

SOFTWARE FMEA: UMA APLICAÇÃO NA CONCEPÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO PARA REPARO DE EQUIPAMENTOS SUBMARINOS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS

Renan Assef Tavares¹
Venâncio Gonçalves Ricardo²
Sthephanie D'Amato³
Robisom Damsceno Calado⁴

Resumo

Este trabalho tem por finalidade mostrar a aplicação do FMEA, como etapa primordial na criação de um projeto piloto de manutenção de ferramentas de cabeça de poço em um fábrica de reparos de equipamentos submarinos para seu maior cliente no Brasil. O projeto foi estruturado seguindo os passos estabelecidos para aplicação de FMEA, orientadas por uma metodologia como foco em processos. Seguindo o passo a passo estabelecido pela metodologia, juntamente com a utilização do software IQ-RM da empresa alemã APIS, conseguiu-se obter os resultados para gerar um plano de manutenção adequado ao conjunto de ferramentas de sistema de cabeça de poço submarino.

Palavras-chaves: software FMEA; planos de manutenção; equipamentos submarinos; petróleo e gás.

Abstract

The objective of this work is to show the application of FMEA, as a primary step in the creation of a pilot project for the maintenance of wellhead tools in an underwater equipment repair factory for its largest customer in Brazil. The project was structured following the steps established for the application of FMEA, guided by a methodology as a focus on processes. Following the established step-by-step methodology, together with the use of the IQ-RM software from the German company APIS, the results were obtained to generate a proper maintenance plan for the subsea wellhead system tool set.

Keywords: FMEA software; maintenance plans; underwater equipment; Oil and Gas.

Introdução

A engenharia submarina é responsável por toda arquitetura e interação entre instalações e equipamentos para prover o escoamento da produção de petróleo do fundo do mar, sendo estes os alicerces primordiais do esquema estrutural que compõe seus sistemas hidráulicos e eletrônicos intercambiados, compondo uma rede, tendo por sua premissa fundamental o escoamento dos hidrocarbonetos desde o reservatório até a superfície.

Neste contexto, a empresa em estudo, localizada em Macaé, Rio de Janeiro, capital nacional do petróleo, onde estão instaladas o portfólio industrial referente aos processos de *aftermarketing* para suprir as demandas e operações da produção na Bacia de Campos, ela atua no nicho de mercado referente ao reparo de equipamentos submarinos de produção de

¹ Engenheiro de Produção, pesquisador no Laboratório de Design Thinking, Gestão e Inovação (DGEI) da Universidade Federal Fluminense. E-mail: assefrenan@gmail.com;

² Graduando do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF). E-mail: venancio.gr@hotmail.com;

³ Graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF), pesquisadora no Laboratório de Design Thinking, Gestão e Inovação (DGEI). E-mail: teh.damato@gmail.com

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Professor da Universidade Federal Fluminense (UFF). E-mail: robisomcalado@gmail.com

petróleo, sendo requisitada para atender em sua unidade de assistência técnica, a gestão e execução da manutenção do conjunto de ferramentas dos sistemas de cabeça de poço.

Sob esta ótica, foi realizada a aplicação do FMEA “*Failure Mode and Effect Analysis*” que em português é conhecido como Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, para poder gerar um plano de manutenção adequado do conjunto de ferramentas de sistemas de cabeça de poço submarino, realizando uma análise técnica para gerar confiabilidade e qualidade associado ao processo de reparo.

Desta maneira foram aplicadas a metodologia proposta em teoria, e aplicado o mesmo a um software específico para elaboração do FMEA realizando uma comparação entre as aplicabilidades e resultados demonstrados gerados.

1. Conceitos Relevantes

1.1 Sistemas de cabeça de poço submarino

Os sistemas de cabeça de poço submarino são um conjunto de equipamentos e ferramentas empregados nas atividades de perfuração, a partir de unidades flutuantes: semi-submersíveis (SS) e navio-sonda (NS).

Elas são classificadas em ferramentas e equipamentos que respectivamente dizem a respeito a sua finalidade onde uma fica instalada no poço e as demais são utilizadas para as operações que estão sujeitas.

Suas principais funções consistem em guiar a descida e instalação dos equipamentos, servir de balizamento e estrutura inicial de um poço, prover sustentação e vedação para BOP Stack, Base Adaptadora de Produção (BAP) e Arvore de Natal Molhada (ANM), sustentar o peso dos revestimentos ancorados e prover vedação para o anular entre os revestimentos.

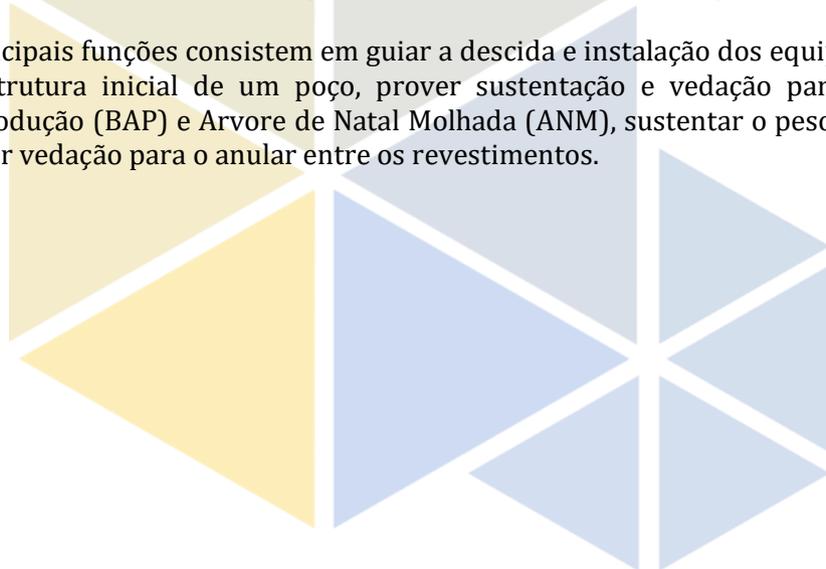
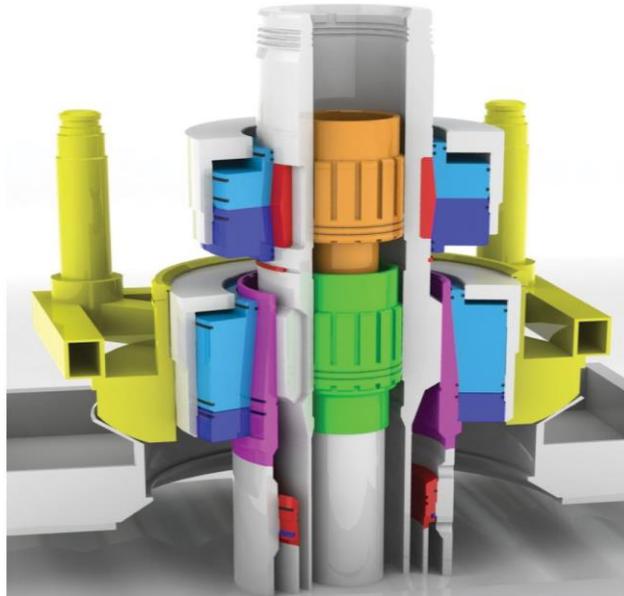


