

APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS QFD E FMEA EM UMA EMPRESA FORNECEDORA DE TUBOS CRA

Camilla Campos Martins Silva

millacampos1004@gmail.com

TAIS BARROS DA SILVA SOARES

taisbarros.soares@gmail.com

Fredjoger Barbosa Mendes

fredjoger@gmail.com

JARBAS PIXIOLINI

jarbas.pixiolini@gmail.com

Rodolfo Cardoso

rcardoso.uff@gmail.com



Um dos maiores desafios para uma organização é, além de entender perfeitamente as necessidades do cliente, ser capaz de traduzir corretamente essas necessidades, diferindo da maioria das empresas, que às vezes consideram suas próprias perspectivas como verdade absoluta. Além disso, ao projetar um produto ou serviço que atenda às expectativas do cliente, você precisa estar ciente dos requisitos básicos necessários, como a confiabilidade do produto que está sendo oferecido. Dentro deste contexto, o objetivo deste projeto é integrar o Quality Function Deployment (QFD) e as ferramentas de análise de efeitos e modo de falha (FMEA) para impulsionar os resultados de um fabricante e fornecedor de tubos de ligas resistentes à corrosão (CRA) e propor alternativas viáveis para resolver os problemas mais impactantes, com foco no cliente.

Palavras-chave: FMEA, QFD, Melhoria contínua, Ferramentas da Qualidade, Petróleo e gás

1. Introdução

Diante de um cenário mundial onde a globalização e o contexto do ambiente de negócios são alimentados por uma elevada competitividade, estudos referentes aos recursos existentes na indústria de óleo e gás, têm demonstrado que a cadeia de fornecedores de bens e serviços apresenta características específicas que necessitam de tratativas efetivas para garantir o alcance de uma vantagem competitiva sustentável, e conseqüentemente, sua sobrevivência em um panorama tão dinâmico e instável, no qual tais empresas estão imersas. (ACCENTURE, 2016; KEUER et al., 2016).

A vantagem competitiva é obtida quando uma organização desenvolve ou adquire um conjunto de atributos que influenciam na escolha do cliente pelo produto ou serviço oferecido pela empresa, em detrimento dos fornecidos pelos seus concorrentes. É necessário ter em mente que o ponto de partida para alcançar a excelência é o cliente. Quer externo ou interno à organização, é necessário saber se suas expectativas estão sendo atendidas (PORTER, 2004).

Sendo assim, um dos maiores desafios para uma organização é, além de compreender perfeitamente as necessidades do cliente, conseguir traduzi-las corretamente, diferenciando-se da maioria das empresas que, por vezes, consideram suas próprias perspectivas como verdade absoluta. Foi com esse objetivo que a ferramenta QFD (desdobramento da função qualidade ou *Quality Function Deployment*) foi instituída, a fim de possibilitar a compreensão do que realmente o cliente espera e como essa expectativa pode ser traduzida e atendida (CHENG, 2007).

Complementarmente, ao projetar um produto ou serviço que atenda a expectativa do cliente, é preciso atentar-se aos seus requisitos básicos necessários, como por exemplo, a confiabilidade do que está sendo oferecido. Neste âmbito, foi desenvolvida a ferramenta FMEA (Análise dos modos de falha e seus efeitos ou *Failure Mode and Effect Analysis*), utilizada com o objetivo de identificar as possíveis falhas, analisá-las detalhadamente e atuar de forma a evitá-las ou mitigá-las, tornando possível a obtenção de resultados efetivos dentro da organização (FRANCESCHINI e GALETTO, 2001).

A indústria de petróleo e gás opera em ambientes extremamente complexos e agressivos, sendo imprescindível a utilização de materiais com características específicas, projetados exclusivamente para a mesma (THOMAS, 2004). Para a obtenção do petróleo, o processo de

perfuração dos poços e elevação do óleo até a superfície deve ser feito através de estruturas instaladas com tubos em aços proprietários de acordo com cada local explorado, em todos os processos produtivos da cadeia de petróleo. Esses tubos são desenvolvidos e fabricados de acordo com a criticidade dos poços perfurados, com propriedades e metalurgias especiais que impedem a ruptura e retardam a corrosão (CENPES, 2008).

