

Análise de confiabilidade de um sistema de controle multiplexado de poços submarinos utilizando árvore de falha

RESUMO

Antonio Heverton Martins Silva
hevertonmartins@gmail.com
Petróleo Brasileiro S. A. (Petrobras),
Macaé, Rio de Janeiro, Brasil

Henrique Rego Monteiro da Hora
dahora@gmail.com
Instituto Federal de educação, ciência e
tecnologia Fluminense (IFF), Campos dos
Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil

Rodrigo Martins Fernandes
rodrigo.fernandes@iff.edu.br
Instituto Federal de educação, ciência e
tecnologia Fluminense (IFF), Campos dos
Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil

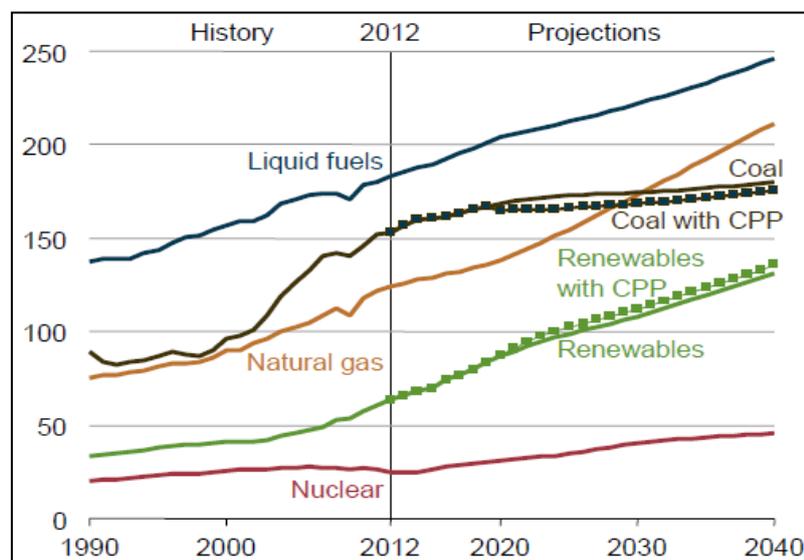
A indústria do petróleo tem papel extremamente importante na economia brasileira. Em 2014, por exemplo, o setor de óleo e gás representou 13% do PIB do Brasil. Maior parte desse petróleo vem sendo e será provido, cada vez mais, a partir de reservatórios marítimos (offshore). O sistema de produção submarino tem alguns aspectos únicos relacionados à inacessibilidade para instalação e manutenção, dessa forma exige equipamentos complexos e não usuais à indústria. Desse modo, o presente artigo tem como objetivo realizar uma análise quantitativa e qualitativa da confiabilidade do sistema de controle multiplexado submarino aplicado na produção de óleo e gás. No desenvolvimento da pesquisa é feita uma análise funcional do sistema de controle para definir a função a ser analisada através da árvore de falha com os dados de taxas de falhas obtidos pela OREDA. Foi possível identificar as probabilidades de falha para o período de 7.400 h e 26.500 h são, respectivamente, 17,35% e 67,52%. Em outros termos, a confiabilidade nos pontos observados são 82,65% e 32,48%.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de controle. Análise de confiabilidade. Equipamentos submarinos. Árvore de falha.

INTRODUÇÃO

Segundo estudos realizados pela Energy Information Administration (EIA), o consumo mundial de energia a partir de todas as fontes de combustível aumentará até 2040, conforme ilustrado na Figura 1. As fontes renováveis são a fonte de energia com crescimento mais rápido durante o período de projeção com aumento, em média, de 2,6% ao ano entre 2012 e 2040. A energia nuclear será a segunda maior fonte de energia em termos de crescimento, aumentando 2,3% ao ano durante esse período (EIA, 2016). As curvas pontilhadas para carvão e renováveis, na Figura 1, mostram a projeção do impacto do plano de energia limpa dos EUA.

Figura 1 – Consumo total de energia mundial por tipo de fonte



Fonte: EIA (2016)

Embora o consumo de combustíveis não fósseis deva crescer mais rápido do que o consumo de combustíveis fósseis, este último ainda representará 78% do uso global de energia em 2040. Os combustíveis líquidos – principalmente a base de petróleo – permanecerão como a maior fonte de consumo mundial de energia, tendo uma pequena redução da sua participação no consumo mundial de energia comercializada de 33% em 2012 para 30% em 2040 (EIA, 2016).

Extrair e transportar o petróleo de reservatórios offshore em águas profundas e ultra-profundas exigem sistemas de produção submarinos. A tecnologia voltada para equipamentos submarinos utilizados na produção de óleo e gás é um campo de aplicação altamente especializado que coloca demandas específicas e pontuais para a engenharia (BAI; BAI, 2010).

O avanço da produção em áreas cada vez mais remotas e a necessidade de desempenhar mais funções fez com que se desenvolvessem equipamentos eletrônicos para monitoração e controle dos processos submarinos, surgiu daí o sistema de controle submarino (SCS). De acordo com a ISO 13628-6 (2006), o SCS é definido como o sistema de controle que opera um sistema de produção submarino durante as operações de

produção. O SCS é o coração de qualquer sistema de produção submarino e é um item relativamente barato quando comparado com o custo de perfuração, construção e instalação de dutos, instalação dos próprios equipamentos, etc. (BAI; BAI, 2010). No entanto, a perda de confiabilidade de longo prazo pode gerar problemas operacionais, alta periodicidade de intervenção e manutenção e risco à segurança do processo.

Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise quantitativa e qualitativa da confiabilidade de um sistema de controle submarino aplicados na produção de óleo e gás através da ferramenta de árvore de falha.

FERRAMENTA DE CONFIABILIDADE E DADOS DE FALHA DOS COMPONENTES

ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHA – AAF

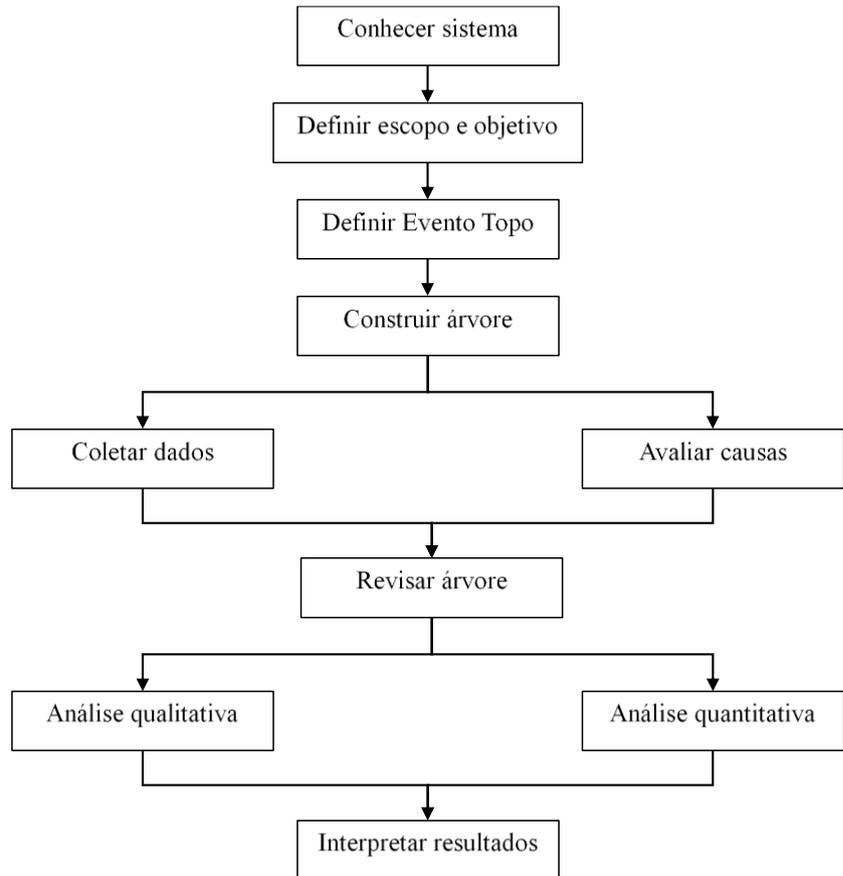
A análise de árvore de falha ou Fault Tree Analysis é um método analítico de análise de confiabilidade e permite uma análise qualitativa ou quantitativa, dependendo do escopo e dos objetivos do estudo. Uma árvore de falhas é uma representação gráfica organizada das condições e fatores que causam ou contribuem para a ocorrência de um resultado indesejado, designado como evento de topo. Portanto, é um método de análise dedutivo, realizado de cima para baixo, que visa identificar as causas ou combinações de causas que podem levar ao evento topo previamente definido, ou seja, a falha (IEC 61025, 2006).

