

Classificação de Criticidade de Componente de um Manifold Submarino Usando FMECA

Andressa dos Santos Nicolau, Maximiano Correa Martins e Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo

Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear

Marcelo Ramos Martins

Universidade de São Paulo – USP. Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco – LabRisco, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo - USP

Adriana Miralles Schleder

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Itapeva / Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco – LabRisco, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo - USP

RESUMO

Os manifolds submarinos são equipamentos essenciais em um sistema de produção de campos de petróleo e gás em águas profundas, e têm por missão coletar e direcionar os fluidos provenientes dos poços para as Unidades de exploração e de produção, além de fazer o monitoramento e aquisição dos dados, e a distribuição de fluidos injetores, como a água e gás lift. Consequentemente, a falha do manifold submarino pode causar danos graves ao meio ambiente e à saúde humana, bem como a parada da produção ocasionando perda de grandes divisas. Portanto, garantir a confiabilidade desses equipamentos é de fundamental importância para a indústria petrolífera. Com base na metodologia FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), este artigo apresenta um estudo de classificação de criticidade de 9 componentes de um manifold submarino, onde foram destacados seus modos de falha, efeitos das falhas, métodos de detecção de falha, classe de severidade da falha, probabilidade de efeito da falha, taxa de falha, tempo de operação, e criticidade do modo de falha. Os resultados deste estudo fornecem informações sobre os pontos fracos do equipamento manifold submarino e também meios para apoio à decisão para uma política de manutenção, inspeção e teste da indústria petrolífera.

Palavras-chave: Manifold, FMECA, RBI, Modo de Falha, Criticidade, Offshore

1. INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo ocupa uma posição de destaque na matriz energética brasileira, sendo uma das principais fonte de energia. Nos últimos anos, os avanços nessa área estão relacionados às descobertas de jazidas de petróleo em águas profundas, que necessitam de plataformas marítimas e de sistemas submarinos de coleta ou de produção.

Os custos envolvidos na implementação de projetos da indústria do petróleo são muito elevados, e quando se referem a regiões de grandes profundidades os custos são ainda maiores, dessa forma é necessária a implantação de uma política para inspeção, manutenção e testes bem estruturada de modo a tornar as atividades mais viáveis economicamente. Os investimentos em dispositivos manifolds submarinos são um exemplo, pois ele otimiza o layout submarino, diminuindo o número de risers e dutos necessários para o escoamento da produção. Apesar de ser um equipamento que torna as atividades exploratórias mais rentáveis, seu procedimento de instalação ainda é muito complexo, devido às condições ambientais nele envolvidas,

1 MS, Engenheiro Mecânico – EMPRESA

2 PhD, Engenheiro Elétrico - EMPRESA

3 MS, Consultor - EMPRESA

fazendo com que as janelas operacionais sejam muito restritas e conservadoras, aumentando, assim, o custo envolvido na operação. [1]

Sistemas submarinos de coleta ou de produção são definidos como um conjunto de componentes e dutos destinados a viabilizar o escoamento do petróleo e gás dos poços até a unidade de produção. Entre os principais componentes que compõem este sistema destacam-se: manifolds submarinos; dutos submarinos; ANM (Árvore de Natal Molhada); PLET (*Pipe Line End Termination*), PLEM (*Pipe Line End Manifold*), etc. [2]

De acordo com LIMA, 2007 [3] “...*manifolds submarinos são basicamente formados por um conjunto de sensores, tubos, válvulas, instrumentos de monitoração e controle montados sobre uma estrutura metálica, que tem como finalidade coletar o fluxo proveniente de diversos poços, reunindo em um único duto, ou distribuir o fluxo proveniente da UEP para vários poços de injeção ou como método de elevação artificial...*”

A vantagem de utilizar um *Manifold* é a redução do comprimento de dutos e a possível redução do custo de investimento, redução de *risers* na plataforma que pode ser importante por indisponibilidade de espaço ou capacidade da plataforma de suportar o peso destes *risers*. Por outro lado, uma das desvantagens é que a indisponibilidade do *Manifolds* pode trazer impactos grandes, já que se trata de um equipamento importante para o fluxo do processo.