A empresa V é uma produtora integrada de tubos sem costura para poços de petróleo com metalurgia a partir de Aço Carbono até Super 13% Cromo. Para aços CRA, que são aços resistentes à corrosão, a empresa estabeleceu a sua parceria estratégica com o fornecedor Tubacex, um líder mundial integrado na fabricação de tubos de aço inoxidável sem costura, a fim de otimizar a produção para OCTG. Todos os graus CRA são produzidos de acordo com as especificações da empresa V e podem ser rosqueados com as principais conexões Premium da mesma.

Dentro desse contexto, a empresa V possui uma elevada responsabilidade, pois a corrosão e ruptura da tubulação de um poço de petróleo pode causar diversos danos à organização, ao cliente e até mesmo ao meio ambiente (como um desastre ambiental), sendo este, um dano irreparável. Essas consequências podem ser originadas por tubos que não suportem as condições do local onde foram situados, como: presença de H₂S, CO₂, resistência insuficiente à corrosão, elevadas tensões, tração, compressão, pressões interna e externa ou colapso e outros tipos de esforços sofridos por esses materiais (ABRAHAM, 2005).

Neste âmbito, o intuito deste projeto é realizar uma pesquisa aplicada em uma empresa multinacional fornecedora de tubos sem costura atuante no setor de óleo e gás, através da aplicação das ferramentas QFD e FMEA de forma integrada, visando a fabricação de tubos em aços inoxidáveis (CRA), a fim de compreender de forma clara o que o cliente espera do produto, identificar falhas potenciais que esse produto possa apresentar e propor alternativas viáveis para tratativa e mitigação dessas falhas, garantindo a confiabilidade do produto fornecido.

2. Referencial teórico

2.1 Materiais CRA

Os aços inoxidáveis surgiram por volta de 1870, e foram nomeados de "*rustless*". O primeiro objetivo para a utilização desse tipo de aço foi para evitar a corrosão no armamento bélico. Com o tempo, foi observado que essas ligas gerariam benefícios para outros ramos industriais. Porém só nos anos 70, iniciou-se o desenvolvimento de pesquisas para a utilização desse aço na produção de gás em poços corrosivos, através de graus OCTG (*Oil Country Tubular Goods*) específicos (CARBÓ, 2008).

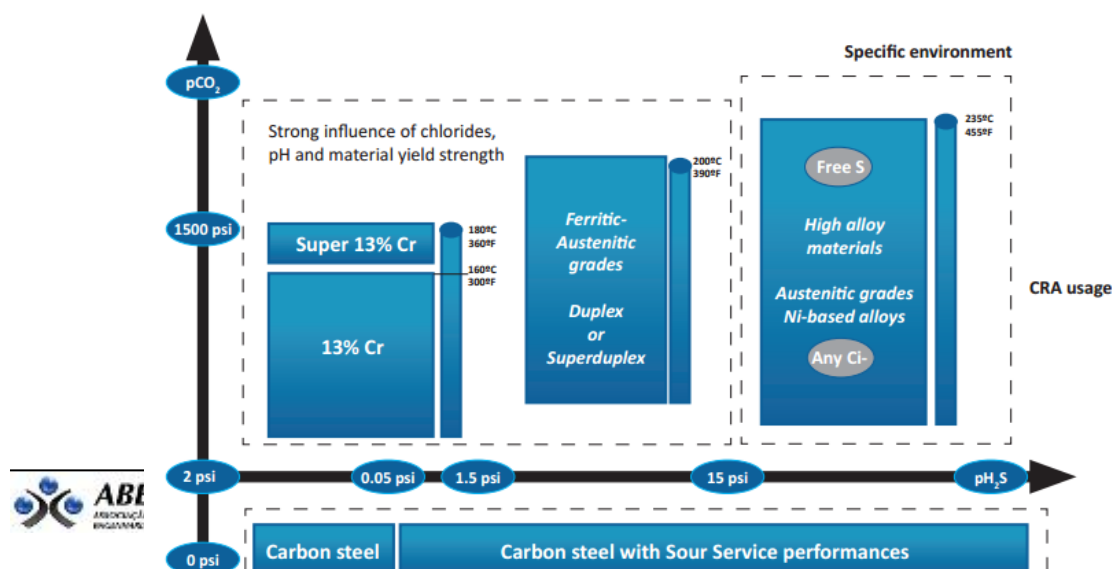
É considerado “aço inoxidável”, se a liga contém, no mínimo 12% de cromo, que é o principal elemento responsável pela criação de uma camada apassivadora na superfície do produto, que o protege contra a corrosão. Alguns elementos como molibdênio, cobre e ferro, podem reforçar ainda mais essa resistência (SILVA, 2006).

