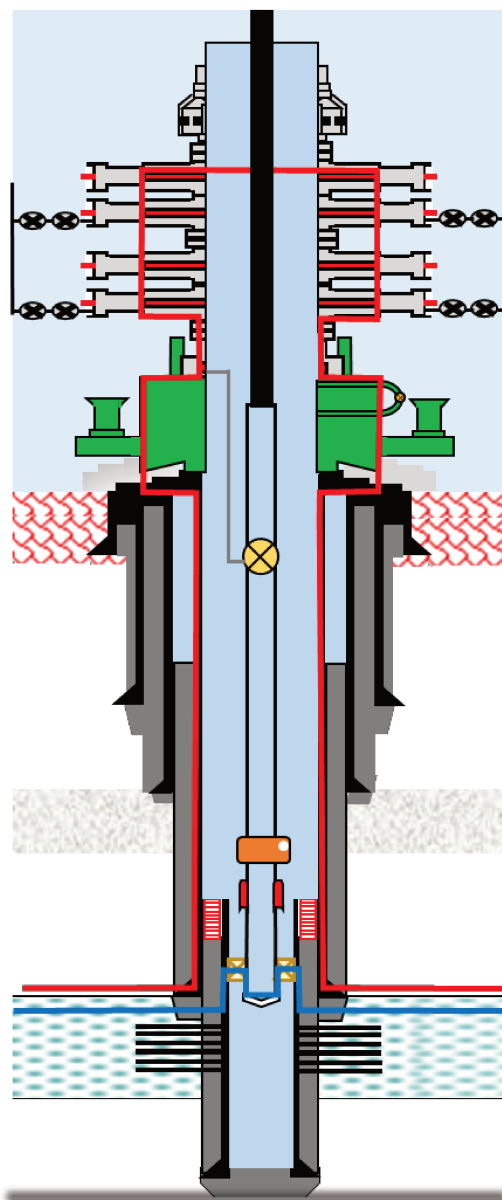


Figura B.19: Operação 18: Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna (elaborado pelo autor).

Tabela B.19: Operação 18: Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + BOP + SCPS
COLUNA	Fluido de completção + STV	BAP + BOP + SCPS

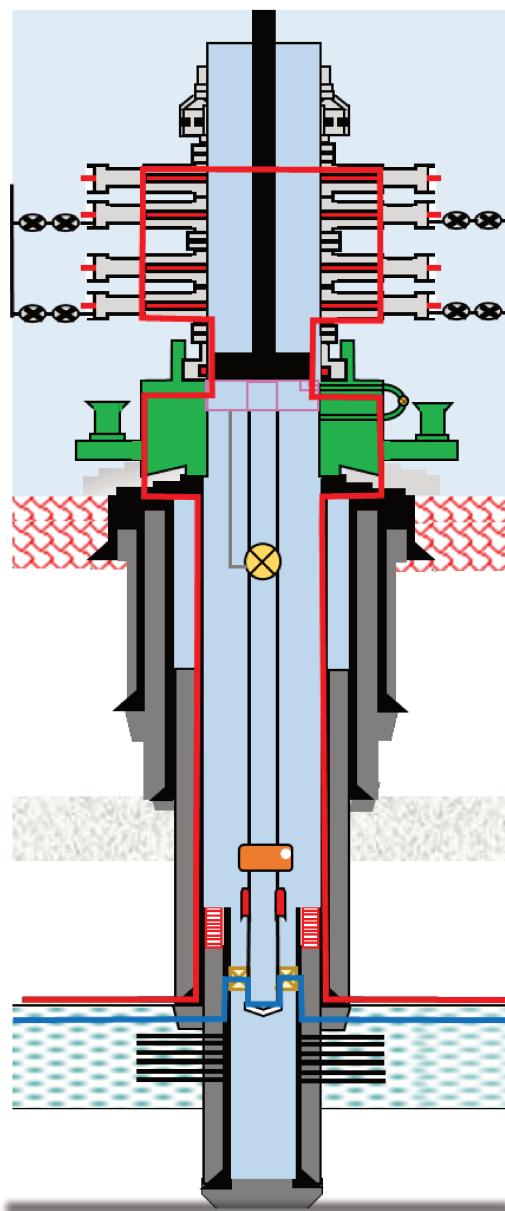


Figura B.20: Operação 19: Instalação de suspensor de coluna (elaborado pelo autor).

Tabela B.20: Operação 19: Instalação de suspensor de coluna

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + BOP + SCPS
COLUNA	Fluido de completação + STV	BAP + TH + BOP + SCPS