A AAF pode ser aplicada em sistemas e instalações existentes e em operação ou naqueles ainda em de concepção conceitual e projeto. Os objetivos mais comuns dessa análise são (ČEPIN, 2011): avaliar a probabilidade de falha do sistema ou de uma função específica, comparar diferentes topologias do sistema na fase de projeto, identificar os componentes mais importantes em termos de confiabilidade e melhorar a documentação do sistema aumentando o conhecimento sobre o seu comportamento.

A modelagem gráfica é feita através de combinações em série ou paralelo que podem levar ao evento topo. As portas lógicas são a primeira representação abaixo do evento topo e estão interligadas as causas possíveis. A partir daí cada causa possível é então investigada e refinada até que as causas básicas da falha sejam compreendidas. Assim, a árvore de falhas será estruturada em níveis, os quais deverão ser construídos de cima para baixo. No entanto, vários ramos de uma árvore de falha podem ser construídos para alcançar diferentes níveis de granularidade (XING; AMARI, 2008). Ou seja, a árvore pode ter diversos níveis chegando até o nível mais baixo dos subcomponentes como, por exemplo, transistores, isso dependerá do objetivo da análise e dos dados disponíveis para o estudo.

A execução da análise através da árvore de falha seguirá o fluxo mostrado na Figura 2 e será feita com auxílio do software R. A análise quantitativa será calculada numericamente para o período de aproximadamente três anos de operação a partir de dados taxa de falha que serão considerados constantes.

Figura 2 – Fluxo de processo para construção de árvore de falhas



Fonte: Adaptado de (LIN; YUAN; ZHANG, 2014)

A análise qualitativa da árvore de falha busca identificar os eventos básicos que quando ocorrem levam ao evento topo. A soma dos produtos desses eventos básicos identificados integra o conjunto mínimo de corte ou minimal cut sets (ČEPIN, 2011). Um conjunto pode ser formado por um ou mais elementos, sendo que quanto maior a quantidade de eventos básicos presente no conjunto, menor será a probabilidade de falha.

Por fim, na avaliação dos resultados é feita uma análise crítica dos produtos obtidos no estudo. Nesse momento é verificado se os resultados obtidos têm representatividade do ponto de vista técnico e funcional do sistema. Além de permitir extrair informações que possam ser utilizadas para incrementar o desempenho do sistema em relação a sua confiabilidade através do estabelecimento de recomendações e ações de melhoria nas diversas fases da vida do sistema: especificação, projeto, fabricação e montagem, operação e manutenção.

TAXA DE FALHAS DOS COMPONENTES

Para representar as características de falhas dos equipamentos aqui estudados, será utilizada a distribuição exponencial. Essa distribuição é bastante utilizada no estudo de sistemas eletrônicos porque é definida apenas pelo parâmetro de taxa de falha constante, dessa forma, representa matematicamente a região de vida útil de operação do componente (LAFRAIA, 2001). A taxa de falha constante não considera o efeito de mortalidade infantil ou envelhecimento do item, ou seja, as falhas são aleatórias e a probabilidade de falha é a mesma a qualquer tempo durante operação.

Os dados de falha utilizadas serão obtidos no OREDA. O projeto Offshore and Onshore Reliability Data foi iniciado em 1981 com a colaboração da Norwegian Petroleum Directorate que teve, posteriormente, seu nome alterado para Petroleum Safety Authority Norway (OREDA, 2015). O objetivo principal do OREDA é contribuir para melhorias na concepção e na operação de sistemas e facilidades no setor de óleo e gás seguras, rentáveis e eficientes. Isso é subsidiado por um banco de dados de confiabilidade para análises de projetos, operacionais e de manutenção, além de permitir a troca de informação desses dados entre as companhias participantes do projeto (OREDA, 2015).

SOFTWARE R

A representação gráfica e cálculos dos modelos de confiabilidade através da árvore de falhas foi feita com a utilização do software R. R é um software livre, construído baseado em uma linguagem desenvolvida para análise e computação estatística e gráfica, mantido pela organização sem fins lucrativos R Foundation. Este software, bem como seu manual, pode ser obtido no endereço <https://www.r-project.org>.

Para análise de árvore de falhas foi preciso obter um pacote adicional para o R, denominado FaultTree. Nessa ferramenta, uma árvore de falhas é construída a partir de um script de tal forma que cada nó da árvore é descrito por entrada de linha de comando. A visualização da árvore pode ser feita continuamente durante o desenvolvimento da árvore por um comando definido, diferente das ferramentas que possuem interface gráfica.

SISTEMA DE CONTROLE SUBMARINO MULTIPLEXADO

O sistema de controle submarino (SCS) opera válvulas e chokes nos equipamentos submarinos aplicados na produção de óleo e gás. Também recebe e transmite dados entre os equipamentos da superfície e submersos que auxiliam os engenheiros e operadores na monitoração da produção através do acompanhamento das variáveis de pressão, temperatura, vazão, etc (BAI; BAI, 2010).

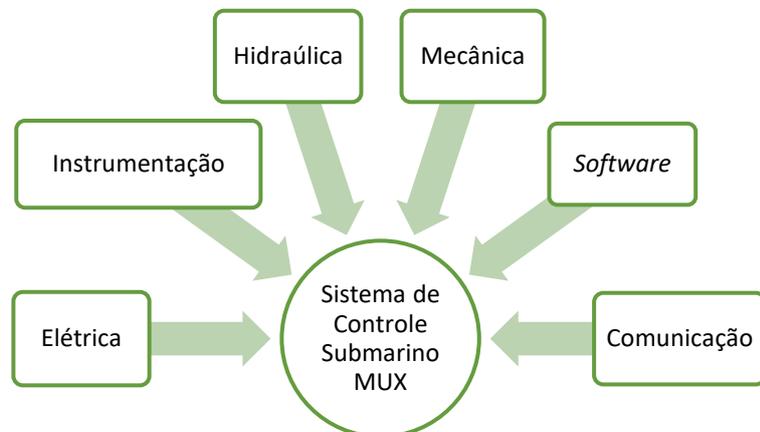
O SCS eletro-hidráulico multiplexado tem essa denominação originada do seu princípio de funcionamento. Nesses sistemas é feita a

multiplexação do sinal elétrico e hidráulico, possibilitando a unidade estacionária de produção controlar as diversas funções com apenas um canal físico para o sinal elétrico, realizado por um par de fios, e uma linha de suprimento hidráulico. Dessa maneira, há redução significativa no número de linhas hidráulicas interligadas entre a superfície e o equipamento.