Os aços inoxidáveis são classificados segundo a ISO 13680:2010 e API 5CRA em 4 classes relacionadas com a sua estrutura metalúrgica: martensíticos, ferríticos, austeníticos-ferríticos (ou duplex) e austeníticos. Martensítico (principalmente 13% de Cr e super 13% Cr) é endurecido por um tratamento térmico apropriado, mas a sua utilização é limitada a ambientes com baixas pressões parciais de H₂S.

Os tubos CRA são usados em projetos de poço que necessitam de vida longa de seus tubos e requisitos de alto rendimento, já que estes projetos envolvem ambientes extremamente corrosivos, com: Altas temperaturas (atingindo 220° C), alta pressão de CO₂ e H₂S (hidrogênio superior a 35%), alto teor de cloreto e baixo pH e presença de Sulfeto.

A figura 1 apresenta o guia de seleção do aço que deve ser utilizado dependendo da relação entre a pressão de CO₂ E H₂S que o ambiente, no qual o tubo será utilizado, apresenta.

Figura 1 – Guia de Seleção de material



Fonte: Catálogo OCTG, 2015.

É possível observar que a principal variável que indica a necessidade da utilização de tubos com aço CRA é a alta pressão de H₂S no ambiente.

2.2 QFD

O QFD, do inglês, *Quality Function Deployment*, é uma ferramenta de qualidade que surgiu no Japão por volta de 1960, a partir dos professores Akao e Mizuno, que almejavam obter, através de um método, quais os pontos críticos para a garantia da qualidade. Em 1986, o QFD foi difundido mundialmente, através da sua popularização nos Estados Unidos, porém algumas características das ideias originalmente propostas foram alteradas. (CARNEVALLI ET AL., 2004; CHENG, 2007; MELO, 2007).

O QFD é um método que facilita o processo de planejamento da qualidade através de uma série de relações de causa e efeito, que serão trabalhadas por meio de matrizes. Através dele, é possível relacionar as necessidades da qualidade ("o que se espera") com os requisitos existentes ("como se pretende fazer"), e identificar a intensidade do relacionamento entre eles.

De acordo com Cheng (2007) e Melo (2007), o principal objetivo dessa ferramenta é o de capturar os principais desejos e necessidades de um cliente sobre um produto ou serviço e tornar explícito os aspectos que influenciam a qualidade percebida, de forma a identificar quais os pontos críticos a serem tratados. Ou seja, o QFD possui um potencial forte de ouvir, traduzir e transmitir, de forma priorizada, a voz do cliente para dentro da empresa.

Os principais resultados obtidos por empresas que fizeram uso da metodologia confirmam os grandes benefícios de usar o QFD. Dentre estes, estão: Aumento da satisfação dos clientes, melhor comunicação interna, ganho de mercado, capacitação de recursos humanos, redução nas reclamações dos clientes e, não menos importante, melhoria da qualidade e confiabilidade do produto (CARNEVALLI ET AL., 2004; CHENG, 2007; MELO, 2007).

2.4 FMEA

De acordo com Zeithaml et al. (1990), entre as principais dimensões da qualidade de um serviço ou produto está a confiabilidade, apresentada como a certeza de que o produto fornecido cumpra exatamente o que foi proposto em seu projeto de fabricação e comercialização.

Segundo a norma brasileira NBR 5462-1994, item 2.2.6.4, a confiabilidade de um produto é a probabilidade de que este produto desempenhe a função requerida, por um intervalo de tempo pré-estabelecido, sob condições definidas de uso. Segundo Elsayed (1996), a confiabilidade é a probabilidade que um produto ou serviço opere adequadamente e sem falhas sob as condições de projeto, durante um tempo especificado, a vida de projeto.

O FMEA, do inglês, *Failure Mode and Effect Analysis*, surgiu em 1963, em estudos realizados pela agência americana NASA para a missão Apollo. Posteriormente, o FMEA foi aplicado na indústria automobilística, onde foi utilizado para quantificar e ordenar os defeitos potenciais ainda na fase de projeto, com o objetivo de impedir que essas falhas chegassem ao cliente final (PUENTE ET AL., 2002).