Figura 01
Vista explodida de um sistema de cabeça de poço



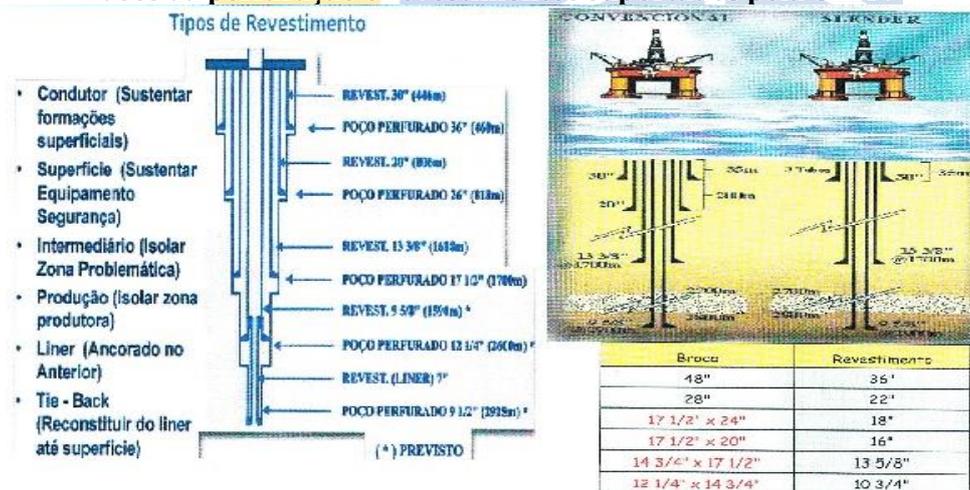
Fonte: <http://www.drillingcontractor.org/jip-works-to-enhance-subsea-wellhead-design-with-simplicity-20237>

Durante a perfuração do poço a cabeça de poço deve ser capaz de suportar os carregamentos de momento fletor para poços perfurados com unidades flutuantes, carregamentos cíclicos de compressão, tração, flexão e pressão, temperaturas cíclicas e carregamentos induzidos de torção provocados pelo giro da plataforma, mudanças de corrente marítima e as condições de mar para poços perfurados com unidades flutuantes.

O sistema de cabeça de poço submarino é responsável pela vedação e apoio das colunas e equipamentos que vão da unidade marítima até o leito marinho, além de ancorar e suportar os revestimentos e fluxo do reservatório até a superfície, suprindo com suas ferramentas as diversas etapas da perfuração.

Figura 02

Fases da perfuração e revestimentos suportados pela CABP.



Fonte: <http://www.drillingcontractor.org/jip-works-to-enhance-subsea-wellhead-design-with-simplicity-20237>

1.2 FMEA

O FMEA "*Failure Mode and Effect Analysis*" que em português é conhecido como Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, é uma ferramenta de qualidade utilizada para efetuar uma análise de produtos ou processos tendo como objetivo identificar as falhas potenciais no processo, analisando a severidade destas falhas, determinando a probabilidade de ocorrência, propondo a realização de ações que reduzam ou eliminem os fatores e/ou riscos que promovam a ocorrência das falhas, com intuito de proporcionar redução e efeitos da mesma, promovendo a confiabilidade, por meio da prestação de serviço com qualidade.

McDERMONTT e MIKULAK (2009,p.2) definem como um método sistemático para identificar e prevenir problemas em processos e produtos, antes que eles ocorram, sempre focando na prevenção de defeitos, melhoria da segurança e incremento da satisfação do cliente.

Segundo LEOPOLDINO (2007), a metodologia FMEA se caracteriza como um conjunto de técnicas que tem como objetivo principal identificar e evitar a ocorrência de falhas tanto em projetos de produtos, quanto nos processos de produção. Visa também apresentar ações de melhorias nestas fases.se propondo a diminuir as chances de ocorrência de falhas nos processos e conseqüentemente no produto final, baseando-se nos seguintes princípios:1) reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto / processo e os efeitos desta falha; 2) identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrência de uma falha potencial; 3) documentar todo o processo.

STAMATIS (2003), explica que essa metodologia pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto de produto quanto em processos, onde as etapas e a maneira de realização da análise são as mesmas, diferenciando-se apenas ao que se refere ao objetivo, podendo ser classificadas em FMEA de projeto e FMEA de processos.

Na FMEA de projeto são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto promovendo ações investigativas e corretivas antes que a primeira produção ocorra. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrente do projeto. A primeira produção é vista como a que gera algum produto ou serviço ao consumidor com a intenção de ser pago (STAMATIS, 2003, p. 129).

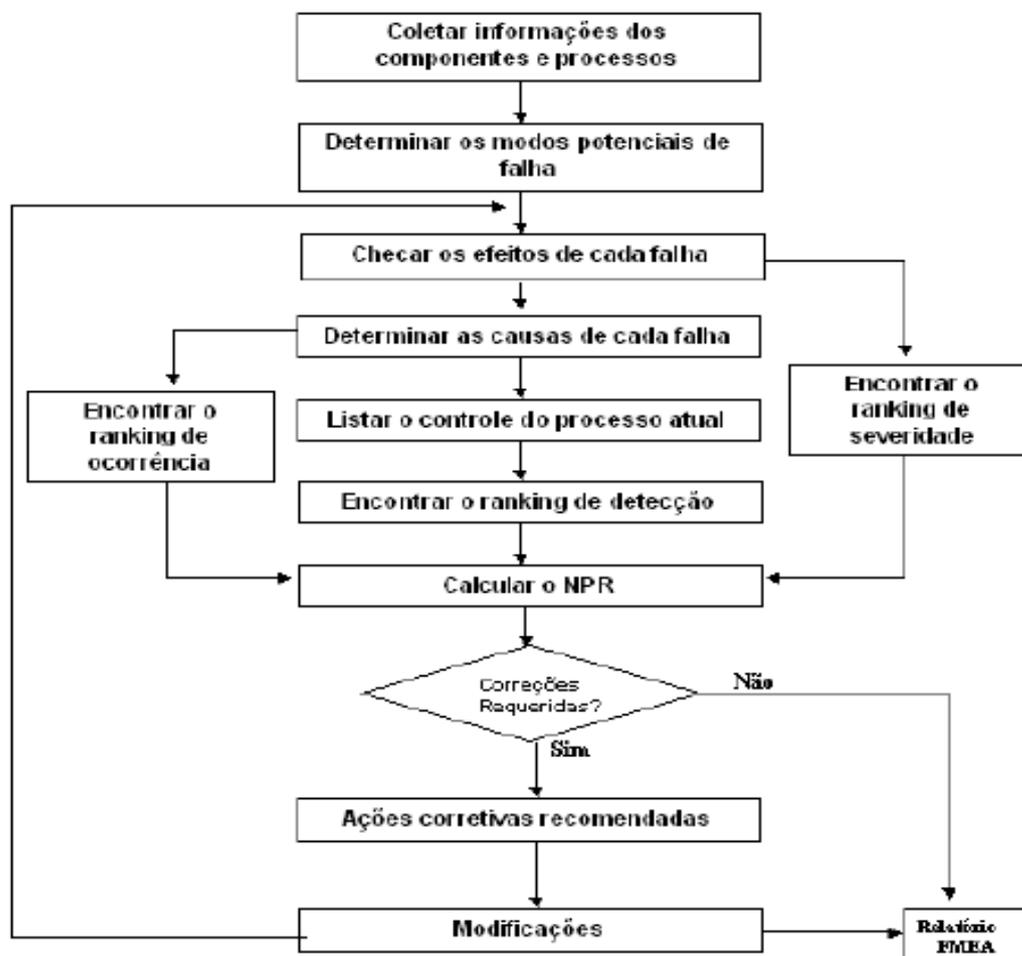
Na FMEA de processo são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto. O objetivo do FMEA de processo é "definir, demonstrar e maximizar soluções de engenharia em resposta à qualidade, confiabilidade, manutenção, custo e produtividade" (STAMATIS, 2003, p. 157).

Para o Manual de Referência FMEA 4ª Edição o desenvolvimento de FMEA, seja ele de projeto ou de processo, utiliza uma abordagem comum para se tratar de: - Falha potencial do produto ou do processo, em atender às expectativas; - Conseqüências potenciais; - Causas potenciais do modo de falha; - Aplicação dos controles atuais; - Nível de risco; - Redução de risco.