Sendo assim, garantir a confiabilidade dos componentes manifolds é de fundamental importância para a indústria petrolífera. Com base na metodologia FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), este artigo apresenta um estudo de classificação de criticidade de 9 componentes de um manifold submarino, onde são destacados seus modos de falhas, efeitos das falhas, métodos de detecção de falha, classe de severidade da falha, probabilidade de efeito da falha, taxa de falha, tempo de operação e a criticidade do modo de falha.

2. MANIFOLD

A estrutura “central” em um campo submarino é o *Manifold*, ele é o elo entre o campo submarino e a instalação de produção. O *Manifold* consiste em uma rede de tubos e válvulas para coleta e distribuição do fluxo de produção, que tem por objetivo coletar e direcionar os fluidos provenientes dos poços para as Unidades de Exploração e de Produção e fazer o monitoramento e aquisição dos dados, analisando o funcionamento do sistema de produção no fundo do mar, para garantir sua integridade e segurança. Além disso, o manifold é responsável por fazer a distribuição de fluidos injetores, como a água e gás lift. [4]

Devido à complexidade dos campos petrolíferos em águas profundas, o manifold é um equipamento essencial para o desenvolvimento dessas regiões, uma vez que reduz o número de *risers* conectados à Unidade de Produção, otimizando o arranjo do layout submarino e diminuindo as cargas impostas por essas estruturas nas Unidades. A Figura 1 apresenta um layout de um campo submarino e como os vários componentes são interligados ao manifold.

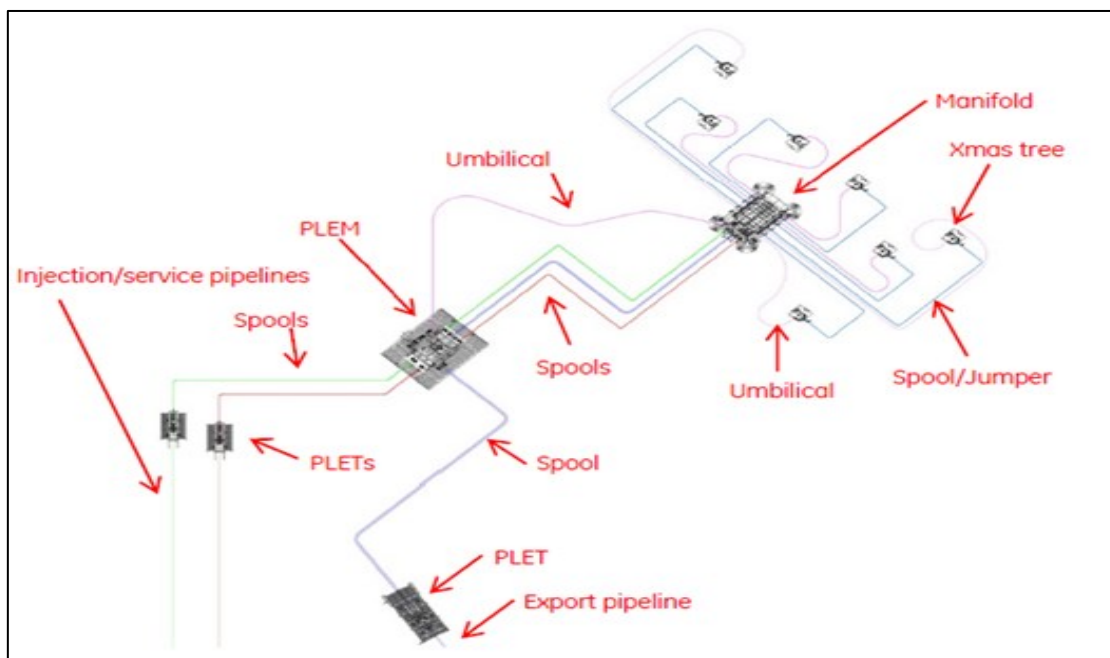


Fig 1 – Subsea Field [5]

Os *manifolds* são formados por diversos componentes/equipamentos, cada qual com uma função específica. Como por exemplo, sistemas de controle, estruturas de base e suporte, conectores, módulos de controle, as válvulas *chokes*, válvulas de controle, válvulas de isolamento, tubos, módulos de conexão vertical (MCV), tubulações, sensores, etc.