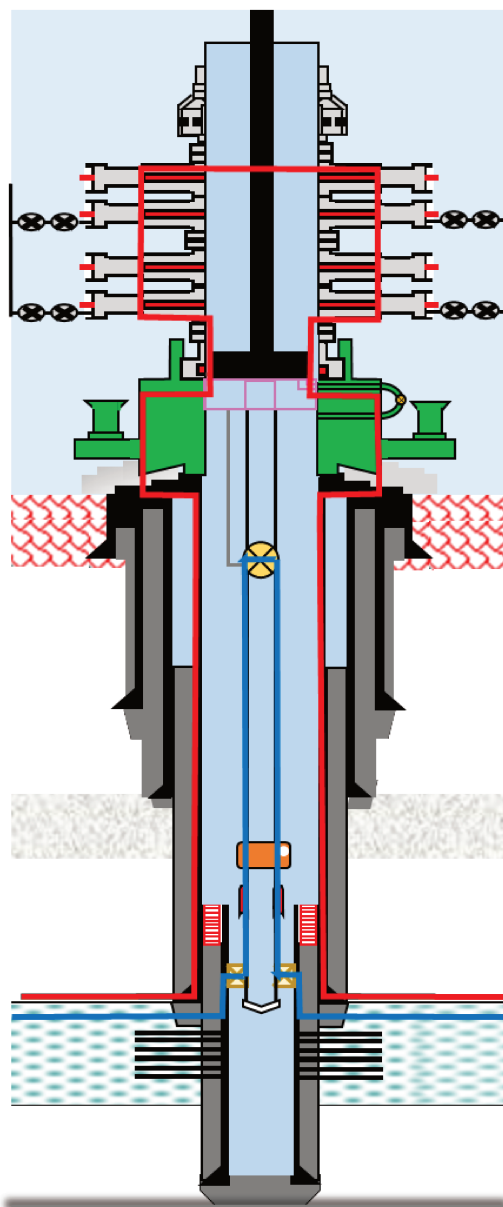


Figura B.21: Operação 20: Teste de válvula de segurança DHSV (elaborado pelo autor).

Tabela B.21: Operação 20: Teste de válvula de segurança DHSV

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + BOP + SCPS
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + BOP + SCPS
COLUNA	Fluido de completação + SCSSV	BAP + TH + BOP + SCPS

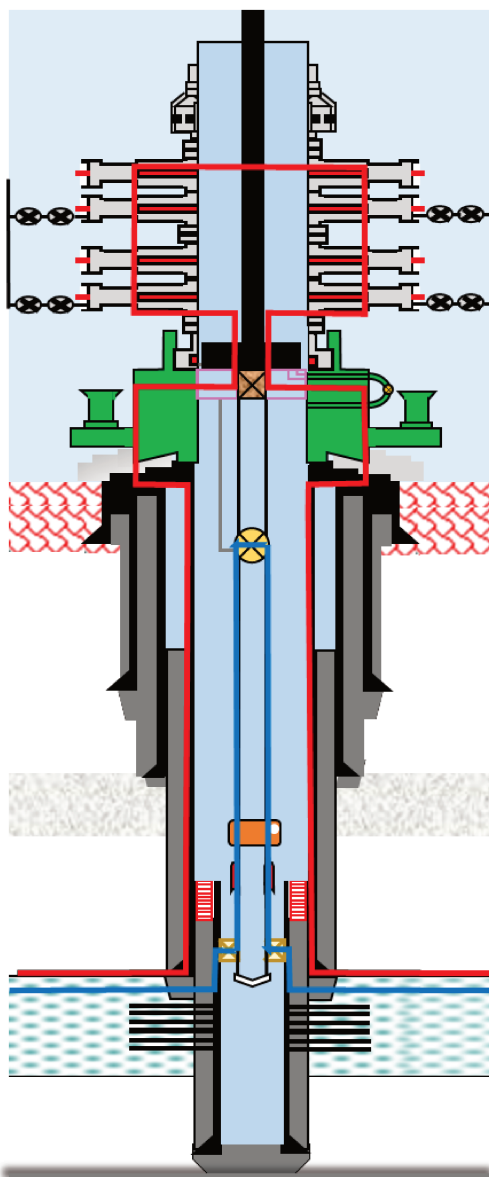


Figura B.22: Operação 21: Assentamento de objeto arame em TH/ANM (elaborado pelo autor).

Tabela B.22: Operação 21: Assentamento de objeto arame em TH/ANM

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + BOP + SCPS + Plug no TH
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + BOP + SCPS + Plug no TH
COLUNA	Fluido de completção + SCSSV	BAP + TH + BOP + SCPS + Plug no TH

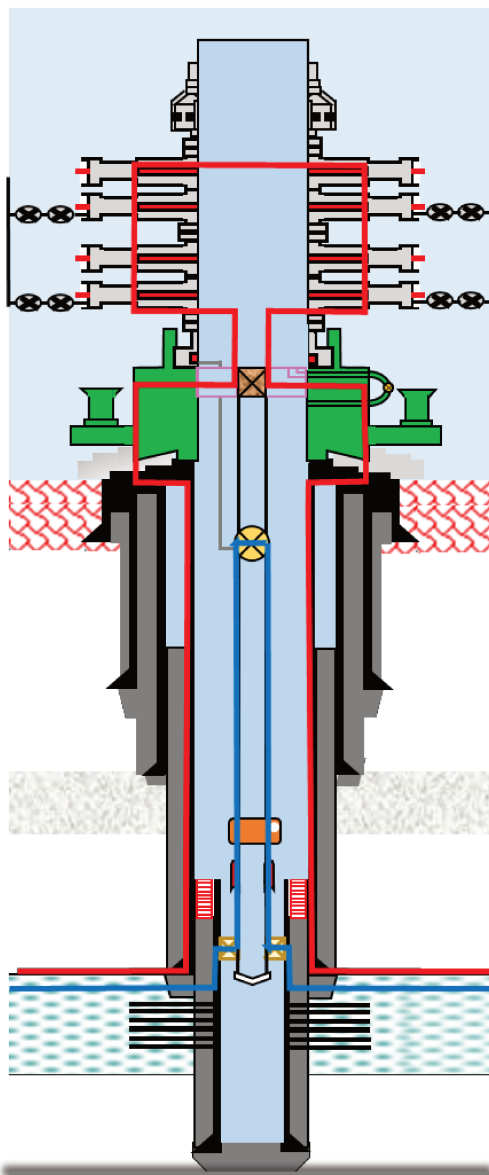


Figura B.23: Operação 22: Retirada de tbg hgr *running tool* (elaborado pelo autor).