O SCS tipo MUX é o empregado usualmente no desenvolvimento da produção dos campos em águas profundas e distantes da UEP. Atrelado a isso, está a necessidade de menores tempos de resposta na atuação de válvulas, maior quantidade de válvulas a serem controladas (além do equipamento há válvulas na coluna de produção, ou seja, no interior do poço) e leitura dos diversos sensores.

O SCS tipo MUX engloba diversas áreas da engenharia, conforme ilustrado na Figura 3, portanto deve-se encará-lo como um sistema complexo. Associado a isso está a dificuldade natural de realizar manutenção em qualquer sistema submarino offshore, que necessita de logística e alguns recursos exclusivos da área submarina, resultando num tempo de reparo que pode chegar a alguns meses. Assim, o SCS também deve ser considerado como não reparável, significando que sua confiabilidade e disponibilidade são, na prática, iguais (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

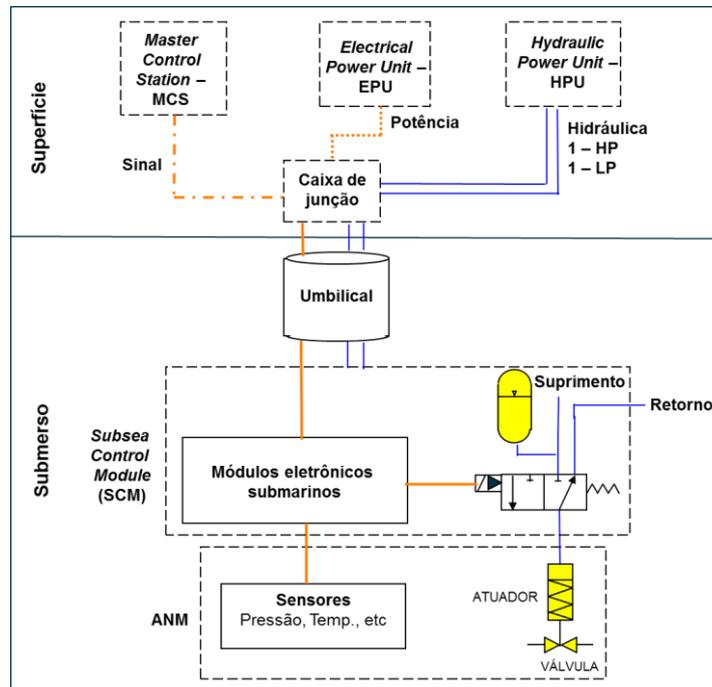
Figura 3 – Áreas de conhecimento da engenharia envolvidas no sistema de controle submarino eletro-hidráulico multiplexado



Fonte: Autoria própria (2017)

O SCS MUX apresenta componentes instalados na superfície, a bordo da plataforma de produção, e no leito marinho, nos equipamentos submarinos. Na Figura 4 está a representação esquemática dos principais subsistemas: Master Control Station (MCS), Electrical Power Unit (EPU), Hydraulic Power Unit (HPU) e Subsea Control Module (SCM). Também são necessários equipamentos auxiliares conhecidos como Topside Umbilical Termination Assembly (TUTA), Electrical Flying Lead (EFL), Hydraulic Flying Lead (HFL), caixas de distribuição, caixas de junção, conectores, sensores e transdutores submarinos. Na sequência é feita uma breve descrição dos principais equipamentos.

Figura 4 – Esquemático do sistema de controle MUX



Fonte: Autoria própria (2017)

- MCS: A estação de controle mestre realiza o controle lógico de todo o sistema: equipamentos submarinos e de superfície. É composta basicamente de controladores, por exemplo, CLP ou computadores industriais, módulos de comunicação de redes e módulos de entrada e saída. Além do controle dos equipamentos submarinos faz a integração e comunicação com o sistema supervisor da plataforma.

- EPU: A unidade de potência elétrica é responsável pela alimentação elétrica monofásica das eletrônicas submarinas. Também realiza o último estágio da parte em superfície inserido, via modulação em frequência, o sinal de controle no mesmo par de cabos que alimentação o trecho submarino. Por conveniência, e dependendo do escopo do sistema, a MCS e EPU podem estar juntas na mesma estrutura física (cabine ou gabinete).

- HPU: A unidade de potência hidráulica fornece a potência hidráulica para o acionamento das funções dos equipamentos submarinos. Normalmente são entregues em dois níveis de pressão, a menor (LP) para as funções dos equipamentos, tipicamente acionamento de válvulas, e maior (HP) para as funções dentro do poço. Os fluidos de controle são compostos basicamente de água (percentual de água acima de 80%) e, devido as características do SCM, devem atender um nível rigoroso de limpeza. Apresentam também outras propriedades, tais como, anticorrosiva, antidesgaste, bactericida e baixa compressibilidade.

- SCM: O módulo de controle submarino é responsável por controlar e monitorar os equipamentos submarinos através de sinais elétricos e hidráulicos. Responsável pela multiplexação na parte submersa do sistema.

A comunicação com a superfície através de um link realizado no mesmo par de cabos que promove a alimentação elétrica. Os principais componentes são: transformadores de entrada, eletrônica submarina (SEM), válvulas de controle direcional (DCV), filtros, modem, transmissores de pressão, medidores de vazão, válvulas de retenção (check valves), acumulador hidráulico e compensador.

Figura 5 – SCM (esquerda) e SEM (direita)



Fonte: GE Oil and Gas (2017)

- EFL e HFL: são o meio físico responsáveis por transmitir os sinais elétricos e hidráulicos entre os diversos módulos submarinos. Como as conexões são realizadas dentro da água é preciso conectores adequados para evitar fugas de corrente e curto-circuito nas ligações elétricas ou migração de sujeira nas linhas hidráulica.

Figura 6 – EFL para manuseio via RO



Fonte: Eskridge (2015)

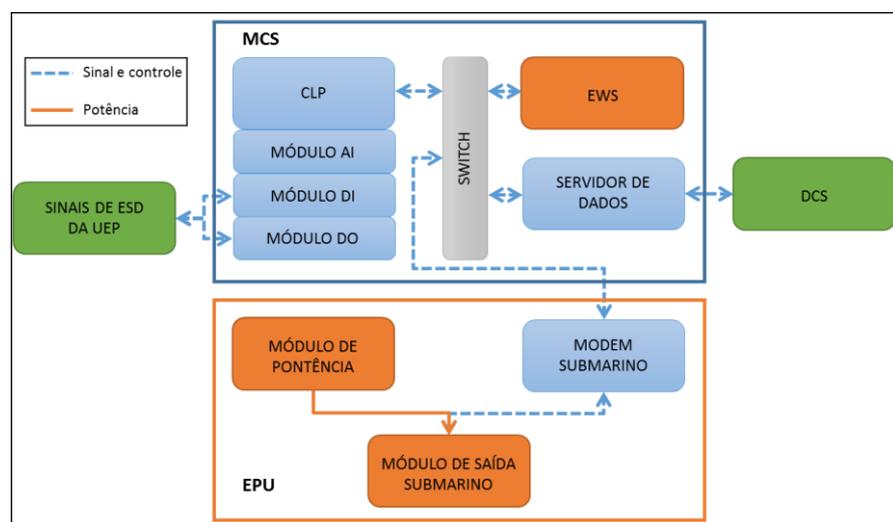
- Sensores submarinos: Podem estar instalados internamente no SCM ou externamente nos equipamentos ou no interior do poço. Existem diversos tipos, sendo as aplicações mais comuns a medição de pressão, temperatura, vazão, detecção de objetos, detecção de areia e sensores de corrosão.