Os *manifolds* submarinos sofreram modificações ao longo do tempo a fim aumentar sua disponibilidade operacional. De acordo com Santos, et. al. 2019 [6], componentes de pouca disponibilidade operacional passaram a ser instalados no manifold em módulos recuperáveis, facilitando o recolhimento para reparo na superfície quando necessário.

Existem basicamente três tipos de *manifolds* [7] que podem ser construídos de acordo com as especificações e demandas do projeto, são eles: *manifold* do tipo cluster - que é um módulo independente dos sistemas de poços. Os poços perfurados em torno da estrutura são conectados a ela através de jumpers submarinos. Isso permite que a estrutura seja instalada antes ou durante a perfuração dos poços, possibilitando a produção antecipada de poços já perfurados; *manifolds* do tipo modular são similares aos do tipo cluster, porém apresentam um conceito mais flexível, com partes removíveis que poderão ser trocadas ao longo da vida útil da estrutura; e *manifold* do tipo *template* que recebem diretamente as cabeças de poços direcionais, permitindo que os poços sejam diretamente conectados à estrutura do *manifold*.

O sistema de controle de um *manifold* submarino é responsável pela atuação das válvulas e monitoramento dos sensores. As válvulas atuadas têm a função de travar e destravar conectores e dar passagem ao fluido de produção e fluidos de injeção (injeção química, água e gás). No projeto de um sistema de controle, a escolha da localização e distribuição dos seus dispositivos é crucial para a obtenção de um sistema eficiente, pois ela está diretamente ligada aos custos de operação e construção. Um bom projeto pode reduzir a quantidade de cabos, tubulações, conectores, manobras de instalação e operações de recuperação para manutenção. [8]

O tipo de manifold, e consequentemente seu sistema de controle foi baseado em 3 fontes principais: OREDA [9, 10], fornecedores FMC Technologies e Marlin Manifold e reuniões com especialistas da Petrobrás. A Figura 2 apresenta o diagrama do tipo do manifold e o seu sistema de controle considerado neste trabalho.