A metodologia de análise de efeitos e modos de falha foi realizada seguindo as recomendações de Teng e Ho (1996) e Teng et al. (2006) que prescrevem que um FMEA deve: 1) definir o escopo da análise em função da resolução e foco dos estudos; 2) preparar o fluxograma do projeto/processo, mostrando as relações entre subsistemas e subprocessos; 3) identificar os possíveis modos de falha (que tipo e como estas falhas ocorrem); 4) identificar as causas destas falhas; 5) analisar o efeito desta falha; 6) classificar a severidade; 7) classificar a ocorrência; 8) determinar a detecção; 9) calcular o NPR; 10) definir as falhas críticas; 11) recomendar ações corretivas.

A Figura 3 apresenta este procedimento:

Figura 03
Fluxograma do procedimento para realização do FMEA



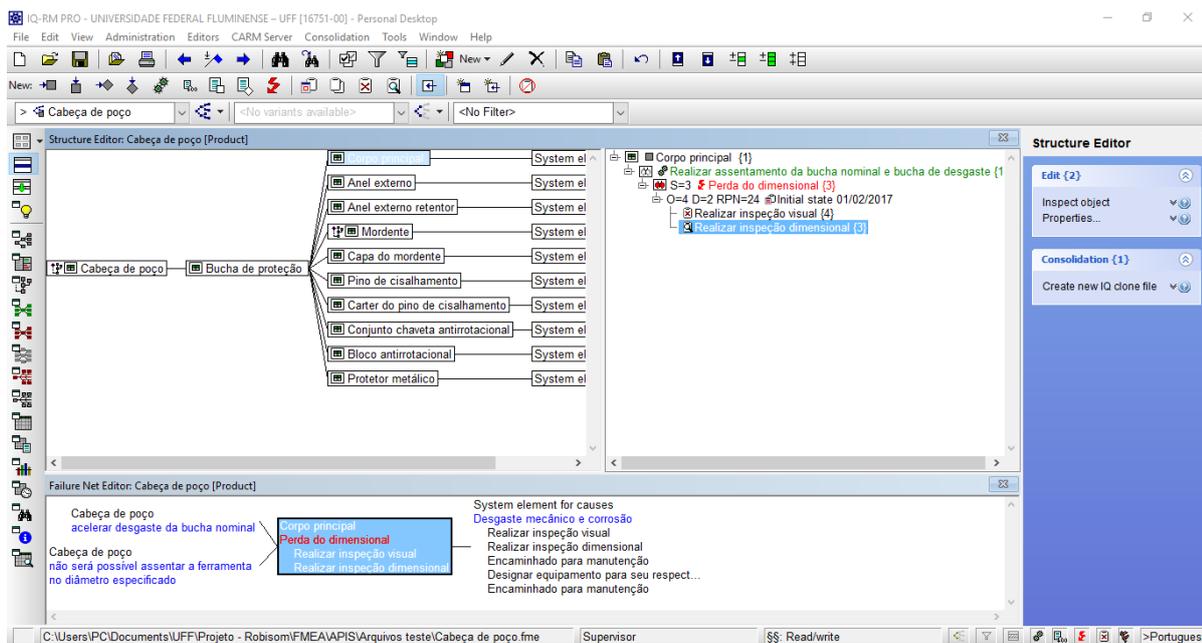
Fonte: A adaptado de Teng e Ho,1996.

1.3 Software IQ-RM APIS

A empresa APIS (2014) realizou pesquisas para buscar uma maneira unificada de realizar a análise de falha e pôde constatar que a maioria das pessoas tendem a confundir causas e efeitos e que quando a análise é feita a partir de planilhas eletrônicas a probabilidade de esquecer essa relação (causa e efeito) e não lembrar dos detalhes inseridos depois de certo tempo é alta, esse problema ficava pior quando pessoas que não estavam na equipe inicial de criação tentavam dar continuidade à análise de falha a partir da planilha. Por isso é importante que todos tenham domínio sobre todo o processo para que o entendimento das falhas deixe de ser complexo.

O software IQ-RM da APIS organiza cada falha ligada à sua respectiva função e cada função também tem especificado o sistema ou elemento de processo que produz essa função. Ele também arranja o produto/processo na forma de árvores gráficas (árvore de funções e árvores de falhas), o que permite que as relações entre causa e efeito sejam facilmente visualizadas e compreendidas.

Figura 04
Imagem da tela do software IQ-RM



Fonte: elaboração própria.

Segundo DIAS (2016), analisar as relações entre as funções se torna complexo devido ao desenvolvimento dos sistemas produtivos, onde mais difícil ainda é encontrar essas falhas alinhadas a suas respectivas causas. O software IQ-RM utiliza a função rede para criar essas relações de função e de falhas possuindo também recursos estatísticos que proporcionam dados e documentos para controlar cada fase do processo de análise e para apresentar resultados à gerencia.

Um dos problemas identificados na aplicação da metodologia FMEA é que “a realização de um FMEA completo e rigoroso demanda grande quantidade de tempo e recursos” (LAURENTI, VILLARI e ROZENFELD, 2012). É comum fazer o uso do Excel - da empresa Microsoft Office - para a criação de FMEA, por não se tratar de um investimento adicional, pois na maioria dos casos o recurso já está disponível por demanda de outras atividades administrativas da empresa.

A principal desvantagem no uso de planilhas é que em muitos casos, a falta de conhecimento da metodologia e o formato da ferramenta faz com que a análise de risco seja igualada com o processo de preenchimento de uma planilha. Outro tipo de desvantagem é quando a análise de falhas é complexa e a relação Modo de falha, Efeito da falha e Causa da falha não é apenas de um fator para cada, um mesmo Modo de falha pode ter mais de uma causa.

O quadro 1 ilustra essa situação: a Causa 2 se aplica aos Modos de falha 1 e 2. A inclusão dessa relação é trabalhosa porque é repetitiva e sua atualização pode ocasionar erros de maneira que um Modo de falha seja atualizado e o outro não. Além disso, o formato planilha facilita uma visão sistêmica da análise de falha.

Quadro 01
Fragmento de análise de falha complexa

Operação	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Causa da falha
Op. 1	Servir de base	Modo 1	Efeito 1	Causa 1

				Causa 2
				Causa 3
		Modo 2	Efeito 2	Causa 2
				Causa 4

Fonte: elaboração própria.

Desta maneira o software se apresenta como uma poderosíssima ferramenta para realizar a gestão e manutenção da confiabilidade elevando os padrões de produto e processo, minimizando os potenciais de falha e otimizando o sistema como um todo alinhado a filosofia lean six-sigma.

2. Metodologia de pesquisa

Segundo Vergara (2000), existem dois critérios básicos para se classificar uma pesquisa: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, uma pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada ou intervencionista. Quanto aos meios pode ser classificada como, pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, participação, pesquisa-ação ou estudo de caso.

Usando estas definições, este estudo pode ser classificado quanto o fim, como um estudo intervencionista e quanto aos meios como um estudo de campo.

O estudo será realizado em uma grande multinacional, onde uma das suas áreas de atuação, é a de óleo e gás, focada em equipamentos submarinos de produção de petróleo, onde serão desenvolvidos um estudo de avaliação dos processos de manutenção das ferramentas de manutenção de cabeça de poço, pela aplicação da ferramenta de qualidade FMEA, para se obter um plano de manutenção para fomentar a necessidade de reparo deste nicho de ferramentas.

Através da designação dos passos estruturados através do fluxograma da metodologia do FMEA, estas serão alinhadas aos objetivos do projeto de manutenção do conjunto de ferramentas de sistema de cabeça de poço.