VISÃO SISTÊMICA DO SISTEMA DE CONTROLE SUBMARINO MULTIPLEXADO

A Figura 7 traz uma arquitetura típica de uma MCS e EPU. No MCS é possível identificar a conexão com o sistema de emergência da plataforma realizada através dos sinais de Emergency Shut Down (ESD) e a conexão do Distributed Control System (DCS) com o servidor de dados do sistema de controle submarino. É através desse canal de comunicação que os dados são levados até a sala de operação e aos bancos de dados corporativos em nível mais alto do sistema de automação.

A EWS é basicamente um computador industrial com todos os softwares necessários para o comissionamento, operação, manutenção, configuração e alteração dos parâmetros dos componentes, lógicas de controle, rede de comunicação, sistema supervisor, etc.

Figura 7 – Arquitetura típica de uma MCS e EPU.

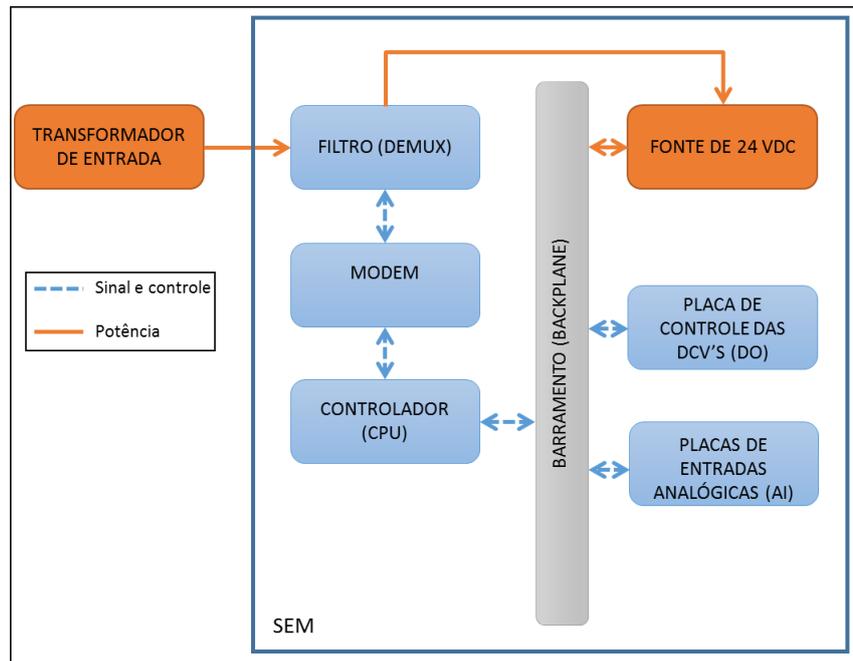


Fonte: Autoria própria (2017)

Na EPU estão os modems individuais de cada poço. Esse modem envia o sinal de comunicação e controle para o módulo de saída, assim como o módulo de potência mantém a tensão e corrente na linha submarina nos níveis adequados para funcionamento do SCM. O módulo de saída submarino realiza a multiplexação do sinal e potência elétrica e dele sai o par de cabos que será interligado ao UEH e se conectará aos equipamentos submarinos.

O SCM é o equipamento submarino mais importante. Ele é composto de componentes mecânicos, hidráulicos e elétricos, e é responsável por executar todas as instruções nos elementos finais de controle (válvulas e atuadores) e obter dados de sensores internos e externos ao sistema de controle. Os sensores são ditos internos quando pertencem ao próprio SCS, por exemplo, os sensores de pressão posicionados nas saídas hidráulicas do SCM para acionar as funções hidráulicas. Já os sensores externos são aqueles destinados a obter dados do processo, ou seja, estão associados às variáveis de produção (pressão, temperatura, vazão, corrosão, etc) e podem estar localizados nos equipamentos submarinos ou no interior do poço (coluna de produção). A Figura 8 representa a arquitetura dos componentes eletrônicos do SCM.

Figura 8 – Arquitetura funcional do SCM: componentes eletrônicos

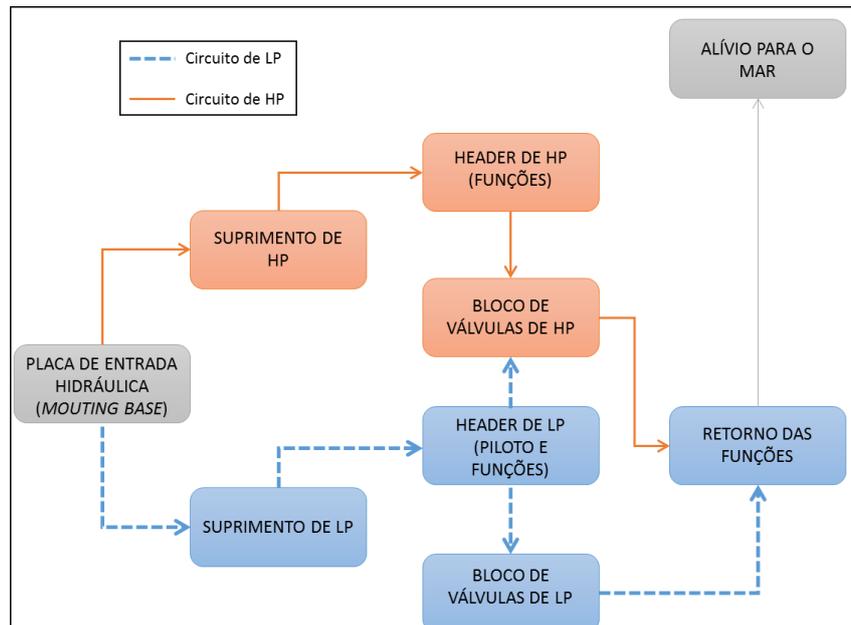


Fonte: Autoria própria (2017)

De modo simplificado, o SCM pode ser subdividido em: transformador de entrada e Subsea Electronic Module (SEM). O transformador realiza a adequação da tensão de transmissão para o nível de funcionamento dos componentes eletrônicos. A SEM, através do filtro, faz a demultiplexação do sinal para extrair os comandos e instruções a serem executadas. A eletrônica submarina é composta basicamente de uma Central Processing Unit (CPU), que trata os dados e executa a lógica e instruções, um modem para comunicação com a superfície e os cartões Analog Input (AI) e Digital Output (DO). Os cartões de AI são responsáveis por obter os dados gerados pelos sensores submarinos, enquanto que os cartões DO são aqueles que executam o acionamento das válvulas de controle direcional (DCV).

A Figura 9 ilustra a arquitetura básica dos componentes mecânicos presentes no SCM. O suprimento hidráulico de High Pressure (HP) e Low Pressure (LP) faz a interface com o SCM através de uma placa hidráulica denominada usualmente por mounting base.

Figura 9 – Arquitetura funcional do SCM: componentes mecânicos



Fonte: Autoria própria (2017)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a construção da árvore de falha foi considerado como insucesso do sistema (evento topo) a perda de controle do poço, uma vez que este é o objetivo fim do SCS e esse evento causaria restrições operacionais e de segurança do processo que podem levar a interrupção temporária da produção e, conseqüentemente, perda financeira ou algum incidente relacionado a segurança operacional da planta. Nesse ponto é importante frisar que esta análise não modelou todas as possíveis falhas do sistema, apenas as mais relevantes que contribuem diretamente para a ocorrência do evento topo definido.