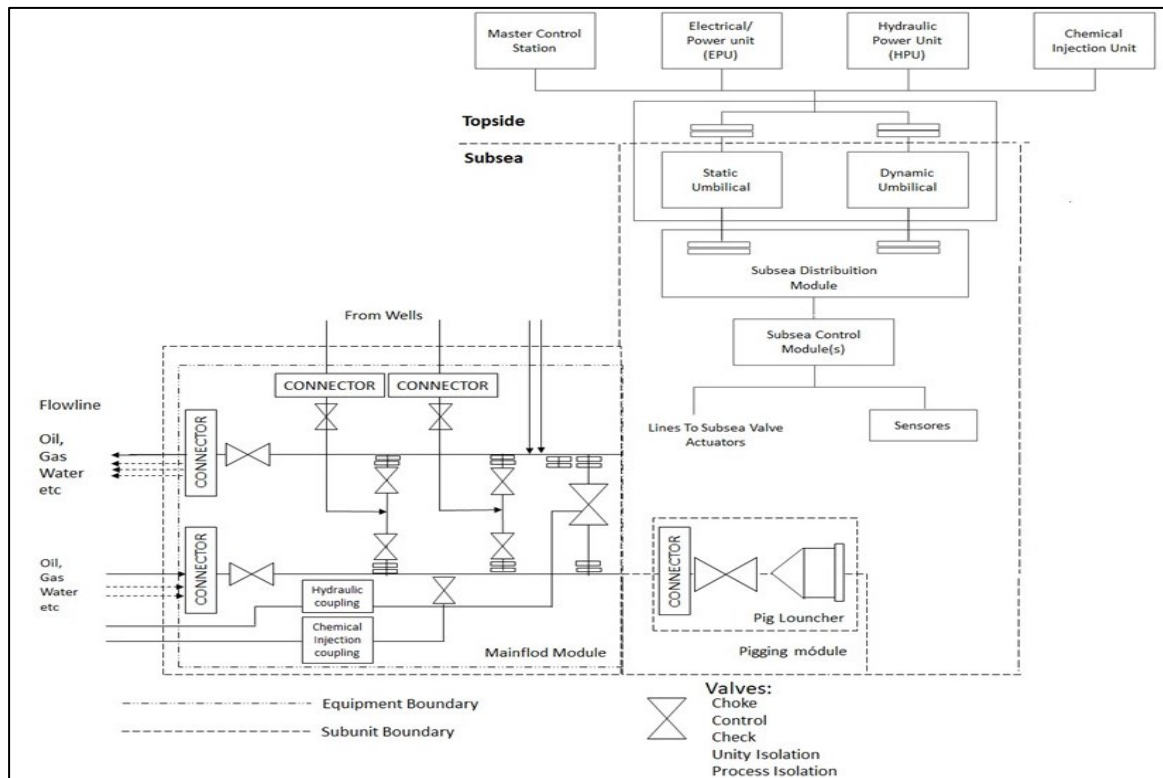


Fig 2 – Modelo de Manifold adotado neste estudo (Oreda 2015).

3. FMECA

A metodologia FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*) foi desenvolvida pela indústria automobilística nos anos 70 como uma técnica de avaliação da confiabilidade de equipamentos militares, e ao longo dos anos tem sido aplicada com sucesso em diferentes áreas do conhecimento.

A FMECA é uma técnica analítica indutiva, orientada por dados, usada para análise quantitativa de falhas em diferentes áreas do conhecimento. De modo geral, pode-se dizer que os elementos presentes em uma FMECA são: Causa(s) – motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, Modo de Falha – Maneira com que o item falha, ou deixa de apresentar o resultado esperado, Efeito(s) – Forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido, e Criticidade – mede a combinação de gravidade e probabilidade de cada item. [11]

A aplicação da FMECA de maneira correta pode, por exemplo, minimizar ou eliminar a ocorrência de falhas, aumentar a viabilidade do Sistema, avaliar os riscos associados a cada falha, apontar os pontos fracos do Sistema, reduzir custos, etc.

A construção da FMECA para o Manifold submarino, abordado neste trabalho, foi baseada nas etapas sugeridas por MIL-STD-1629A [12]

1. Levantamento bibliográfico de modos de falha e dados de falha de equipamentos manifold submarinos, PLET E PLEM;
2. Determinação dos modos de falha, causas, efeitos e consequências dos modos de falha de cada equipamento, métodos de detecção, probabilidade do efeito da falha, fração do modo de falha, taxa de falha e tempo de operação;

3. Definição de classe de severidade para os modos de falha;
4. Estabelecimento de uma classificação de criticidade do modo de falha e do equipamento.

Para a classificação da severidade de cada modo de falha usaram-se os valores de referência listados na Tabela 1.

Tab.1 – Valores de referência para as categorias de severidade e de risco

Severidade da Consequência*		Categorias de frequência**				
		A	B	C	D	E
		Extremamente remota	Remota	Pouco Provável	Provável	Frequente
Categoria	Valor de referência	7,50E-07	2,50E-04	7,50E-04	2,50E-01	7,50E-01
V Catastrófica	4,00E+06	3,00E+00	1,00E+03	3,00E+03	1,00E+06	3,00E+06
IV Crítica	1,20E+04	9,00E-03	3,00E+00	9,00E+00	3,00E+03	9,00E+03
III Média	4,00E+03	3,00E-03	1,00E+00	3,00E+00	1,00E+03	3,00E+03
II Marginal	1,20E+01	9,00E-06	3,00E-03	9,00E-03	3,00E+00	9,00E+00
I Desprezível	4,00E+00	3,00E-06	1,00E-03	3,00E-03	1,00E+00	3,00E+00

*Os valores de referência para as categorias de severidade da consequência são adimensionais;

** Os valores de referência para as categorias de frequência são dados em número de ocorrência por ano.

Os valores de referência para as categorias de severidade foram calculados considerando os valores médios dos intervalos atribuídos às categorias de frequência, conforme a Tabela 2.