Quadro 02 Aplicação dos passos metodológicos do FMEA

1- Definir o escopo da análise em função da resolução e foco dos estudos;	Serão analisados o conjunto de ferramentas do sistema de cabeça submarino fornecidos a um cliente, visando um foco no atendimento “aftermarketing”, através da elaboração de um projeto de manutenção que serão advindas da concepção dos planos de manutenção por consequência da aplicação do FMEA.	Etapa 1 : Aplicação do passo metodológico 1.
2 Preparar o fluxograma do projeto/processo, mostrando as relações entre subsistemas e subprocessos	Realizar o entendimento do projeto e as premissas estabelecidas para a geração do contrato advindas do cliente e a estruturação dos processos internos, e da quantificação e documentação técnica do conjunto de ferramentas que serão mantidos.	Etapa 2: Aplicação do passo metodológico 2.
3- Identificar os possíveis modos de falha (que tipo e como estas falhas ocorrem);	Será explicado e utilizado o modelo aprovado pela empresa, estruturada pelo departamento técnico de Engenharia baseado nos requisitos do Manual de Referência do FMEA 4 ^o Edição. Os critérios estabelecidos serão desdobrados a partir do objetivo designado do projeto de manutenção, que contemplam os passos abordados.	Etapa 3: Aplicação dos passos metodológicos 3,4,5,6,7,8,9,10 e 11.
4- Identificar as causas destas falhas;		
5- Analisar o efeito desta falha;		
6- Classificar a severidade		
7- Classificar a ocorrência;		
8- Determinar a detecção		
9- Calcular o NPR		
10- Definir as falhas críticas;		
11- Recomendar ações corretivas		

Fonte: elaboração própria.

3. Aplicação do FMEA

Através da designação dos passos estruturados através do fluxograma da metodologia do FMEA, estas serão alinhadas aos objetivos do projeto de manutenção do conjunto de ferramentas de sistema de cabeça de poço, através do desdobramento das etapas 1,2 e 3.

Será explicado e utilizado o modelo aprovado pela empresa, estruturada pelo departamento técnico de Engenharia baseado nos requisitos do Manual de Referência do FMEA 4^o Edição.

Os critérios estabelecidos serão desdobrados a partir do objetivo designado do projeto de manutenção, que contemplam os passos abordados.

3.1 Aplicação da Etapa 1 do FMEA.

A análise utilizando a ferramenta de qualidade FMEA, foi designada para gerar uma análise do conjunto de ferramentas de sistemas de cabeça de poço submarino da família fornecida em operação para um de seus maiores clientes, que solicitaram um contrato de prestação de serviços de manutenção para gerir a disponibilidade de ferramentas disponíveis para as operações offshore.

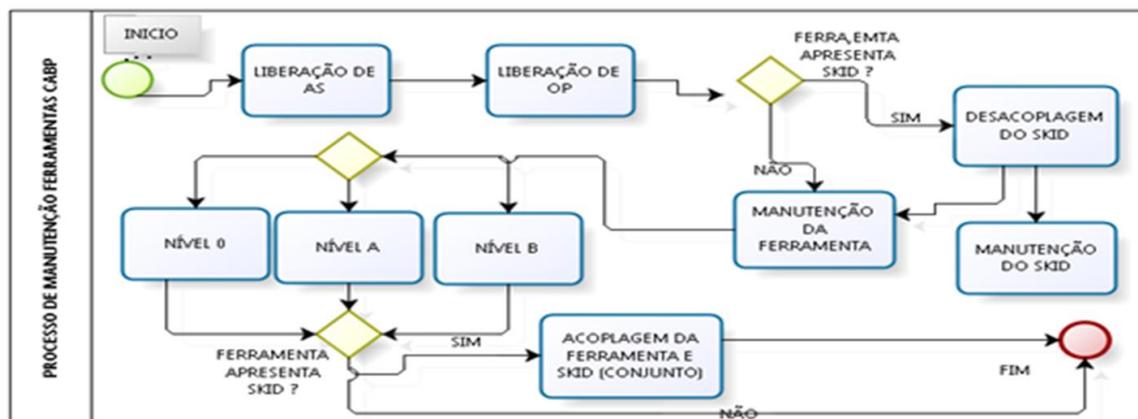
Desta maneira através desta abordagem, espera-se obter o plano de manutenção para todo o conjunto englobado definido pelo cliente na geração deste contrato.

3.2 Aplicação da Etapa 2 do FMEA

O contrato de ferramentas de cabeça de poço, além da manutenção, envolve também a guarda e estoque das ferramentas. O local e guarda das ferramentas fica alocado na mesma unidade da fábrica de reparos, facilitando o deslocamento e início do processo, tendo como

fluxo, o estabelecido no fluxograma iniciado na liberação da AS (Autorização de Serviço) através do “input” dado pelo cliente, passando pelo processo de liberação da OP (Ordem de produção) envolvendo os setores de apoio até da entrada para operação na fábrica, desenvolvendo os processos de manutenção conforme designado plano de manutenção da ferramenta.

Figura 05
Fluxograma do processo de manutenção de ferramentas de cabeça de poço.



Fonte: Autor (2017).

As ferramentas de cabeça de poço foram divididas e quantificadas conforme seu tipo, onde a quantidade é o número de famílias que tem seu respectivo número de série dentre aquele conjunto. Foram contabilizadas 22 tipos de ferramentas, apresentando em sua totalidade 144 famílias de ferramentas, cada uma com seu respectivo número de série.

Tabela 02
Quantitativo do Sistema de Cabeça de Poço

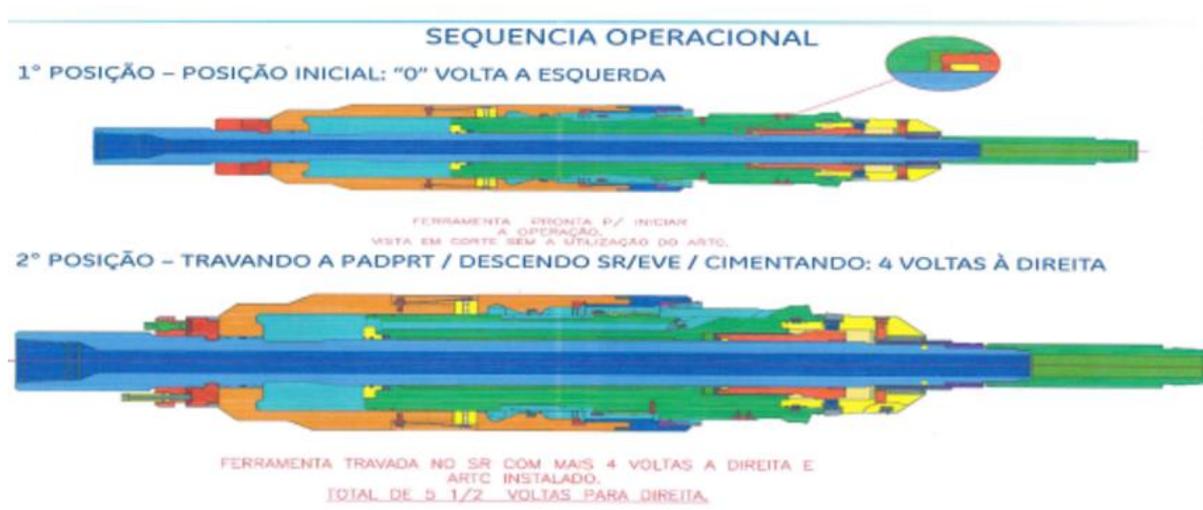
FERRAMENTA	QUANTIDADE	FERRAMENTA	QUANTIDADE
Suspensor CV	16	Capa	16
Adaptador para suspensores	7	Descida CV	3
Adaptadores para alojadores	4	Energizadora CV	2
Bucha de desgaste	16	Limpeza	7
Bucha de proteção	5	Manuseio Alojador	1
Bucha nominal	6	Recuperadora CV	9
Duplo J	1	Teste BOP Isoladora	13
Alojador de Alta	6	Teste BOP Tipo Cone	1
Alojador de Baixa	11	Lançador DART	1
Fer. Bucha de desgaste	12	Ponteira de Borracha	1
Fer. Bucha de proteção	7	Sub de desconexão rápida	2
		TOTAL: 22 ferramentas	Total: 144 unidades (famílias de PN)

Fonte: Autor (2017).