Em seguida, a estruturação da árvore de falha foi dividida em subsistemas de acordo com a disciplina envolvida diretamente, conforme definido anteriormente e representado na Figura 3. Esse passo foi feito com intuito de facilitar o entendimento de todo o sistema, além de permitir identificar a contribuição de cada subsistema no cálculo da confiabilidade total. Essa abordagem pode ser visualizada graficamente na Figura 10, onde os oito subsistemas definidos estão ligados ao evento topo por uma porta OU.

Cada um dos eventos definidos e interligados ao evento topo foram desenvolvidos até o nível do evento básico correspondente. A representação gráfica da árvore de falha pode ser encontrada no **Error! Reference source not found.**

ANÁLISE QUANTITATIVA

Para a análise quantitativa da árvore de falha é fundamental os dados de confiabilidade dos eventos básicos. Assim como nas análises anteriores, a modelagem realizada considerou a taxa de falhas constante disponibilizadas pelo banco de dados OREDA.

A representação gráfica da probabilidade de falha presente na Figura 10 foi gerada para o período de análise correspondendo a 26.500h. Nela contém a probabilidade de falha do evento topo do lado direito da porta lógica OU indicada pelo número 1. Assim como, cada um dos eventos que contribuem para o evento que estão representados logo abaixo com a indicação de sua respectiva probabilidade de falha. As probabilidades resultantes permitem afirmar que o evento Falha de comunicação é o que tem a maior probabilidade de levar ao evento topo (38,19%), seguido da Falha eletrônica submarina (32,87%) e da Falha do acionamento das funções hidráulicas (16,49%).

O cálculo da probabilidade de falha foi feito para um período ligeiramente superior a três anos (26.500h). A Figura 11 resume o resultado da análise nesse período, sendo que o eixo das abscissas está na unidade de horas em escala logarítmica para manter a melhor disposição visual da curva. Nela é possível identificar que as probabilidades de falha para o período de 7.400 h e 26.500 h são, respectivamente, 17,35% e 67,52%. Em outros termos, a confiabilidade nos pontos destacados são 82,65% e 32,48%.

Outro aspecto interessante observado na Figura 11 é que nas primeiras 1.100h, considerando que o sistema foi devidamente instalado, testado e comissionado, a probabilidade de falha ao final desse período é de 1,78%. A partir desse momento, a probabilidade de falha cresce mais nitidamente seguindo a característica exponencial.

ANÁLISE QUALITATIVA

A avaliação qualitativa da árvore de falha foi realizada através da identificação dos cortes mínimos (cut sets), que consiste em determinar os conjuntos mínimos de eventos básicos necessários para causar a ocorrência do evento topo. Ou seja, o cut set mínimo pode ser verificado fazendo-se uma simulação do cenário onde todos os componentes que o compõe não estão operantes e os demais estão e o sistema permanece inoperante. Nessa condição, se um elemento do cut set volta a operar o sistema também retorna.

Na simulação feita no software R resultou em sessenta cut sets mínimos. Sendo treze de 1ª ordem, quarenta e um de ordem 2ª, quatro de 3ª ordem e dois de 4ª ordem. A ordem indica a quantidade de elementos (eventos básicos) que compõe o cut set. Não foram identificados conjuntos com ordem superior a quatro.

Os elementos mais críticos identificados a partir desse tipo de análise são os cut sets que apresentam a menor quantidade de elementos. Por exemplo, um cut set de um elemento significa que caso esse componente falhe todo o sistema ficará inoperante. Entretanto, dado a quantidade de conjuntos, eles foram ordenados em ordem decrescente em relação ao

peso relativo das suas probabilidades de ocorrência. A Tabela traz os quatorze cut sets que representam, proporcionalmente, 94,73% das probabilidades de falha de todos os conjuntos encontrados. Logo, os demais quarenta e seis conjuntos são responsáveis por 5,27%.

Assim, os eventos básicos e as respectivas combinações listados na coluna Cut sets da Tabela são as falhas mais prováveis de acontecer e indicam os pontos críticos do sistema de controle submarino quando se considera como evento topo a perda de controle do poço. A coluna peso relativo informa o quanto a probabilidade daquele cut set representa em relação a todo o conjunto encontrado na análise. A coluna total indica o somatório dos percentuais dos conjuntos mínimos.

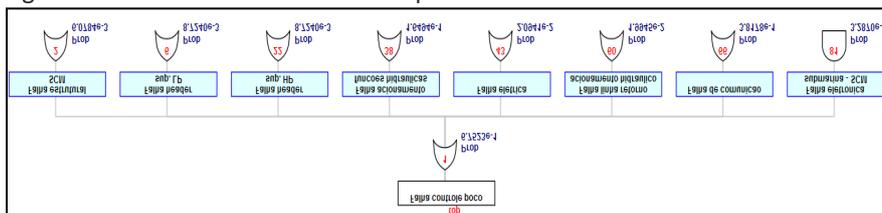
O conjunto {E20, E37}, que tem o maior peso relativo, contém as falhas relacionadas ao sistema de controle de superfície das MCS A e MCS B, respectivamente. O evento E19, segunda linha na Tabela 1, ainda está relacionado ao sistema de superfície e modela o somatório das taxas de falhas de operação espúria, saída errônea do controlador e falhas desconhecidas. O evento E8 indica as falhas de vazamento hidráulico para o meio interno ou externo das DCVs que executam as vinte funções de controle do SCM. Já os seis conjuntos subsequentes estão ligados a eventos de falha nos componentes eletrônicos submarinos (E27 e E44 – falha nos sensores de vazão do SCM, E26 e E43 – falha dos sensores de pressão do SCM e E25 e E42 – falha das SEMs).

Tabela 1 – Cut sets com probabilidade mais altas

| Cut sets | Prob. de Falha | 1 – PF (Confiabilidade) | Peso relativo | Total |
|----------|----------------|----------------------------|---------------|--------|
| E20,E37 | 0,277570900000 | 0,722429100000 | 23,05% | 23,05% |
| E19 | 0,144130000000 | 0,855870000000 | 11,97% | 35,01% |
| E8 | 0,105360000000 | 0,894640000000 | 8,74% | 43,76% |
| E27,E44 | 0,076778870000 | 0,923221130000 | 6,37% | 50,13% |
| E26,E44 | 0,075498710000 | 0,924501290000 | 6,27% | 56,40% |
| E27,E43 | 0,075498710000 | 0,924501290000 | 6,27% | 62,67% |
| E26,E43 | 0,074239900000 | 0,925760100000 | 6,16% | 68,83% |
| E25,E44 | 0,052115090000 | 0,947884910000 | 4,33% | 73,16% |
| E27,E42 | 0,052115090000 | 0,947884910000 | 4,33% | 77,49% |
| E10 | 0,051637000000 | 0,948363000000 | 4,29% | 81,77% |
| E25,E43 | 0,051246160000 | 0,948753840000 | 4,25% | 86,03% |
| E26,E42 | 0,051246160000 | 0,948753840000 | 4,25% | 90,28% |
| E25,E42 | 0,035374090000 | 0,964625910000 | 2,94% | 93,22% |
| E13,E36 | 0,018219600000 | 0,981780400000 | 1,51% | 94,73% |