De acordo com Franceschini et al. (2001) o FMEA é uma ferramenta de confiabilidade que visa à identificação de falhas e problemas potenciais de um produto ou sistema antes de serem repassados ao consumidor final. Além disso, esse método permite priorização das tratativas das possíveis falhas, através da quantificação da criticidade de seus modos e de uma lista de ações preventivas para seu controle.

Desta forma, o principal objetivo dessa ferramenta é evitar que ocorram falhas durante a operação do produto ou do processo, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria. Sendo assim, sua utilização, diminui as chances de falha, buscando, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade do mesmo.

Esta dimensão da qualidade, a confiabilidade, têm se tornado cada vez mais importante para os consumidores, pois, já que está diretamente relacionada com a satisfação do cliente no produto ou serviço adquirido. A falha de um produto, dependendo da sua gravidade, pode causar danos irreparáveis para a reputação de uma empresa (TOLEDO, 2016).

3. Plano de Pesquisa

A pesquisa baseou-se na integração das ferramentas QFD e FMEA, resultando na identificação dos requisitos do cliente e as formas como estes podem ser atendidos, os possíveis modos, efeitos e causas das falhas. Desta forma o método utilizado ao longo do desenvolvimento deste projeto pode ser dividido nas fases abaixo:

Tabela 1 - Desdobramento das características da qualidade

ETAPAS DA PESQUISA	DESCRIÇÃO
Fase 1: Estudo de Mercado com a equipe de Vendas	Nessa etapa os principais concorrentes foram levantados, as vantagens e desvantagens frente a estes foram analisadas;
Fase 2: Realização de entrevistas com os clientes:	Foram levantadas as principais características que o produto e serviço prestado pela empresa devem oferecer ao cliente, seguida de um questionário quantitativo;
Fase 3: Aplicação do QFD	Através das fases 3 e 4, os requisitos do cliente e do produto foram definidos, e o desdobramento da matriz de qualidade foi realizado;
Fase 4: Aplicação do FMEA	Inicialmente foram realizadas reuniões com a equipe técnica, para a identificação das possíveis falhas no produto. Cada causa foi avaliada e pontuada através do NPR;
Fase 5: Priorização das causas e ações propostas	Priorização das causas e ações propostas: identificaram-se quais falhas devem ser monitoradas de maneira a não comprometer a qualidade do produto;
Fase 6: Análise dos resultados	Os resultados obtidos através do QFD e do FMEA foram analisados e integrados, a fim de se obter uma conclusão única, em termos de atendimentos às perspectivas do cliente e garantia de qualidade.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2007.

4. Resultados e Análises

4.1 Estudo de Mercado com a equipe de Vendas

Para a realização do estudo de mercado, foi solicitado o auxílio do setor de Vendas da empresa. Inicialmente, foi realizado um levantamento geral dos concorrentes existentes da empresa V e uma avaliação do nível de influência que cada uma dessas exerce no mercado em questão, possibilitando a elaboração de uma análise consistente do atual cenário que a empresa vivencia.

Dentre estes, foi selecionado um concorrente potencial para a realização da pesquisa, o qual atua no mesmo segmento da empresa V com o fornecimento de produtos semelhantes para o setor de óleo e gás. O auxílio da equipe de vendas também foi essencial para a elaboração da análise da avaliação competitiva presente no QFD, permitindo a realização de uma comparação consistente das duas empresas em relação aos requisitos do cliente e a compreensão das vantagens e desvantagens da empresa V frente a este concorrente.

4.2 Realização de entrevistas com o cliente

Para a realização das entrevistas, foi selecionado o principal cliente da empresa no Brasil. As entrevistas foram realizadas com engenheiros e técnicos de poços de petróleo da companhia. Foram levantados os principais requisitos do cliente em relação aos produtos e serviços realizados pela empresa V, referente a comercialização de produtos CRA. Além disso, foi discutido a respeito das dificuldades enfrentadas pelo cliente em suas operações, a criticidade dos ambientes explorados e de que forma e/ou com que materiais e em quais condições estes atenderão às suas necessidades.