3.3 Aplicação da Etapa 3 do FMEA:

O conjunto de ferramentas de sistema de cabeça de poço, apesar da variabilidade enorme da sua utilização nas operações de perfuração *offshore*, apresentam uma similaridade conforme visto na Figura 6 a respeito de seu funcionamento mecânico, sendo capaz de fomentar adequadamente os esforços mecânicos a que estão dispostos. Seu modo de operação se dá por giros rotacionais, movimentando os castelos internos para as posições ideais de operação.

Figura 06
Ferramenta PADPRT com uma de suas disposições operacionais por giros mecânicos.



Fonte: Autor (2017).

Desta maneira a abrangência de manutenção destas ferramentas consiste na verificação e troca do conjunto de vedação e subitens de sacrifício, e testes mecânicos funcionais

Sendo assim o modelo abaixo adotado pela empresa, disponibiliza os campos necessários para identificar os possíveis modos de falha, definir suas causas, analisar o efeito dela, classificar sua severidade e ocorrência, determinar o modo de detecção, calcular o NPR e definir as falhas críticas.

Na coluna 1 do documento FMEA, é identificado os itens explodidos pertencente que formam os componentes da ferramenta em análise, onde na coluna seguinte é identificado pelo seu respectivo nome.

Figura 07
Modelo Utilizado para aplicação do FMEA

NOME DA EMPRESA					FOLHA		DOCUMENTO FMEA-XXX	
DEPARTAMENTO TÉCNICO ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA					Nº DE REVISÃO: DATA:			
I T	COMPONENT	FUNÇÃ	MODO	EFEITOS	NPR	FREQUÊNCI	MÉTODOS	PROVIDÊNCIAS

E M	E	O	S DE FALHA	SOBRE			A DE FALHA	DETECÇÃO	COMPENSATÓRIAS E OBSERVAÇÕES
				OUTROS COMP.	SIST.	I I II			

Fonte: Autor (2017).

A partir da terceira coluna são atribuídas a finalidade e a função daquele item, onde posteriormente na próxima coluna serão identificados os possíveis modos de falha.

Desta maneira consegue-se entender os efeitos das falhas sobre o sistema ou outros componentes, para que consiga prever o impacto, através da severidade, identificar o nível de ocorrência, o intervalo de detecção para se obter o índice de criticidade NPR.

3.4 Determinação dos índices:

→ Índice de Ocorrência (O): Estimativa da possibilidade de ocorrer um evento que resulte em um modo de falha. Pode ser estimado qualitativamente (experiência ou simples previsão) ou quantitativamente (registro de ocorrência de falhas e análise estatística de confiabilidade).

Tabela 03
Determinação do Índice de Ocorrência

ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (O)			PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	OCORRÊNCIA
Escala	Frequência	Log O		
1	1 : 1000000	0,0000	Improvável (muito remota)	Excepcional
2	1 : 100000	0,3010	Muito pequena (remota)	Muito poucas vezes
3	1 : 10000	0,4771	Pequena	Poucas vezes
4	1 : 5000	0,6021	Mediana (moderada)	Algumas vezes (ocasionais)
5	1 : 2000	0,6990		
6	1 : 1000	0,7781	Alta (significativa)	Frequentes
7	1 : 500	0,8451		
8	1 : 100	0,9031	Muito alta	Alarmantes (inevitáveis)
9	1 : 10	0,9542		
10	< 1 : 5	1,0000		

Fonte: Autor (2017).

→ Índice de Gravidade (I): Avaliação da importância e das consequências que o efeito da falha causa ao usuário.

Tabela 04
Determinação do Índice de Gravidade

ÍNDICE DE GRAVIDADE / IMPORTÂNCIA (I)		EFEITO POSSÍVEL	PROJETO / SISTEMA	PROCESSO
Escala	Log I			
1	0,0000	Muito pequeno (Sem importância)	Falha de menor importância, quase não sendo percebidos os seus efeitos durante o uso.	Falha de menor importância, insignificante na qualidade do processo e da produção.
2	0,3010	Pequeno (Pouco significativo)	Provoca uma pequena redução da performance do produto. Pode gerar perda gradual de eficiência. O usuário percebe a falha, mas não ficará significativamente insatisfeito.	Provoca uma pequena redução da performance do processo e gradual ineficiência, que não compromete significativamente a qualidade e a produção.
3	0,4771			
4	0,6021	Mediano (Moderado)	Provoca uma progressiva degradação, com relativa ineficiência. O usuário ficará insatisfeito e reclamará do ocorrido.	Gera uma ineficiência moderada, e redução da produtividade. Causa frustração ao usuário, que ficará insatisfeito e reclamará do ocorrido.
5	0,6990			
6	0,7781			
7	0,8451	Grave (Significativo)	O produto não desempenha corretamente a sua função, com alta insatisfação do usuário.	Na maioria das vezes a falha interrompe a produção, e gera alta taxa de refugos. O usuário não consegue manter a produção e ficará muito insatisfeito.
8	0,9031			
9	0,9542	Muito grave (Catastrófico)	Afeta a segurança, não cumpre as disposições legais, ou torna o produto indisponível. O usuário rejeitará o produto.	A produção é interrompida, gerando uma rejeição pelo usuário.
10	1,0000			

Fonte: Autor (2017).

→ Índice de Detecção (D): Admitindo-se a ocorrência da falha, corresponde à probabilidade de que a falha seja detectada antes da liberação para o uso.