Tabela B.23: Operação 22: Retirada de tbg hgr *running tool*

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + BOP + SCPS + Plug no TH
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + BOP + SCPS + Plug no TH
COLUNA	Fluido de completação + SCSSV	BAP + TH + BOP + SCPS + Plug no TH

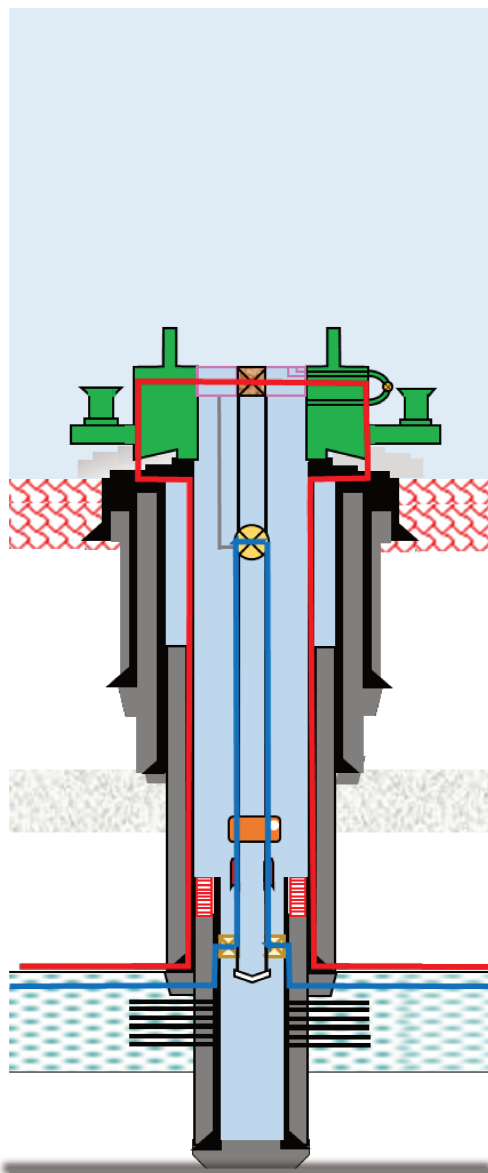


Figura B.24: Operação 23: Retirada de BOP (elaborado pelo autor).

Tabela B.24: Operação 23: Retirada de BOP

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + Plug no TH
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + Plug no TH
COLUNA	Fluido de completação + SCSSV	BAP + TH + SCPS + Plug no TH

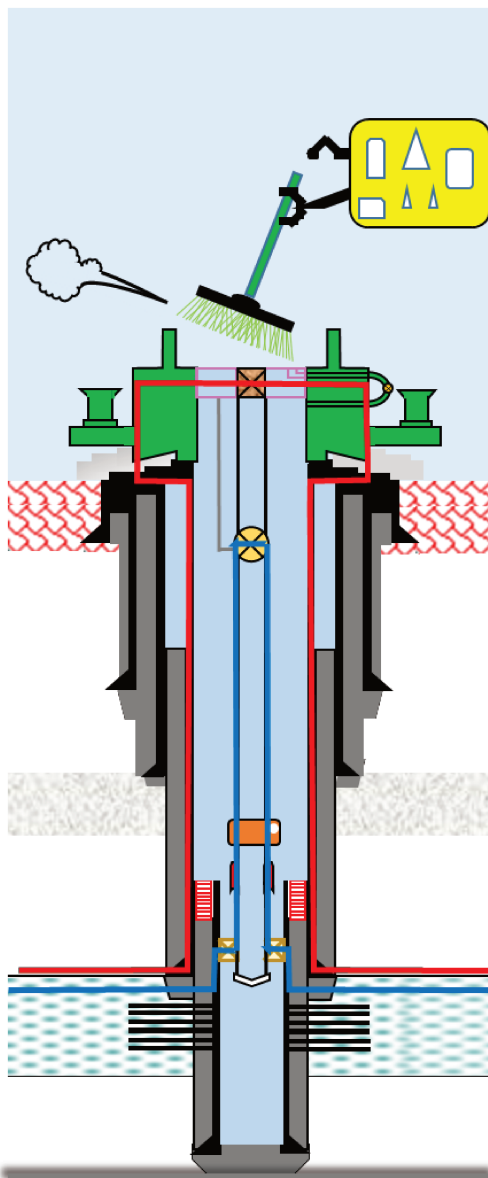


Figura B.25: Operação 24: Jateamento da BAP (elaborado pelo autor).

Tabela B.25: Operação 24: Jateamento da BAP

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + Plug no TH
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + Plug no TH
COLUNA	Fluido de completação + SCSSV	BAP + TH + SCPS + Plug no TH