Tab.2 - Limites de Frequência calculados [ocorrências por ano]

Categoria	A	B	C	D	E
Mínimo	5,00E-07*	1,00E-06	5,00E-04*	1,00E-03	5,00E-01*
Máximo	1,00E-06	5,00E-04*	1,00E-03*	5,00E-01	---

Para o cálculo da criticidade dos componentes do manifold, foi utilizado a equação 1.

$$C = PEF * FMF * TF * T \quad (1)$$

onde,

C criticidade do modo de falha;
 PEF probabilidade do efeito de falha;
 FMF fração do modo de falha;
 TF taxa de falha;
 T tempo de operação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o desenvolvimento da FMECA do manifold, 9 equipamentos foram selecionados e foram levantados 12 modos de falha: entupimento/estrangulamento, vazamento externo – meio do processo, falha em funcionar sob demanda, saída alta, causa combinada comum, vazamento na posição fechada, falha no isolamento, falha em fechar sob demanda, falha ao abrir/destravar, operação espúria, operação atrasada/retardada, e deficiência estrutural. Foi considerado para cada equipamento um tempo de operação de $2,63 \times 10^4$ horas (ou seja, 3 anos).

O efeito final da falha do equipamento no manifold foi avaliado em função de: interrupção da produção (IP), redução da produção (RP), ruptura (RUP), poluição do meio ambiente (PMA), entupimento (ENT), vazamento (VAZ) e colapso estrutural (CE). Por outro lado, os meios de detecção foram analisados em função de: inspeção por ROV (ROV), medição de potencial eletroquímico (PE), formação de hidrato no local (FH), e manchas no mar (MM).

A Tabela 3 apresenta a FMECA do manifold, onde são destacados: os componentes do manifold, os modos de falha dos componentes, as causas, o efeito final no manifold, o método de detecção da falha, a probabilidade de detecção da falha, a classe de severidade, a probabilidade do efeito da falha, a fração do modo de falha, a taxa de falha, o tempo de operação, a criticidade do modo de falha e a criticidade do item.

Os componentes do Manifold apresentados na Tabela 3 referem-se a um Manifold típico. Foram consultadas informações contidas em [9] para estabelecer estes componentes, bem como os seus respectivos modos de falha.

A análise das causas dos modos de falha levantadas foi efetuada caso a caso, onde se procurou levantar as causas possíveis. Da mesma forma, os efeitos finais de cada modo de falha (seguindo as siglas apresentadas anteriormente) também foi realizada considerando cada modo de falha e sua(s) respectiva(s) causa(s).

Em relação aos métodos de detecção de falhas, dada a dificuldade de obtenção de dados de campo, foram feitas algumas hipóteses, usando-se as siglas já discutidas para caracterizar o(s) método(s) empregado(s) em cada caso.

Apesar de existirem algumas indicações gerais em [11] para a estimativa das probabilidades de detecção de falhas, foram feitas algumas considerações específicas sobre o Manifold para se estimar as probabilidades de detecção apresentadas na sexta coluna da Tabela 3.

A definição de cada classe de severidade na sétima coluna da Tabela 3 foi efetuada considerando-se a Tabela 1.

Em relação à probabilidade do efeito de cada falha, existem algumas indicações gerais em [11] mas, também neste caso, mesmo respeitando essas indicações gerais, fizeram-se algumas hipóteses gerais para a obtenção das probabilidades ali lançadas.

A fração do modo de falha, apresentada na nona coluna da Tabela 3, está relacionada com a contribuição de cada modo de falha para a taxa de falha do componente.