4.3 Aplicação do QFD

As principais etapas da aplicação do QFD foram feitas com o apoio do cliente, o que permitiu a realização de um estudo mais preciso. Primeiramente, através das entrevistas, foi possível fazer o desdobramento das características da qualidade que são esperadas pelo cliente. Como a proposta de negócio da empresa V, engloba, não só o fornecimento de produtos ao cliente, mas também uma solução integrada com serviços que complementam a utilização de tal produto, o QFD criado foi dividido em duas partes principais: serviço (Qualidade no atendimento ao cliente) e produto (Qualidade do produto), conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Desdobramento das características da qualidade

1º Nível	2º Nível	3º Nível
Qualidade no Atendimento ao cliente	Prestação do serviço	Proximidade ao cliente
		Flexibilidade na adequação da produção às necessidades do cliente
		Rapidez na entrega
		Disponibilização de equipe especializada

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em CHENG, 2007.

Posteriormente, foi solicitado ao cliente que classificasse todos os itens do terceiro nível da tabela 2 com pesos, de forma a sequenciar as características que, para ele, são as mais críticas e deveriam ser priorizadas por um fornecedor. Os pesos foram dados de 1 a 10, sendo 1 para a característica menos importante e 10 para a mais importante, conforme tabela 3.

Tabela 3 – 3º nível desdobramento das características da qualidade - Pesos

3º Nível	Peso
know how em relação ao produto	10
Eficácia na vedação da conexão	10
Alta resistência à corrosão à CO ₂	10
Flexibilidade na adequação da produção às necessidades do cliente	9
Disponibilização de equipe especializada na operação do material no campo	9
Proximidade ao cliente	8
Rapidez na entrega	8
Resistência à altas temperaturas	8
Alta resistência à ambientes com presença de H ₂ S	8
Precisão e qualidade nas respostas ao cliente	7
Ductilidade	7
Alta resistência à colapso	7
Apresentação do detalhamento da operação	

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em CHENG, 2007

De acordo com as informações levantadas junto ao cliente, iniciou-se o preenchimento da Casa da Qualidade, conforme figura 3.

Conforme explicitado, o QFD foi dividido em duas partes, serviço e produto, permitindo uma análise apropriada para cada tópico que foi sinalizado pelo cliente como relevante. As características de qualidade que serão abordadas no estudo foram transferidas para a coluna que representa o “o que” o cliente espera receber. Os pesos dados pelo mesmo também foram representados na coluna “Peso”.

A próxima etapa foi levantar o “como/de que forma” o produto ou serviço atenderia tais requisitos, demonstrado na linha horizontal “Requisitos do produto”, o qual foi realizado com o apoio da equipe técnica da empresa V. O passo seguinte foi verificar a intensidade da relação entre tais requisitos do produto e os requisitos do cliente, avaliando-as nos quesitos forte, médio e fraco, com pesos 9, 3 e 1 respectivamente, conforme legenda explicativa da figura 3. Após, efetuou-se a multiplicação entre os pesos dados a cada nível de relação e o peso do requisito do cliente, avaliado pelo mesmo. O resultado da multiplicação foi evidenciado em cada célula. A soma dos resultados das multiplicações gerou o “peso absoluto” para cada item, que, dividido pela soma total dos pesos absolutos, gerou o “peso relativo”, ou seja, a proporção de cada item em relação ao todo.