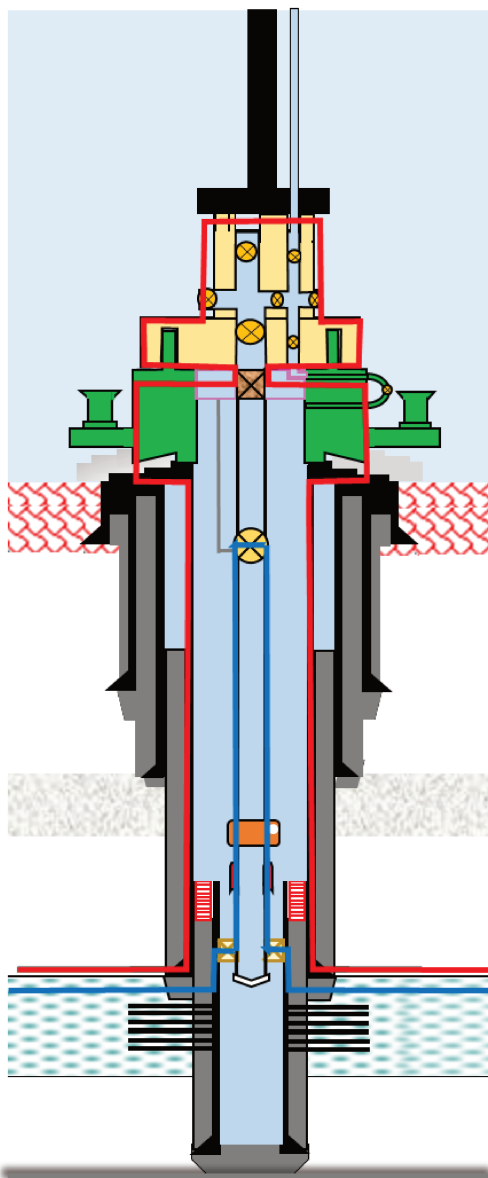


Figura B.26: Operação 25: Instalação de ANM (elaborado pelo autor).

Tabela B.26: Operação 25: Instalação de ANM

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + Plug no TH + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + Plug no TH + ANM
COLUNA	Fluido de completação + SCSSV	BAP + TH + SCPS + Plug no TH + ANM

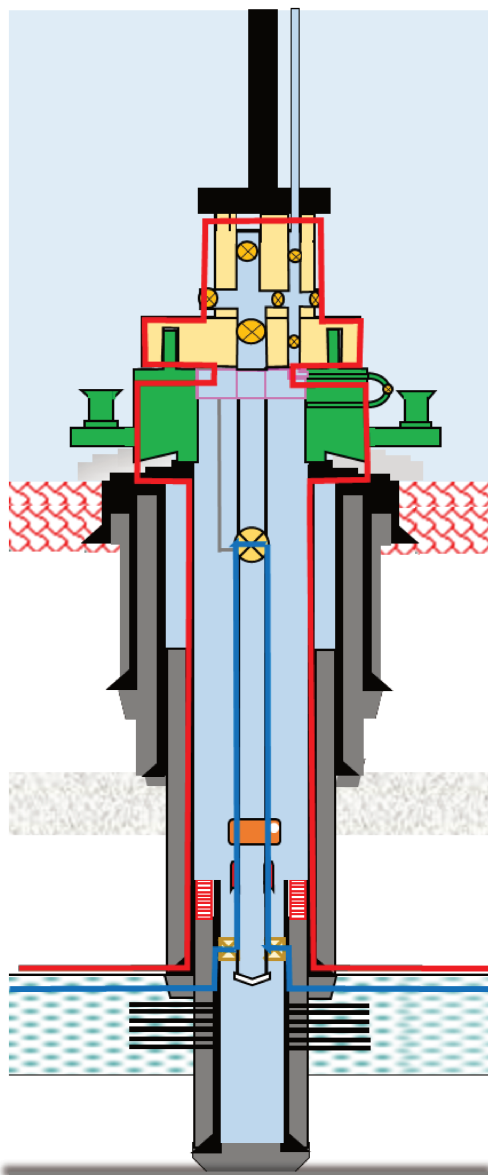


Figura B.27: Operação 26: Retirada de objeto arame de TH/ANM (elaborado pelo autor).

Tabela B.27: Operação 26: Retirada de objeto arame de TH/ANM

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	Fluido de completção + SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

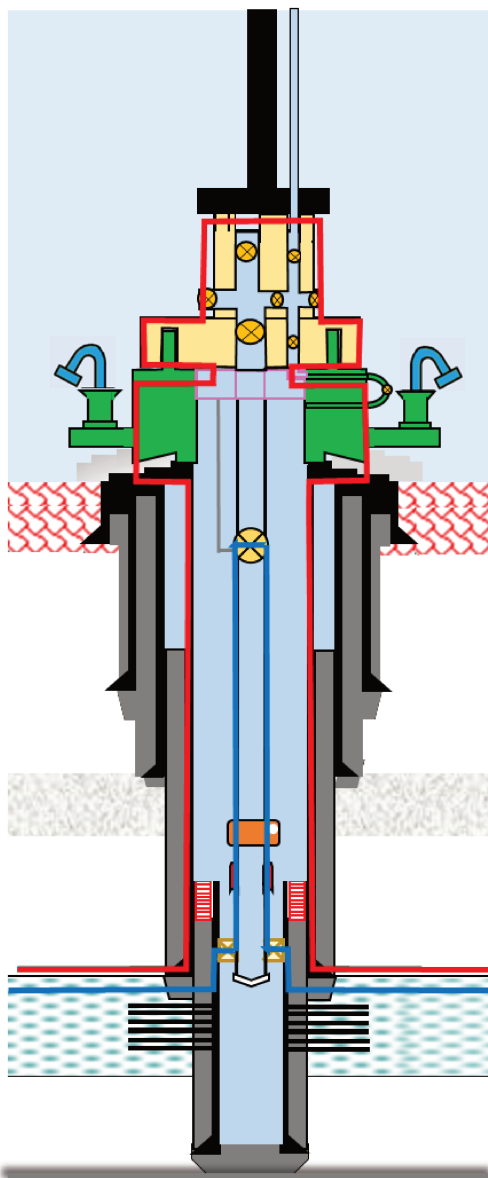


Figura B.28: Operação 27: Conexão/*pull in* de linha de produção (elaborado pelo autor).