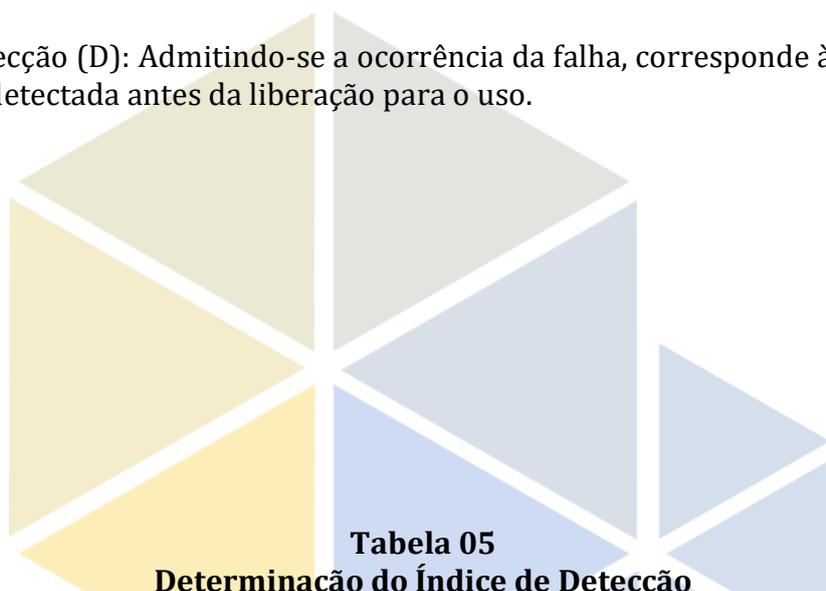


Tabela 05
Determinação do Índice de Detecção

ÍNDICE DE DETECÇÃO (D)		POBABILIDADE DA FALHA ² CHEGAR AO USUÁRIO (%)	PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DA FALHA	PROJETO / SISTEMA	PROCESSO
Escala	Log D				
1	0,500 ¹	0 - 5	Muito alta	Falha facilmente perceptível, com praticamente nenhum componente falho.	Facilmente detectado em todas as etapas da produção.
2	0,3010	6 - 15	Alta	Alta probabilidade de detecção da falha, com pequena quantidade de produtos falhos.	Na quase totalidade (90%) das ocorrências as ações corretivas são tomadas para manter o controle do processo.
3	0,4771	16 - 25			
4	0,6021	26 - 35	Mediana (moderada)	Moderada probabilidade de detecção da falha, com razoável quantidade de produtos falhos.	Na maioria (>50%) dos descontroles do processo podem ser tomadas ações corretivas.
5	0,6990	36 - 45			
6	0,7781	46 - 55			
7	0,8451	56 - 65	Pequena	Pequena probabilidade de detecção, nível de controle reduzido, com significativa quantidade de falhas.	Significativa quantidade de peças produzidas (até 90%) podem estar fora das especificações.
8	0,9031	66 - 75			
9	0,9542	76 - 85	Muito pequena	Não existe nenhum tipo de controle ou inspeção, com muitos componentes falhos.	Não existe nenhum controle eficiente ou inspeção frequente.
10	1,0000	86 - 100	Remota (improvável)	A falha não é controlada e só pode ser detectada com procedimentos e metodologias complexas, geralmente de alto custo (defeito oculto ou praticamente impossível de ser reconhecido), ou então, por meio de Ensaio Acelerados.	Exigem controles complexos, geralmente de alto custo, principalmente quanto ao material, normalmente correspondente a falhas ocultas, que só podem ser detectadas por Ensaio Acelerados.

¹ - Admitida
² - Referida à duração prevista

Fonte: Autor (2017).

→ Índice de Criticidade (NPR): Corresponde ao produto dos três índices de avaliação. Seu valor irá definir as prioridades das ações corretivas a serem efetuadas em cada item analisado.
 $NPR = I \times O \times D$ ou $NPR = \text{LogI} \times \text{LogO} \times \text{LogD}$

Tabela 06
Determinação do Índice de Criticidade

Valor de Escala	Valor Logarítmico	Classificação de Risco	Identificação Do Risco.
1 - 135	0 - 0,32	Pequeno	I
136 - 500	0,32 - 0,70	Moderado	II
501 - 1000	0,71 - 1	Alto	III

Fonte: Autor (2017).

Sendo assim, foram realizados este procedimento para as 144 ferramentas do conjunto de 22 tipos que completam o sistema de cabeça de poço submarino.

Um exemplo de uma das ferramentas pertencentes ao conjunto de ferramentas de cabeça de poço é a bucha de desgaste, onde segue abaixo o modelo preenchido conforme a empresa aprovou e estabelece em seu sistema de gestão da qualidade.

Figura 8
Exemplo do FMEA de uma ferramenta CABP.

NOME DA EMPRESA					FOLHA		DOCUMENTO		
DEPARTAMENTO TÉCNICO ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA					Nº DE REV.: 0		FMEA-XX		
					DATA:		REV.JAPROV. POR:		
TÍTULO: BUCHA DE PROTEÇÃO SLP – MS700									
CLIENTE:									
COMENTÁRIOS:					CARIMBO:				
PREPARADO POR:					APROVADO POR:				
DATA:					DATA:				
I T E M	COMPONENTE	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	EFEITOS SOBRE	NPR	FREQUÊNCIA DE FALHA	MÉTODOS DE DETECÇÃO	PROVIDÊNCIAS COMPENSADORIAS E OBSERVAÇÕES	
				OUTROS COMPONENTES E / OU SISTEMA					I
1	B51956-1	CORPO PRINCIPAL	Falha do dimencional causando falha no assentamento da Bucha Nominal e Bucha de Deggacte	Acelerará o deggacte da bucha nominal e deggacte.	I PEQUENO		Inspecção Visual e Dimensional	Ajustagem mecânica	
2	B51956-2	ANEL EXTERNO	Falha do dimencional causando falha no ombro de assentamento da bucha nominal	Falha no assentamento da bucha nominal	I PEQUENO		Inspecção Visual e Dimensional	Ajustagem mecânica	
3	B51956-3	ANEL EXTERNO RETENTOR	Falha do dimencional causando falha no ombro de assentamento da bucha de deggacte	Falha no assentamento da bucha de deggacte	I PEQUENO		Inspecção Visual e Dimensional	Ajustagem mecânica	
4	B51956-6	MORDENTE	Deggacte das áreas de contato	Falha no travamento mecânico	I PEQUENO		Inspecção Visual e Dimensional	Ajustagem mecânica	
5	B51956-5	CAPA DO MORDENTE	Dano na composição	Falha na proteção dos mordentes	I PEQUENO		Inspecção Visual		
6	B51940-6	PINO	Falha no dimencional	Falha no travamento	I		Inspecção visual	Substituição por outro.	

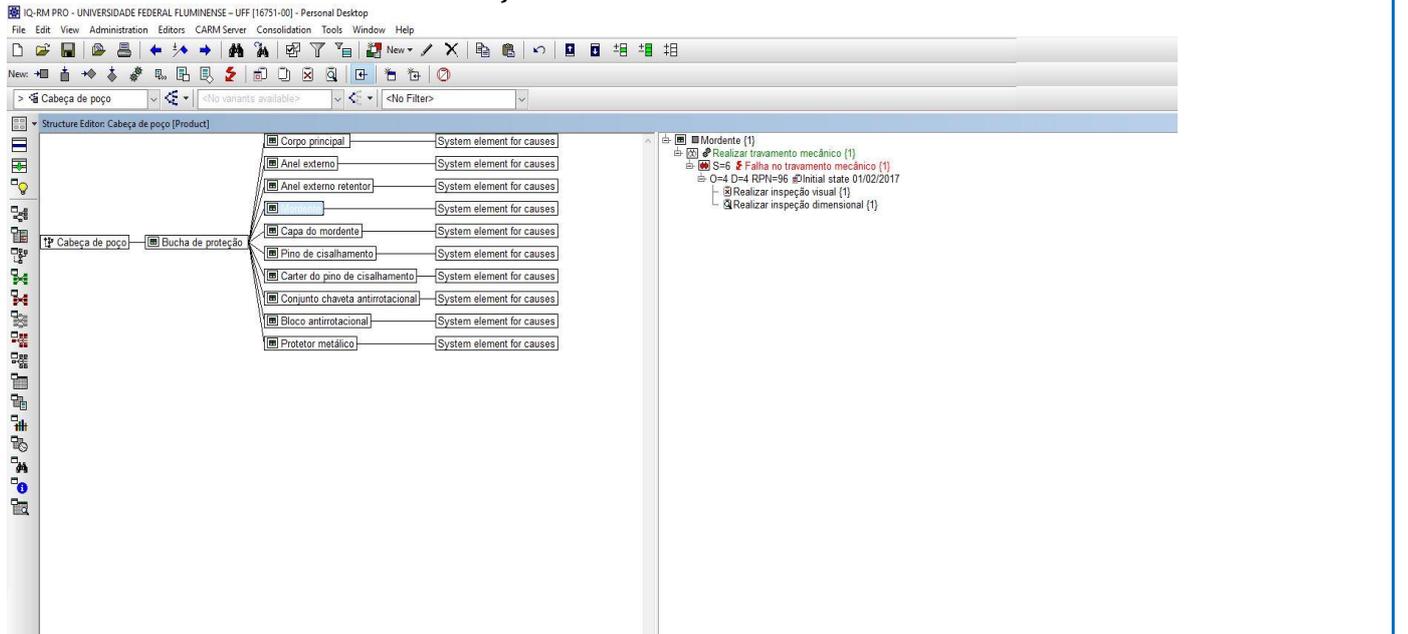
NOME DA EMPRESA					FOLHA			DOCUMENTO	
DEPARTAMENTO TÉCNICO					Nº DE REV.: 0			FMEA-XX	
ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA					DATA:			REV. APROV. POR:	
I T E M	COMPONENTE	FUNÇÃO	MODOS DE FALHA	EFEITOS SOBRE			FREQUÊNCIA DE FALHA	MÉTODOS DE DETECÇÃO	PROVIDÊNCIAS COMPENSATORIAS E OBSERVAÇÕES
				OUTROS COMPONENTES	SIST.				
		DE CISCALHAMENTO		da ferramenta na posição correta			PEQUENO		
7	B51940-7	CARTER DO PINO DE CISCALHAMENTO	Falha no dimensional	Falha no indicador de posição do pino de ciscalhamento.			I PEQUENO	Inspecção Visual	Substituição por outro.
9	H289696-2	CONJUNTO CHAVE TA ANTI-ROTACIONAL	Falha no dimensional	Falha nas operações de travamento e destravamento das Buchas			I PEQUENO	Inspecção Visual e Dimensional	Ajustagem mecânica
10	B51956-4	BLOCO ANTI-ROTACIONAL	Falha no dimensional	Falha nas operações de travamento e destravamento das Ferramentas e de instalação das Buchas			I PEQUENO	Inspecção Visual e Dimensional	Ajustagem mecânica
11	B51409-21	PROTECTOR METALICO	N/A	N/A			I PEQUENO	Inspecção Visual	Substituição por outro.