A criticidade de cada modo de falha, apresentada na décima coluna da Tabela 3, foi calculada usando-se a Eq. (1). Já a criticidade de cada item foi calculada somando-se as criticidades dos seus modos de falha.

Um comentário importante a fazer neste contexto refere-se às taxas de falha empregadas na análise. Foram usados os dados encontráveis em [9]. Esses dados não são apresentados aqui por razões de direitos autorais.

Tab.3 – FMECA componentes *Manifolds*

<i>Equipamentos (itens reparados ou substituídos como um todo)</i>	Modos de falha (Equipamentos)	Causas	<i>Efeito final (sistema)</i>	Método de detecção da falha	Prob de detecção	Classe de severidade	Prob. do efeito da falha (β)	Fração do modo de falha (α)	Criticidade do modo de falha	Criticidade do item	
Conector	Vazamento externo- meio do processo	Bloqueio	IP, PMA	ROV, FH, MM	7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,00E+00	7,10E-03	2,84E-02	
		Vazamento			7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,00E+00	7,10E-03	2,84E-02	
		Afrouxamento	IP		7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,00E+00	7,10E-03	2,84E-02	
		Falha material geral		ROV.	7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,00E+00	7,10E-03	2,84E-02	
Acoplamento Hidráulico	Outros	Bloqueio	IP, RUP, PMA	Inspeção com ROV. Formação de hidrato no local. Visualização de manchas no mar	7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,00E-01	3,94E-04	7,88E-04	
	Falha no isolamento	Falha de liberação/ alinhamento	PMA, IP.	Inspeção com ROV. Formação de hidrato no local. Visualização de manchas no mar	7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,00E-01	3,94E-04	7,88E-04	
Isolamento	Falha no isolamento	Fadiga	IP, PMA	ROV.	3,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,00E+00	1,02E-01	1,22E-01	
		Falha mecânica geral			5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	1,00E+00	2,02E-02	1,22E-01	
Tubulação	Vazamento externo-meio ambiente	Bloqueio	IP, RUP, PMA	ROV, FH, MM	7,00E-01	Catastrófica - (V)	1,00E+00	1,00E+00	8,15E-03	3,11E-02	
	Entupimento/estrangulamento	Corrosão	RP, RUP, PMA	ROV, FH, PE	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	6,54E-01	2,01E-02	3,11E-02	
	Vazamento externo- meio do processo	Vazamento	IP, PMA	ROV, FH, MM	7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,73E-01	1,41E-03	3,11E-02	
	Vazamento externo- meio do processo	Falha mecânica geral	RP, RUP, PMA	ROV	7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,73E-01	1,41E-03	3,11E-02	
Estrutura protetiva	Deficiência Estrutural	Afrouxamento	VAZ, PMA, CE	ROV, PE	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,00E-01	1,12E-02	2,23E-02	
		Rede de Arrasto			7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,00E-01	1,12E-02	2,23E-02	
Estrutura de Suporte	Deficiência Estrutural	Corrosão	VAZ, PMA, CE, IP	IROV, FH, PE	7,00E-01	Marginal - (II)	5,00E-02	1,00E+00	1,35E-03	1,35E-03	
Válvula choke	Vazamento externo- meio do processo	Vazamento	IP, PMA	ROV, FH, MM	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,00E+00	1,11E-01	1,11E-01	
Válvula de controle	Falha em funcionar sob demanda	Bloqueio	RP, RUP, PMA		7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	6,02E-03	2,53E-05	3,20E-01	
	Saída alta	Fora de ajuste			7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	4,10E-02	1,17E-03	3,20E-01	
	Entupimento/estrangulamento	Bloqueio			7,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	4,76E-01	1,59E-01	3,20E-01	
	Entupimento/estrangulamento	Fora de ajuste			5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	4,76E-01	1,59E-01	3,20E-01	
	Causa combinada ou comum	Deformação			ROV, FH, PE	5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	4,88E-01	1,28E-03	3,20E-01
	Falha em funcionar sob demanda	Bloqueio	PMA, IP		ROV, FH, MM	7,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	1,71E-01	1,57E-04	3,20E-01
	Vazamento na posição fechada	Vazamento				7,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	1,71E-01	1,57E-04	3,20E-01
	Falha em funcionar sob demanda	Estrangulamento				RP, ENT	7,00E-01	Média - (III)	1,00E+00	1,71E-01	3,14E-04