Tabela B.28: Operação 27: Conexão/*pull in* de linha de produção

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	Fluido de completção + SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

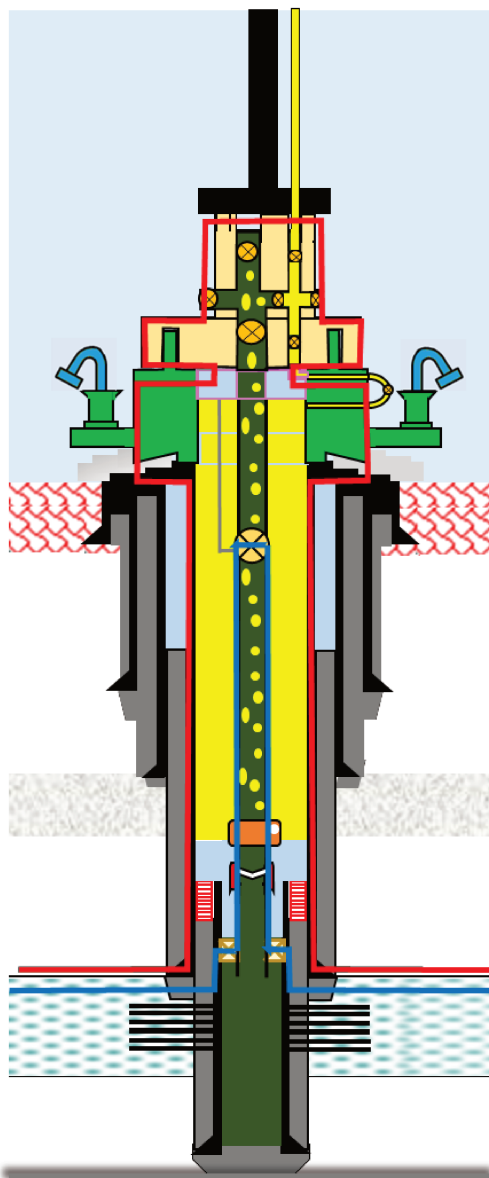


Figura B.29: Operação 28: Indução de surgência com N₂ (elaborado pelo autor).

Tabela B.29: Operação 28: Indução de surgência com N₂

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

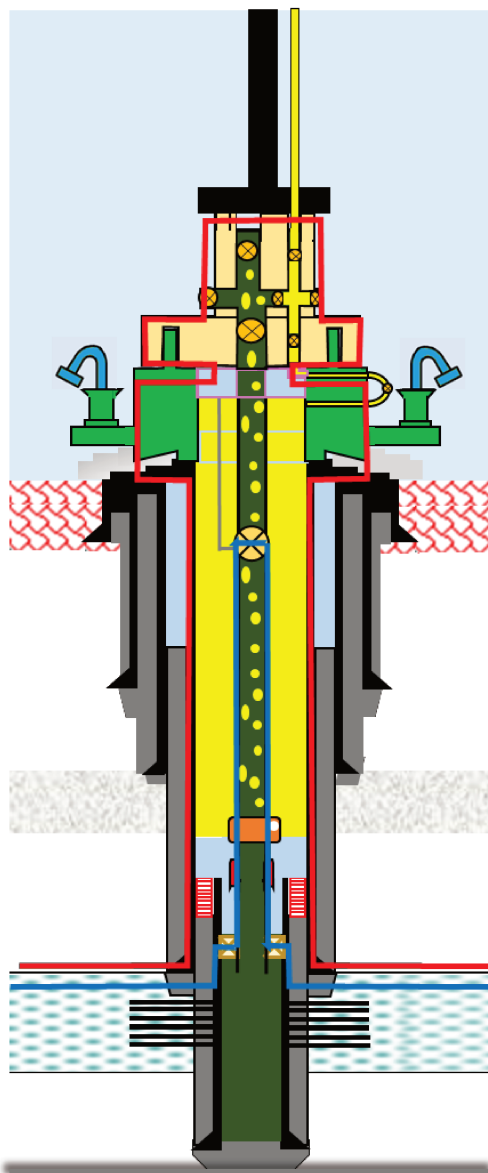


Figura B.30: Operação 29: Retirada de objeto arame de coluna “*Standing valve*” (elaborado pelo autor).

Tabela B.30: Operação 29: Retirada de objeto arame de coluna (*Standing valve*)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

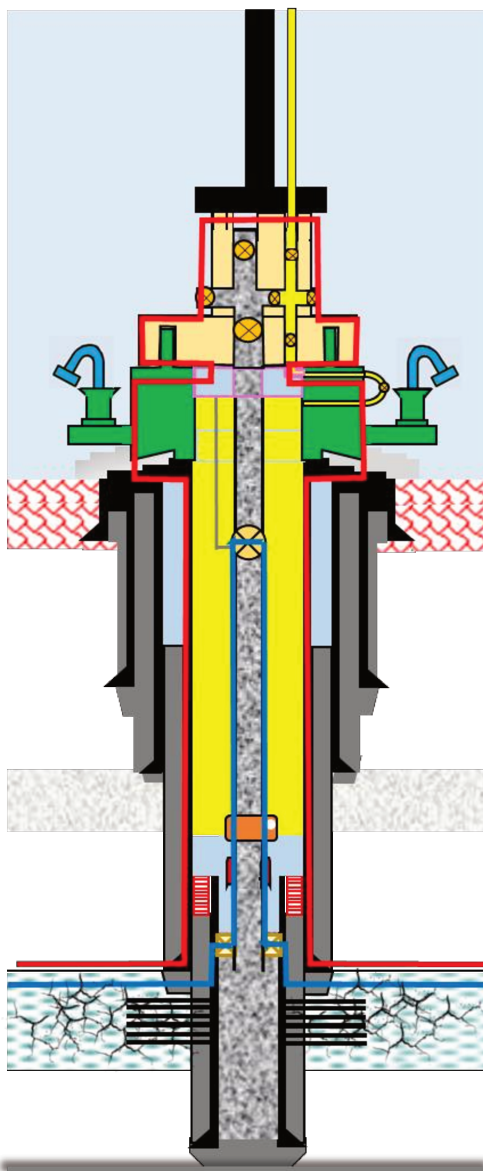


Figura B.32: Operação 31: Acidificação de matriz *bull head* (HCl) pela coluna (elaborado pelo autor).