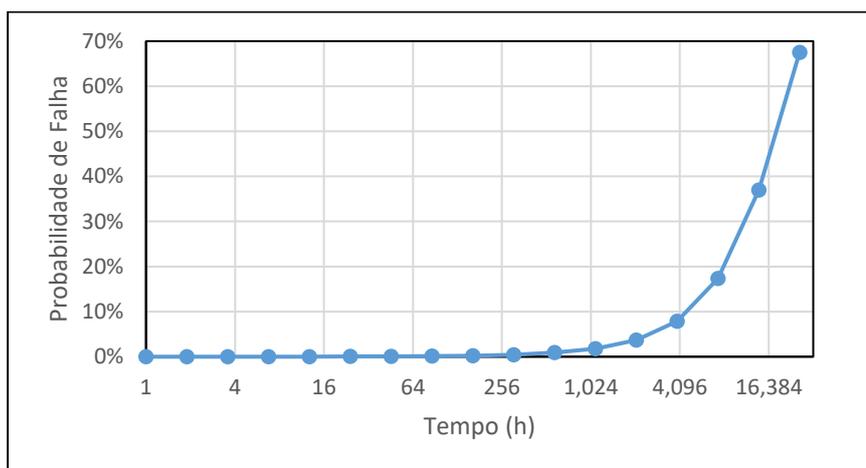
Autoria própria (2017)

Figura 10 – Árvore de falha: Evento topo



Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 11 – Probabilidade de falha pela AAF



Fonte: Autoria própria (2017)

CONCLUSÕES

Essa pesquisa contribuiu na aplicação da engenharia de confiabilidade na indústria de equipamentos submarinos aplicados na produção de óleo e gás, mais especificamente em sistemas de controle submarinos de poços do pré-sal brasileiro. Um sistema de controle de poços submarinos foi descrito, em termos de sua funcionalidade, de modo a facilitar a compreensão do estudo. Também foram apresentados os principais equipamentos que compõe os sistemas submarinos de produção de petróleo.

O conceito de confiabilidade, normas, ferramentas de análise de confiabilidade e o banco de dados de falhas mantido pela OREDA para equipamentos utilizados no meio offshore foram apresentados. Com uso do diagrama de blocos de confiabilidade e dos dados de taxa de falha da OREDA, foi realizado o cálculo da previsão da confiabilidade de um sistema de controle eletro-hidráulico de poços submarinos de produção de petróleo.

O software R é uma ferramenta que permite a construção e análise quantitativa e qualitativa de árvore de falha. A forma de construção através de linhas de comando, apesar de não ser usual quando comparado à softwares comerciais, não gerou nenhuma dificuldade relacionada a essa característica. Além disso, por ser um projeto aberto e livre há diversos exemplos disponíveis que facilitam o uso da ferramenta.

O estudo de confiabilidade por árvore de falha encontrou uma probabilidade de 32,48% do sistema estar operacional passadas 26.500h. As falhas que mais influenciam na probabilidade da ocorrência do evento topo são Falha de comunicação (38,19%), seguido da Falha eletrônica submarina (32,87%) e da Falha do acionamento das funções hidráulicas (16,49%). Sendo estas probabilidades calculadas para o tempo de missão de 26.500h.

Na análise qualitativa da árvore de falha foram encontrados sessenta cut sets. Destes conjuntos, quatorze deles são responsáveis por 94,73% das probabilidades de todos os conjuntos encontrados. Os eventos básicos presentes nos conjuntos mais representativos estão relacionados a falha do sistema de controle de superfície MCS A e MCS B, falhas de operação espúria, saída errônea do controlador e falhas desconhecidas no sistema de superfície, falhas de vazamento hidráulico para o meio interno ou externo das DCVs que executam as vinte funções de controle do SCM e falha nos componentes eletrônicos submarinos (falha nos sensores de vazão do SCM, falha dos sensores de pressão do SCM e falha das SEMs).

Reliability analysis of subsea multiplexed control system using fault tree

ABSTRACT

The oil industry plays an extremely important role in the Brazilian economy. In 2014, for example, the oil and gas sector accounted for 13% of Brazil's GDP. Most of this oil has been and will be supplied from offshore reservoirs. The subsea production system has some unique aspects related to human access for installation and maintenance, what demands complex and unusual resources. Thus, the present article aims to perform a quantitative and qualitative analysis of the reliability of the subsea multiplex control system applied in oil and gas production. In the development of the research, a functional analysis of the control system is done to define the function to be analyzed through the fault tree, and failure rate data was obtained from OREDA. The failure probabilities when the system achieves 7,400 h and 26,500 h are, respectively, 17.35% and 67.52%. In other words, the reliability at the observed points is 82.65% and 32.48%.

KEYWORDS: Control system. Reliability analysis. Subsea equipment. Fault tree.

REFERÊNCIAS

BAI, Y.; BAI, Q. **Subsea engineering handbook**. Burlington, MA: Gulf Professional Pub, 2010.

ČEPIN, M. Fault Tree Analysis. In: ČEPIN, M. (Ed.) **Assessment of Power System Reliability**. London: Springer London, 2011. p. 61–87. **crossref**

EIA. **International Energy Outlook 2016**. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration, 2016.

ESKRIDGE, G. Emerging Complex Subsea Sensor Systems Data Transmission Challenges. **Ocean News & Technology**, 3 mar. 2015.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. [s.l.: s.n.].

GE OIL AND GAS. **Subsea Manifolds and Connection Systems Brochure**, 2017. Disponível em: <https://www.geoilandgas.com/sites/geog.dev.local/files/ge-subsea-manifolds-connection-systems-brochure_0.pdf>

IEC 61025. **IEC 61025 - Fault tree analysis (FTA)**, 2006.

ISO 13628-6. **Petroleum and natural gas industries - Design and operation of subsea production systems -- Part 6: Subsea production control systems**, 2006. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=35530>. Acesso em: 11 jan. 2017

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Economia edition ed. [s.l.] Qualitymark, 2001.

LIN, J.; YUAN, Y.; ZHANG, M. Improved FTA Methodology and Application to Subsea Pipeline Reliability Design. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, p. e93042, 25 mar. 2014. **crossref**

OREDA (ED.). **Offshore and onshore reliability data handbook. Volume 2: Subsea equipment**. 6th edition ed. Norway: OREDA Participants, 2015.

XING, L.; AMARI, S. V. Fault tree analysis. In: **Handbook of performability engineering**. [s.l.] Springer, 2008. p. 595–620. **crossref**

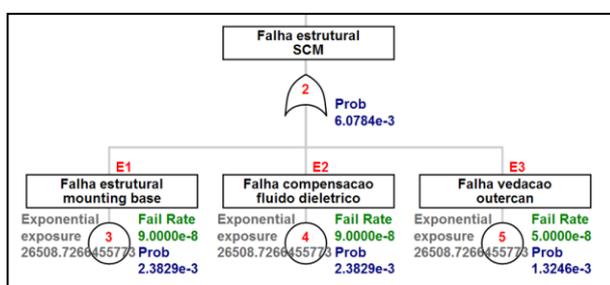
APÊNDICE

Figura 12 – Árvore de Falha SCS.