<i>Equipamentos (itens reparados ou substituídos como um todo)</i>	Modos de falha (Equipamentos)	Causas	<i>Efeito final (sistema)</i>	Método de detecção da falha	Prob de detecção	Classe de severidade	Prob do efeito da falha (β)	Fração do modo de falha (α)	Criticidade do modo de falha	Criticidade do item
Válvula de isolamento de processo	Vazamento externo	Bloqueio	PMA, IP	ROV, FH, MM	7,00E-01	Catastrófica - (V)	1,00E+00	1,00E+00	2,10E-03	7,10E-03
	Causa combinada ou comum	Vazamento			5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,52E-02	3,98E-06	7,10E-03
	Vazamento externo- meio do processo	Corrosão	RP, RP, PMA		3,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,36E-01	3,23E-04	7,10E-03
	Falha em abrir/destravar	Bloqueio			5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,21E-01	2,55E-04	7,10E-03
	Vazamento na posição fechada	Vazamento	PMA, IP .		5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,52E-01	3,98E-04	7,10E-03
	Operação espúria	Falha de controle	RP, RP, PMA	ROV	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,36E-01	3,23E-04	7,10E-03
	Outros	Vazamento			5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	3,03E-02	1,59E-05	7,10E-03
	Operação Atrasada/retardada	Vazamento	RP		5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	1,82E-01	4,78E-05	7,10E-03
	Vazamento externo - meio da utilidade	Falha mecânica estrutural	PMA, IP	ROV, FH, MM	7,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	9,09E-02	1,19E-05	7,10E-03
	Vazamento na posição fechada	Estrangulamento			5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	4,55E-01	2,99E-04	7,10E-03
	Operação espúria	Falha material geral	RP	ROV.	5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	2,73E-01	1,08E-04	7,10E-03
	Operação Atrasada/retardada	Falha de controle	RP, RP, PMA	ROV.	5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	5,00E-01	1,97E-04	7,10E-03
	Vazamento externo- meio do processo	Falha material geral		ROV.	3,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	1,67E-01	2,19E-05	7,10E-03
	Falha em abrir/destravar	Bloqueio	PMA, IP .	ROV, FH, MM	5,00E-01	Média - (III)	5,00E-01	3,33E-01	8,76E-05	7,10E-03
Válvula de isolamento de utilidade	Operação Atrasada/retardada	Falha de controle	RP	ROV	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,58E-01	1,24E-04	1,95E-03
	Falha em Fechar na demanda	Falha de controle		ROV	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	1,58E-01	1,24E-04	1,95E-03
	Falha em abrir/destravar	Falha material geral		ROV	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,26E-02	1,38E-05	1,95E-03
	Vazamento na posição fechada	Vazamento	PMA, IP	ROV, FH, MM	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,79E-01	1,67E-03	1,95E-03
	Entupimento/estrangulamento	Falha material geral	RP, RP, PMA	ROV	5,00E-01	Crítica - (IV)	1,00E+00	5,26E-02	1,38E-05	1,95E-03

De acordo com a Tabela 3 o modo de falha catastrófico é o vazamento externo meio ambiente para o componente tubulação e vazamento externo – meio do processo para o componente válvula de isolamento de processo, ambas as falhas causam ao sistema interrupção da produção e poluição do meio ambiente.

Em relação aos modos de falha críticos, percebe-se, da Tabela 3, que o mais relevante é o entupimento / estrangulamento da válvula de controle.

O item mais crítico, de acordo com a Tabela 3, é a válvula de controle, exatamente por possuir o modo de falha mais crítico apresentado no parágrafo anterior.