Tabela B.32: Operação 31: Acidificação de matriz *bull head* (HCl) pela coluna

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

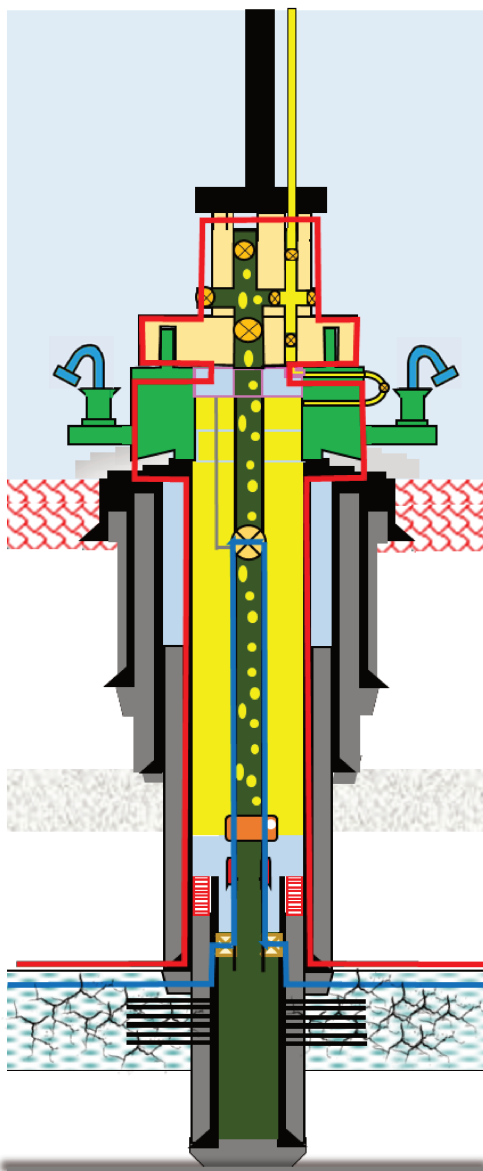


Figura B.33: Operação 32: Teste de Produção simplificado (elaborado pelo autor).

Tabela B.33: Operação 32: Teste de Produção simplificado

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

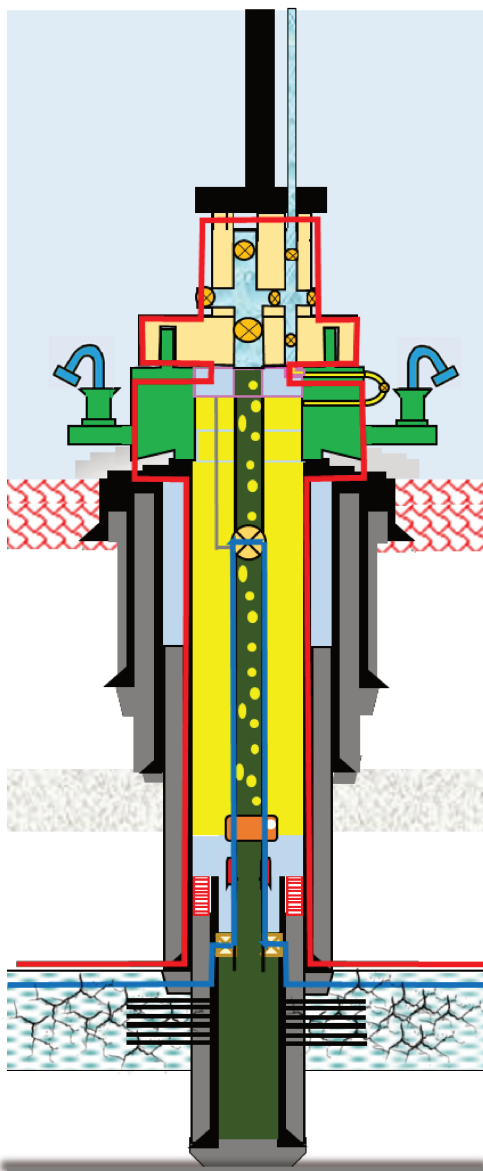


Figura B.34: Operação 33: Prevenção de hidrato (elaborado pelo autor).