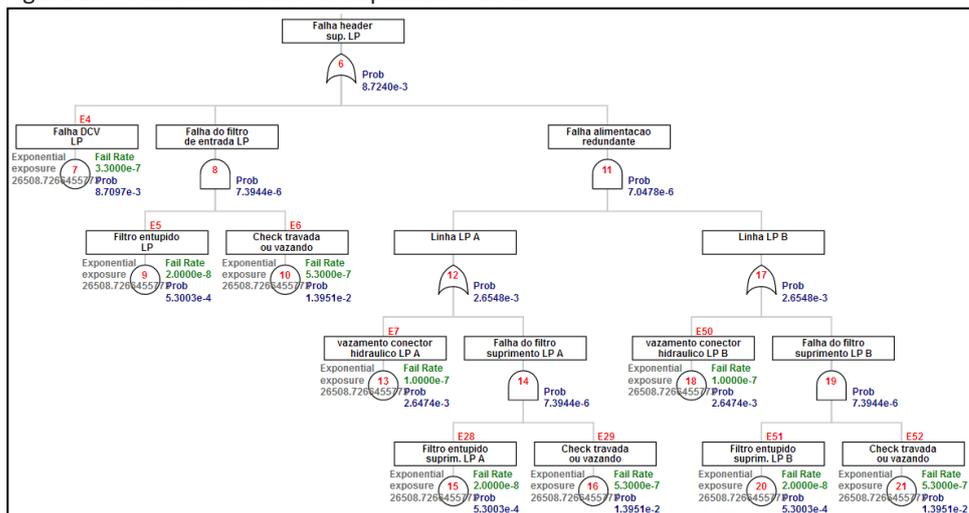
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 13 – Falha estrutural do SCM.



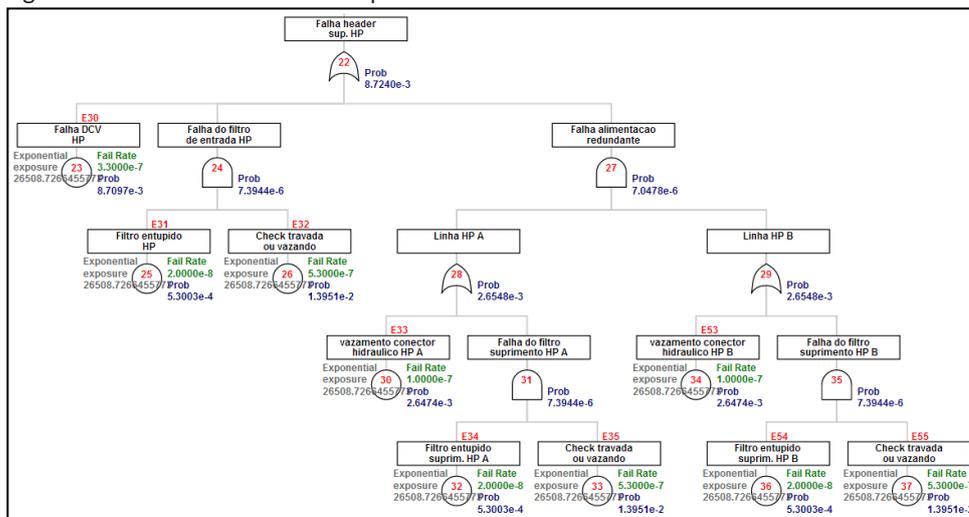
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 14 – Falha no header de suprimento de LP



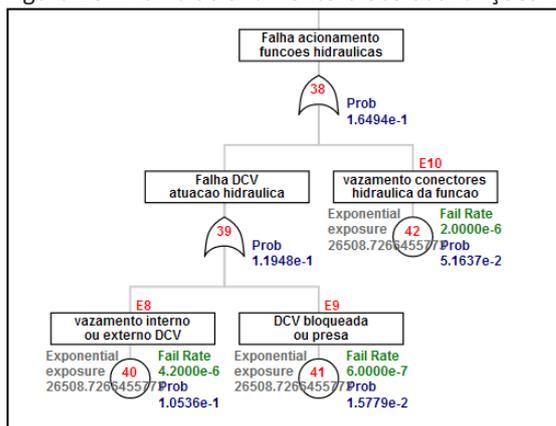
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 15 – Falha no header de suprimento de HP



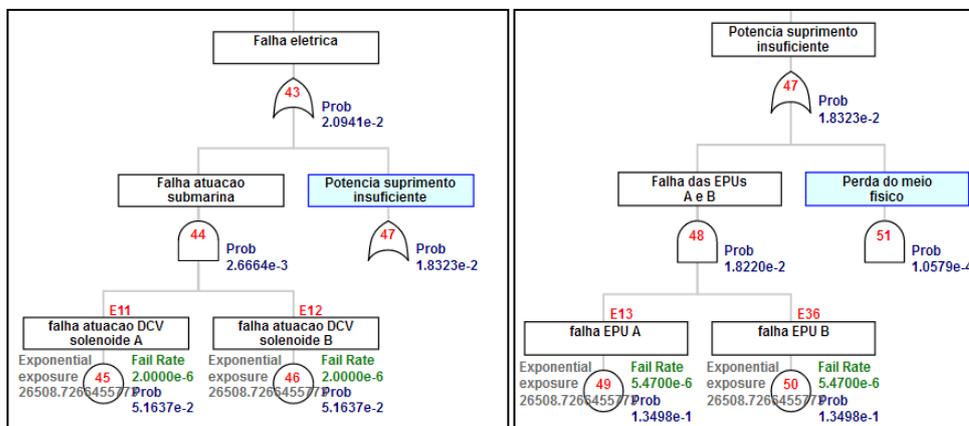
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 16 – Falha acionamento bloco das funções hidráulicas



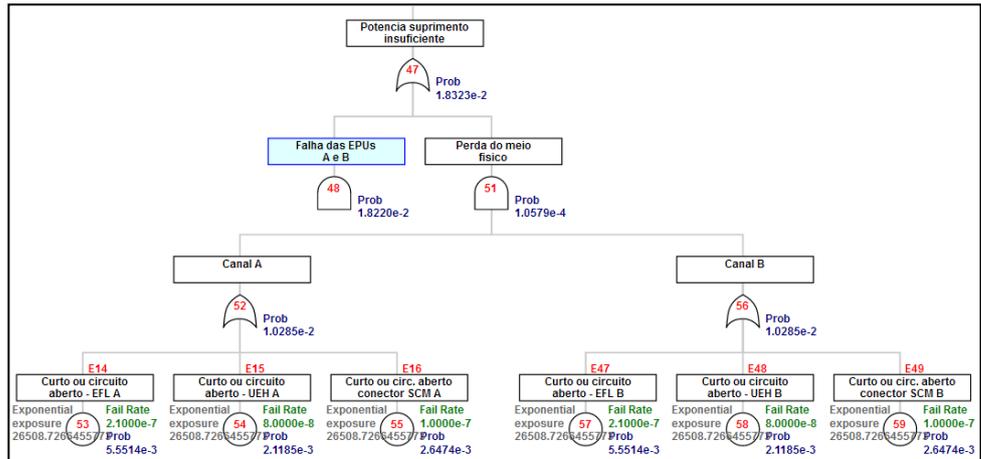
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 17 – Falha elétrica



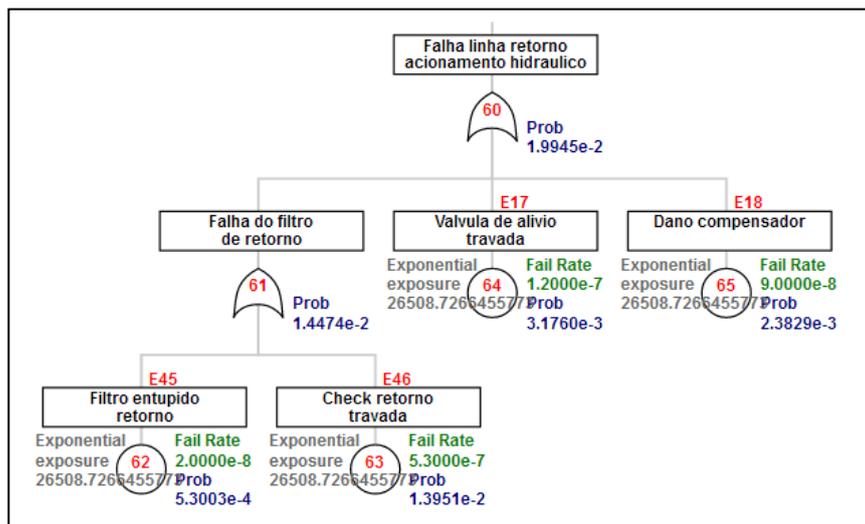
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 18 – Falha elétrica (continuação)