Fonte: Autor (2017).

Após a realização do FMEA utilizando o padrão estabelecido e aprovado pela empresa, foi iniciada a realização do mesmo utilizando o software IQ-RM, iniciando com a criação do item central denominado cabeça de poço, as ferramentas do conjunto, e os sub itens de cada ferramenta.

Figura 09

Início da construção do FMEA de uma ferramenta CABP



Fonte: Autor (2017).

A partir dela foi estruturado as informações referente as causas e efeitos, designação da severidade, ocorrência e detecção, e ações de prevenção e detecção, sendo possível criar uma linha correta de raciocínio e cálculo automático do RPN ou NPR, chamado nível de criticidade.

Figura 10
Formatação do FMEA no software

Function	Potential failure	Potential effect(s) of failure	S	C	Potential cause(s) of failure	O	Current preventive action	Current detection action	D	RPN	Recommended action	R/D	Action taken	S	O	D	RPN
Realizar assentamento da bucha nominal e bucha de desgaste	Perda do diâmetro dimensional	[Cabeça de poço] acelerar desgaste da bucha nominal [Cabeça de poço] não será possível assentar a ferramenta no diâmetro específico	3	4	Desgaste mecânico e corrosão	4	Realizar inspeção visual	Realizar inspeção dimensional	2		Supervisor 13/02/2017 completed	P Encaminhado para manutenção	3	3	1		(9)
			3								P: Designar equipamento para seu respectivo nível de manutenção 0, A ou B 0 - periodicidade		Supervisor 15/02/2017 in progress	3	3	1	

Fonte: Autor (2017).

Ao final dela conseguiu-se estabelecer ações com aplicação de manutenções com que o índice de criticidade pudesse se reduzir e conseguiu-se ver esta relação comparando-os antes e

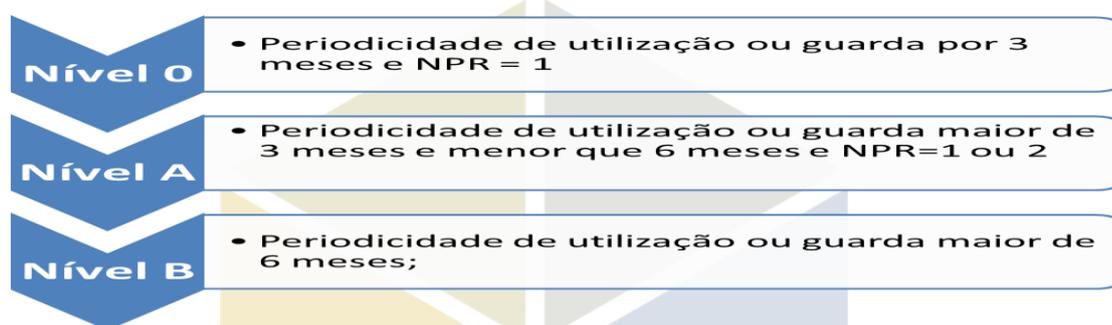
depois pela aplicação da manutenção sugerida para o item conforme desgaste e periodicidade estabelecida nas condições.

Desta maneira, como desdobramento do FMEA, pode-se gerar o plano de manutenção baseado em três níveis: 0, A e B, alinhando as ações necessárias com os métodos de detecção para mitigar as falhas.

Estes níveis foram estabelecidos pela criticidade definida nas ações corretivas correlacionando com a periodicidade.

Onde respectivamente a manutenção trimestral equivalente ao nível 0, a manutenção semestral referente ao nível A e a manutenção anual referente ao nível B, ou por usabilidade, onde se não for exposta ao uso no período, ou a operação da ferramenta utilizou algum sistema de sacrifício ou elemento de vedação ele será encaixado no nível correspondente.

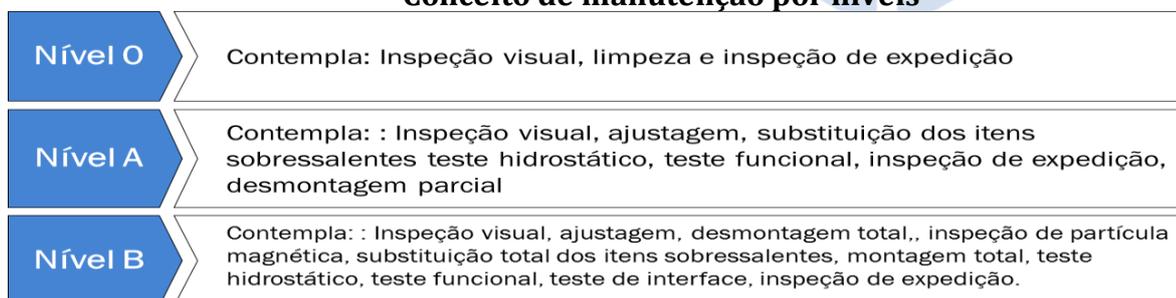
Figura 11
Correlação entre periodicidade + NPR versus nível de manutenção



Fonte: Autor (2017).

Sendo assim, agrupou-se as atividades intrínsecas aos processos de manutenção podendo ser modeladas como avaliação visual externa (nível 0), avaliação visual externa e desmontagem parcial (nível A), para substituição de elementos de vedação e de travamento onde é aplicável realizar testes hidrostáticos ou funcionais chegando a um NPR=2, e desmontagem geral contemplando inspeção e substituição completa dos elementos vedantes, sacrifício e de fixação, realizando montagem e testes (nível B).

Figura 12
Conceito de manutenção por níveis



Fonte: Autor (2017).

O conceito de manutenção segmentado em três níveis, 0 (zero), A e B, envolve as atividades que serão realizadas no processo de manutenção, sendo documentadas no formato de plano de manutenção.

Caso algum dos itens inspecionados seja reprovado, um relatório de anomalia será aberto para ele, onde será indicado o reparo ou a substituição do mesmo.