Tabela B.34: Operação 33: Prevenção de hidrato

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

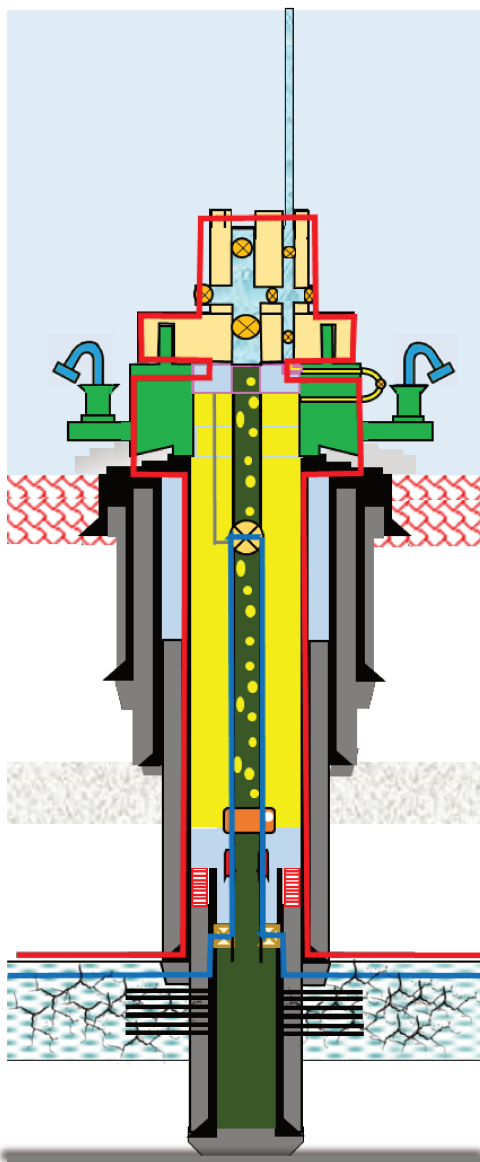


Figura B.35: Operação 34: Retirada de *tree running tool* (elaborado pelo autor).

Tabela B.35: Operação 34: Retirada de *tree running tool*

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM

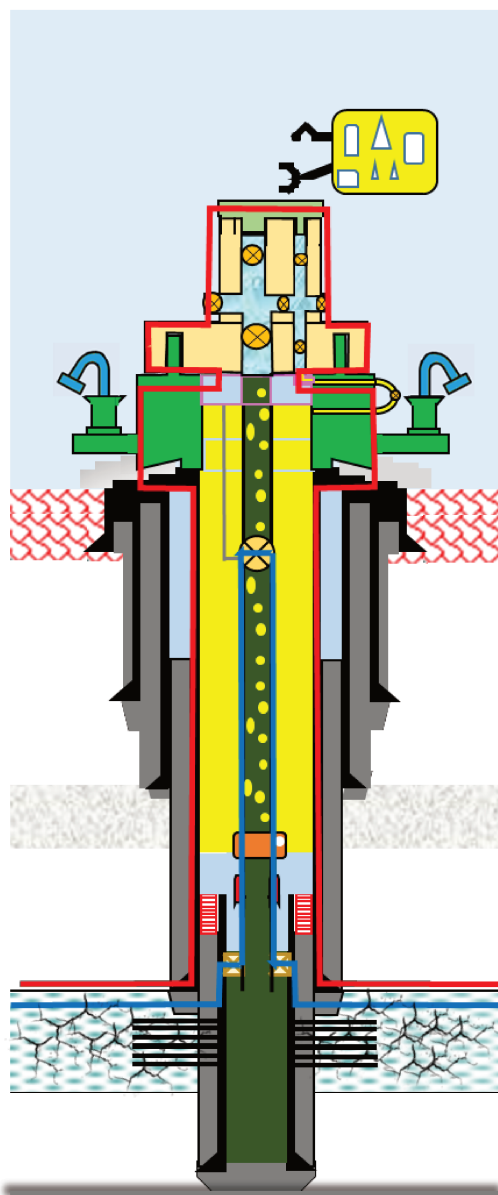


Figura B.36: Operação 35: Instalação de *tree cap* e *corrosion cap* “ROV” (elaborado pelo autor).

Tabela B.36: Operação 35: Instalação de *tree cap* e *corrosion cap* (ROV)

Caminho	CSB primário	CSB secundário
ROCHA	Rocha capeadora 1	Rocha capeadora 2
ANULAR B	Cimentação do <i>liner</i> de produção	Cimentação do revestimento de produção
INTERLIGAÇÃO ANULAR A X ANULAR B	<i>Liner</i> de produção	Revestimento de produção
ANULAR A	<i>Packer</i>	BAP + TH + SCPS + ANM + <i>Tree cap</i>
INTERLIGAÇÃO COLUNA X ANULAR A	COP	BAP + TH + SCPS + ANM + <i>Tree cap</i>
COLUNA	SCSSV	BAP + TH + SCPS + ANM + <i>Tree cap</i>

APÊNDICE C SEQUÊNCIAS OPERACIONAIS

Neste apêndice será apresentada a Tabela C.1 com a lista de operações com nomes padronizados que foram utilizadas para se realizar o mapeamento das interdependências dos fatores externos. Algumas operações que não estão na ontologia em Miura (2004) foram adicionadas para o presente trabalho. As outras tabelas são referentes às sequências operacionais dos três estudos de caso.

Tabela C.1: Lista de operações (Ontologia)

Nº da Oper.	Nome da Operação (Ontologia)
0	Condição Inicial
1	Abertura de válvula de segurança DHSV
2	Acidificação de matriz <i>bull head</i> (HCl) pela coluna
3	Acidificação de matriz <i>bull head</i> (HCl) com flexitubo
4	Assentamento de objeto arame em TH/ANM
5	Assentamento de <i>Packer</i> e cauda de produção (<i>Packer</i> permanente) + Teste de <i>Packer</i> (aplicação de peso) + STV ou <i>shear-out</i>
6	Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)
7	Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)
8	Canhoneio a cabo (<i>overbalance</i>)
9	Combate à perda de circulação
10	Condicionamento de revestimento
11	Conexão/ <i>pull in</i> de linha de produção
12	Indução de surgência com N ₂
13	Instalação de ANM
14	Instalação de BAP
15	Instalação de BOP
16	Instalação de suspensor de coluna