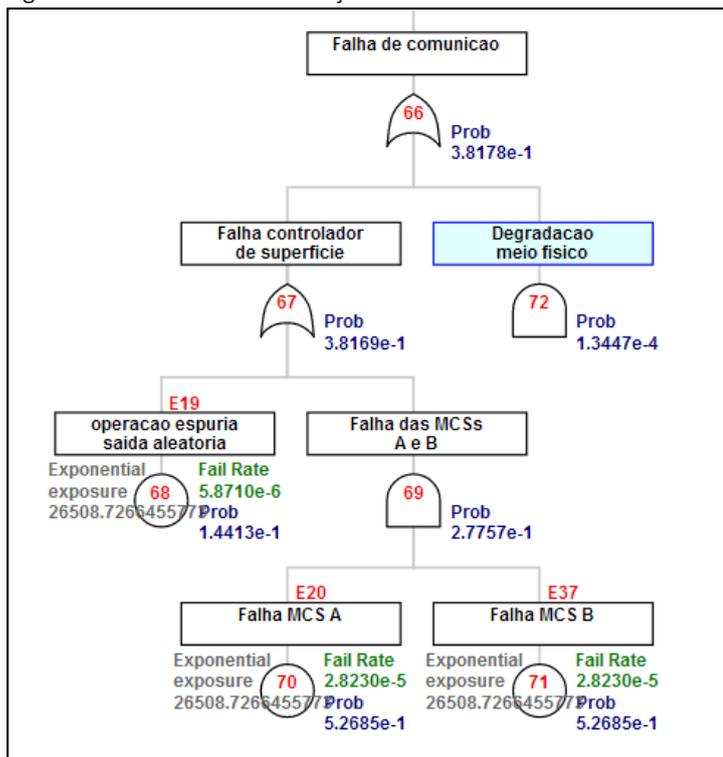
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 19 – Falha do sistema de retorno



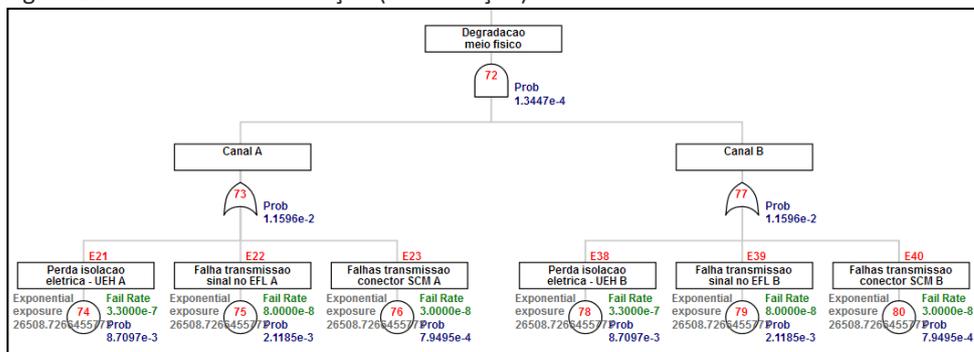
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 20 – Falha de comunicação



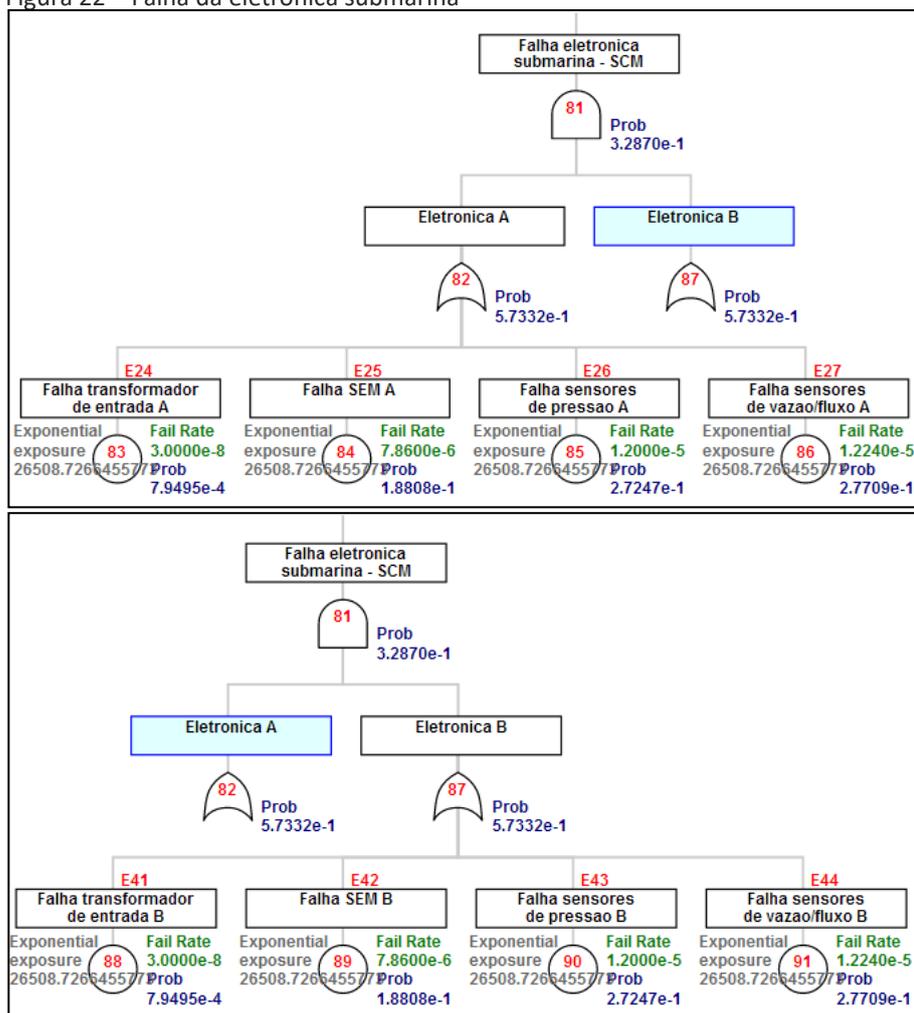
Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 21 – Falha de comunicação (continuação)



Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 22 – Falha da eletrônica submarina



Fonte: Autoria própria (2017)

Recebido: 09 out. 2017

Aprovado: 21 abr. 2018

DOI: 10.3895/gi.v14n2.7113

Como citar:

SILVA, A. H. M.; DA HORA, H. R. M.; FERNANDES, R. M. Análise de confiabilidade de um sistema de controle multiplexado de poços submarinos utilizando árvore de falha. **R. Gest. Industr.**, Ponta Grossa, v. 14, n. 2, p. 1-22, abr./jun. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rgi>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Antonio Heverton Martins Silva

Rua Cel. Sizenando de Souza, número 760, Bairro Visconde de Araújo, Macaé, RJ, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