5. CONCLUSÕES

A análise aqui apresentada evidencia a utilidade de uma FMECA para, no contexto da Inspeção Baseada em Risco (RBI), prover meios quantitativos de identificação dos itens que apresentam maiores riscos, onde este conceito de risco deve ser entendido como uma combinação de

diversas métricas: confiabilidade estimada para cada modo de falha, falha na probabilidade de detecção de cada modo de falha, probabilidade do efeito de falha e severidade do modo de falha.

Portanto, foi possível identificar os itens mais críticos. Esta classificação dos modos de falha, conforme apresentado na Tabela 3, pode auxiliar em uma melhor alocação de recursos disponíveis e também no desenvolvimento de programas de inspeção baseada em risco.

Apesar das vantagens apresentadas, existem limitações quando da aplicação da FMECA. Uma primeira dificuldade é a falta de dados específicos da instalação que está sendo analisada. Podem existir diferentes projetos em uso, o que evidencia a necessidade de especificação clara de uma FMECA para cada projeto em uso. Em relação aos dados de falha, também cabe mencionar a dificuldade de obtenção de dados específicos de cada instalação. Por exemplo, as taxas de falha empregadas referem-se a instalações que não necessariamente estão operando nas mesmas condições daquelas analisadas.

Ainda em relação aos dados para o desenvolvimento da FMECA, existem dificuldades para a estimação de probabilidades de detecção de modos de falha. Tipicamente, é necessário adotar diversas hipóteses para que seja viável a obtenção de estimativas baseada na experiência de engenharia. Caso semelhante ocorre em relação às estimativas de probabilidades de efeitos de falhas.

Portanto, é importante ressaltar a estrita necessidade de levantamento e organização de bancos de dados que permitam o desenvolvimento de FMECAs mais realistas e em intervalos de tempo mais curtos, o que traria grandes vantagens do ponto de vista de estabelecimento de uma política de RBI e também de redução de custos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Pessanha, M. G., Instalação de manifold: análise das forças devido a ondas utilizando análise dinâmica no domínio do tempo. Projeto de graduação. Curso de Engenharia Naval e Oceânica. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil (2019).
- [2] Pimentel, J. C., Alteração da Topologia de REDE CONTROLNETTM PARA ETHERNET/IPTM para a Estação de Controle Mestre de um Sistema de Produção Submarino. Dissertação Mestrado em Automação Industrial. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil, (2013)
- [3] Lima, H. F., Metodologia para a tomada de decisão no projeto de sistemas submarinos de produção de óleo e gás. Dissertação Mestrado em Engenharia Oceânica. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, (2007).
- [4] Y. Bai & Q. Bai, Subsea Engineering Handbook, Elsevier Science, 2012.
- [5] BS EN ISO 13628-1, Petroleum and natural gas industries. Design and operation of subsea production systems General requirements and recommendations. ISBN 978 0 580 73087 0
- [6] Santos, A. B., Gomes, A. M., Santos, G., Andrade, L.F.D., Freitas, F. G. R., Avaliação dos impactos técnicos manifolds em sistemas de coleta offshore. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. III Workshop de Engenharia do Petróleo, (2015).
- [7] K. G. Kirkland, E. M. Richardson & C. Hey, DeepStar Evaluation of Subsea Trees and Manifold Concepts, OTC 8244, Houston, TX, 1996.

- [8] Noguchi, A., Estudo de um sistema de controle para um manifold submarino de injeção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrônica. Curso de especialização em automação industrial. Monografia de especialização. Curitiba, (2014).
- [9] SINTEF, Offshore Reliability Data (OREDA), 6th ed. Vol.1 – Topsides Equipment, 2015a
- [10] SINTEF, Offshore Reliability Data (OREDA), 6th ed. Vol.2 – Subsea Equipment, 2015b
- [11] Sobral, J., & Abreu, A., Manutenção Produtiva Total. In: Manutenção Produtiva Total e Gestão Lean, 2013.
- [12] MIL-STD-1629, Procedures for performing a failure mode, effects, and criticality analysis. U. S. Department of Defense, Washington, 1980.