Nº da Oper.	Nome da Operação (Ontologia)
17	Instalação de <i>tree cap</i> e <i>corrosion cap</i> (ROV)
18	Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna
19	Jateamento da BAP
20	Jateamento de <i>housing</i>
21	Montagem e descida de coluna definitiva
22	Perfilagem para Verificação de cimentação
23	Prevenção de hidrato
24	Retirada de BOP
25	Retirada de BHA (Camisa TSR)
26	Retirada de <i>Bridge plug</i> recuperável
27	Retirada de bucha de desgaste
28	Retirada de objeto arame de coluna (<i>Standing valve</i>)
29	Retirada de objeto arame de TH/ANM
30	Retirada de <i>tubing hanger running tool</i>
31	Retirada de <i>tree running tool</i>
32	Rompimento de Sub de Pressurização
33	Teste de BOP
34	Teste de Estanqueidade
35	Teste de produção
36	Teste de Produção simplificado
37	Teste de válvula de segurança DHSV (Fechamento e abertura da SCSSV)
38	Troca de Fluido de poço (FAM) (FC) (FP)
39	Troca de Fluido do <i>riser</i> pela água do mar

Tabela C.2: Sequência Operacional (Caso 1)

Nº da oper.	Nome da Operação (ontologia)
0	Condição Inicial
1	Teste de Estanqueidade
2	Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)
3	Troca de Fluido do riser pela água do mar
4	Retirada de BOP
5	Jateamento de housing
6	Instalação de BAP
7	Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP)
8	Instalação de BOP
9	Retirada de Bridge plug recuperável
10	Condicionamento de revestimento
11	Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP)
12	Perfilagem para Verificação de cimentação
13	Canhoneio à cabo (overbalance)
14	Assentamento de packer e cauda de produção (packer permanente) + Teste de Packer (aplicação de peso) + STV
15	Retirada de bucha de desgaste
16	Montagem e descida de coluna definitiva
17	Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)
18	Teste de válvula de segurança DHSV (Fechamento e abertura da SSSV)
19	Instalação de suspensor de coluna
20	Retirada de tbg hgr running tool
21	Retirada de objeto arame de coluna (Standing Valve)
22	Indução de surgência com N2
23	Teste de produção
24	Acidificação de matriz bull head (HCl) pela coluna
25	Teste de produção
26	Assentamento de objeto arame em TH/ANM
27	Retirada de BOP
28	Jateamento da BAP
29	Instalação de ANM
30	Retirada de objeto arame de de TH/ANM
31	Prevenção de hidrato
32	Retirada de tree running tool
33	Instalação de tree cap e corrosion cap (ROV)
34	Conexão/pull in de linha de produção

Tabela C.3: Sequência Operacional (Caso 2)

N° da seq.	Nome da Operação (ontologia)
0	Condição Inicial
1	Teste de Estanqueidade
2	Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)
3	Troca de Fluido do riser pela água do mar
4	Retirada de BOP
5	Jateamento de housing
6	Instalação de BAP
7	Instalação de BOP
8	Retirada de Bridge plug recuperável
9	Condicionamento de revestimento
10	Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP)
11	Perfilagem para Verificação de cimentação
12	Canhoneio à cabo (overbalance)
13	Retirada de bucha de desgaste
14	Assentamento de packer e cauda de produção (packer permanente + Teste de Packer (aplicação de peso) + shear out
15	Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna
16	Montagem e descida de coluna definitiva
17	Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)
18	Instalação de suspensor de coluna
19	Teste de válvula de segurança DHSV (Fechamento e abertura da SSSV)
20	Assentamento de objeto arame em TH/ANM
21	Retirada de BOP
22	Instalação de ANM
23	Retirada de objeto arame de de TH/ANM
24	Retirada de tree running tool
25	Instalação de tree cap e corrosion cap (ROV)
26	Conexão/pull in de linha de produção
27	Abertura de válvula de segurança DHSV
28	Rompimento de Sub de Pressurização
29	Prevenção de hidrato
30	Acidificação de matriz bull head (HCl) pela coluna
31	Indução de surgência com N2
32	Teste de produção

Tabela C.4: Sequência Operacional (Caso 3)

N° da seq.	Nome da Operação (ontologia)
0	Condição Inicial
1	Teste de Estanqueidade
2	Condicionamento de revestimento
3	Troca de Fluido de poço (FAM)(FC) (FP)
4	Perfilagem para Verificação de cimentação
5	Assentamento de tampão mecânico a cabo elétrico (BPR)
6	Retirada de BOP
7	Jateamento de housing
8	Instalação de BAP
9	Instalação de BOP
10	Retirada de Bridge plug recuperável
11	Canhoneio à cabo (overbalance)
12	Combate a perda de circulação
13	Assentamento de packer e cauda de produção + STV
14	Retirada de BHA (Camisa TSR)
15	Retirada de bucha de desgaste
16	Montagem e descida de coluna definitiva
17	Balanceio de coluna (Liberação dos pinos do TSR)
18	Instalação de válvula de segurança DHSV em coluna
19	Instalação de suspensor de coluna
20	Teste de válvula de segurança DHSV (Fechamento e abertura da SSSV)
21	Assentamento de objeto arame em TH/ANM
22	Retirada de tbg hgr running tool
23	Retirada de BOP
24	Jateamento da BAP
25	Instalação de ANM
26	Retirada de objeto arame de de TH/ANM
27	Conexão/pull in de linha de produção
28	Indução de surgência com N2
29	Retirada de objeto arame de coluna (Standing Valve)
30	Teste de produção
31	Acidificação de matriz bull head (HCl) pela coluna
32	Teste de produção simplificado
33	Prevenção de hidrato
34	Retirada de tree running tool
35	Instalação de tree cap e corrosion cap (ROV)