Tabela 07
Plano de Manutenção de uma Ferramenta de Cabeça de Poço

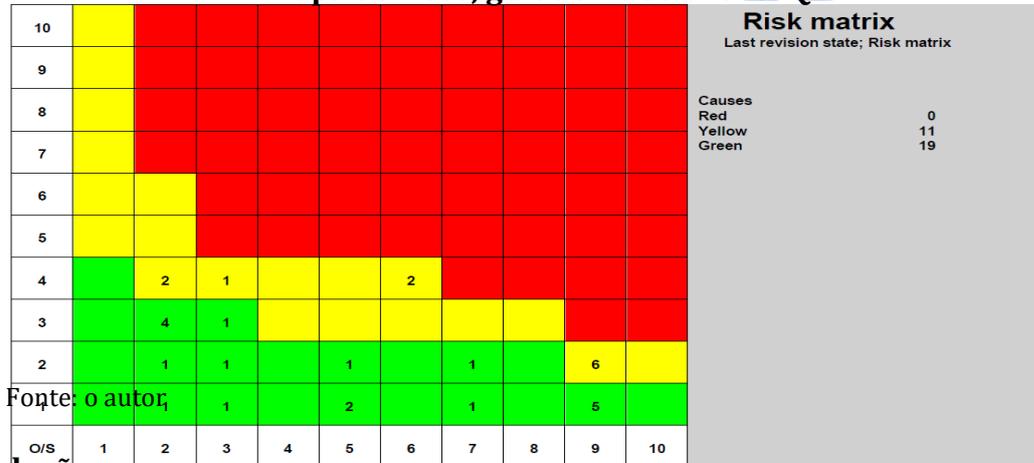
Manutenção				Nível 0			Nível A				Nível B							
# ITEM	NÚMERO DE PARTE	DESCRIÇÃO	DIMENSÕES CRÍTICAS / NOTAS ex: características para medição, notas	INSPEÇÃO			MONT. / TESTE				INSPEÇÃO							
				INSPEÇÃO VISUAL (SEM USU)	AJUSTAGEM, SE NECESSÁRIO	TESTE FUNCIONAL	INSPEÇÃO VISUAL (USADO)	AJUSTAGEM, SE NECESSÁRIO	TESTE HIDROSTÁTICO	TESTE FUNCIONAL	INSPEÇÃO VISUAL	SUBST. PADRÃO DA PARTE	INSPEÇÃO VISUAL (USADO)	INSPEÇÃO PM	AJUSTAGEM, SE NECESSÁRIO	TESTE HIDROSTÁTICO	TESTE FUNCIONAL	INSPEÇÃO VISUAL
0	B51220-1	FERRAMENTA MANUSEIO ALOJ		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	B51221-1	CORPO	PM NA REGIÃO DE SOLDADA DOS OLHAIS										X	X	X			
2	B51221-5	MORDENTE											X	X				
3	195055-42	PINO											X					
4	B51221-7	PINO ACIONADOR											X	X				
5	B51221-6	PLACA DE COBERTURA											X					
6	B50560-10	PROTECTOR DE BORRACHA PARTIDO, PARA PERFIL VXXVT, 16-3/4, NBR 75 - 80 SHORE A, VERMELHO	NÃO REPOR O ITEM, CASO NÃO FOR ENVIADO PELO CLIENTE										X					
7	B50981-192	ESLINGA COM 4 PERNAS	SUBSTITUIR CASO ESTEJA NÃO CONFORME				X						X					
8	199602-17	ARRUELA REGULAR HELICOIDAL											X					
9	H301275-86	PARAFUSO 3/4" X 2.000" - 10UNC - 3A											X	X				
10	199602-13	ARRUELA REGULAR HELICOIDAL											X					
11	H301275-4	PARAFUSO SOCKET HD, .500-13 X 1.500 LG											X					
12	B51221-8	PLACA DE IDENTIFICAÇÃO											X					
13	195211-9	ARRUELA 1/4 NOM											X					
14	195008-238	PARAFUSO											X					
0	B51428-1	BASE DE TESTE, MANUTENÇÃO, MONTAGEM E TRANSPORTE	TESTE FUNCIONAL CONSISTE NA VERIFICAÇÃO DO ASSENTAMENTO DA FERRAMENTA NO BERÇO DA BITMMT				X	X	X	X								

Fonte: Autor (2017).

Através do software foi possível gerar com seus recursos o seguinte gráfico: matriz de risco, que estabelece uma análise mais profunda acerca dos riscos e efeitos gerados. A Matriz de Risco apresenta nos seus eixos escalas de probabilidade de ocorrência e severidade para um dado fator de risco, esses fatos são numerados e relacionados com a falha descrita antes na realização do FMEA, clicando no número da matriz o software redireciona para a falha correspondente ao quadrante clicado, conforme figura 13. O mapa de risco mostra de forma visual os pontos críticos que necessitam mais atenção, onde vermelho é o mais crítico e verde o mesmo crítico. Assim como esta modelagem potencializa o link entre todos os elementos e componentes sob todo o sistema sendo possível visualizar e identificar visualmente através dos recursos apresentados pelo mesmo, facilitando e dando confiabilidade na gestão dos sistemas ao longo de sua utilização.

Figura 13

Mapa de risco, gerado no software IQ-RM



4. Conclusão

O presente trabalho deu fundamentação técnica para concepção de um plano de

manutenção para realizar a manutenção de forma confiável e adequada o conjunto do sistema de cabeça submarino, servindo como sustentação para avançar na concepção da criação de um contrato de serviços para seu cliente.

Através da análise, conseguimos obter as informações referente ao maior percentual de ferramentas que estarão sendo utilizadas no processo de manutenção e quais níveis de manutenção, afim de ter uma perfil de como se dará a rotina de manutenção das ferramentas.

Por consequência desta, constatamos que as ferramentas de instalação das buchas de desgaste, assim como as buchas em geral, os suspensores de revestimentos e ferramentas testadoras de BOP, terão maiores frequências de manutenção, assim como os níveis de manutenção A e B serão os que mais ocorrerão ao longo da rotina de manutenção na fábrica.

Desta maneira, este estudo dá entrada e arcabouço técnico para sustentar a gestão dos processos de manutenção das ferramentas, podendo medir, analisar e identificar os recursos necessários para se conceber e gerir um contrato de manutenção “aftermarketing” no mercado de óleo e gás.

Sob esta ótica, poderá ser avançar na elaboração do contrato preposto, realizado o estudo de tempos e métodos referente ao processo de manutenção do conjunto de ferramentas de sistemas de cabeça de poço submarino, analisando a dualidade entre capacidade de fábrica versus homem hora por atividade, a contabilização do tempo de serviço individual e geral para cada nível do processo de manutenção pertinente a cada ferramenta, obtendo um *leadtime* segmentado e global do processo, abrangendo as atividades diretas e indiretas relacionadas ao serviço, com a finalidade de obter parâmetros para delimitação de recursos e precificação para realização das atividades sustentadas por uma abordagem de manufatura enxuta estruturada por uma gestão de processos, sendo possível a utilização e aplicação do software IQ-RM na concepção de um PFMEA (FMEA de Processos), para satisfazer as novas necessidades na elaboração de um projeto de manutenção industrial em equipamentos submarinos de produção de petróleo e gás.

Referências Bibliográficas

- DIAS, F. M. **Implantação de software para ensino-aprendizagem da metodologia FMEA**. 2014. 46. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) – Universidade São Francisco, Campinas – SP.
- IQA – INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – Manual de Referência**. Automotive Industry Action Group, 4ª Edição, 2008.
- LAURENTI, R., VILLARI, B. D e ROZENFELD, H. **Problemas e melhorias do método FMEA: uma revisão sistemática da literatura**. P&D em Engenharia de Produção, Itajubá, v. 10, n. 1, p.59-70, mar. 2012.
- LEOPOLDINO, V. C. **FMEA: failure mode and effect analysis**. 3. ed. Curitiba: Tupy, 2007.
- MCDERMOTT, R. E., MIKULAK, R. J., **The Basics of FMEA, Productivity Inc**, Portland, 1997
- STAMATIS, D.H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, second edition, 2003.
- TENG, S. G.; HO, S. M.; SHUMAR, D.; LIU, P. C. **Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment**. International Journal of Quality & Reliability Management, 23: 2006.
- TENG, S. G.; HO, S. M. **Failure mode and effects analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, 13: 1996.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**, 3. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