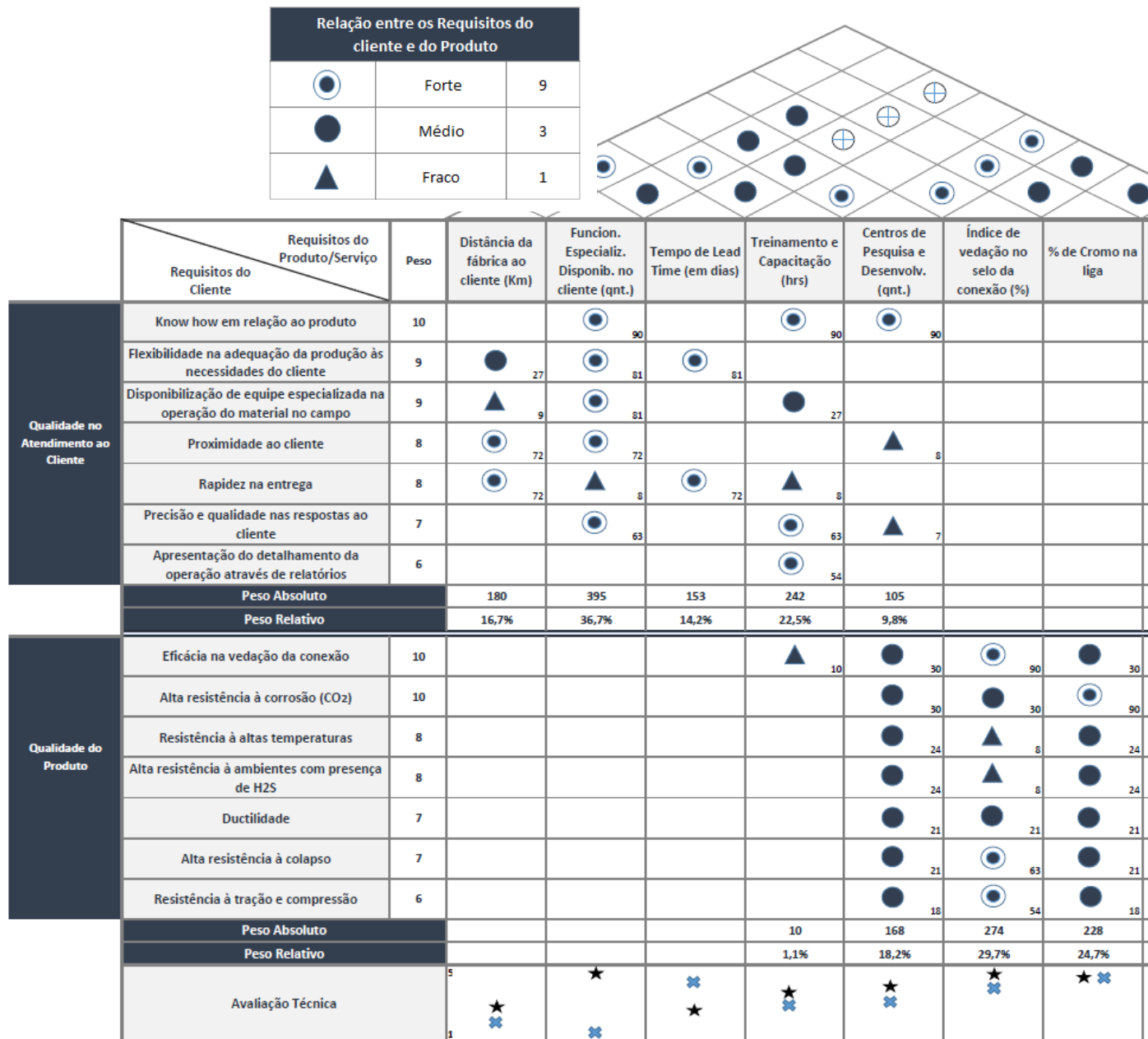
A etapa seguinte foi iniciar o preenchimento do telhado da casa da qualidade, o qual representa a intensidade da relação entre os requisitos do produto, ou, o nível da relação entre cada “como/de que forma” a organização atenderá o seu cliente, conforme legenda da figura 3. Esta etapa foi realizada através de uma análise crítica da equipe de trabalho juntamente com a equipe técnica da empresa V com o objetivo de avaliar a influência de cada requisito do produto em relação aos demais.

Também foi realizada uma análise de caráter externo com o apoio da equipe de vendas, avaliando a relação competitiva entre a empresa e seu principal concorrente, com pontuações entre 1 e 5, sendo 1 para a pior posição e 5 para a melhor. Por fim, foi avaliado novamente o desempenho da empresa e do mesmo concorrente, porém, na percepção dos técnicos da empresa, finalizando a Casa da Qualidade, ou QFD.

Através da análise da matriz QFD é possível verificar que o requisito do produto “funcionário especializado disponibilizado no cliente”, possui uma importância relevante levando em consideração os requisitos do cliente referente à qualidade no atendimento, apresentando um peso relativo de 36,7%. Isso indica que investimentos nessa característica de serviço, irão garantir que grande parte dos requisitos de qualidade no atendimento ao cliente sejam atendidas.

Entre os requisitos do produto, que interferem diretamente os requisitos do cliente relacionados à qualidade do produto, os que tiveram maior destaque foram: “índice de vedação”, “% de elementos extras” e “% de cromo na liga”, com respectivamente, 29,7%, 26,4% e 24,7%.

Figura 3 – Casa da Qualidade



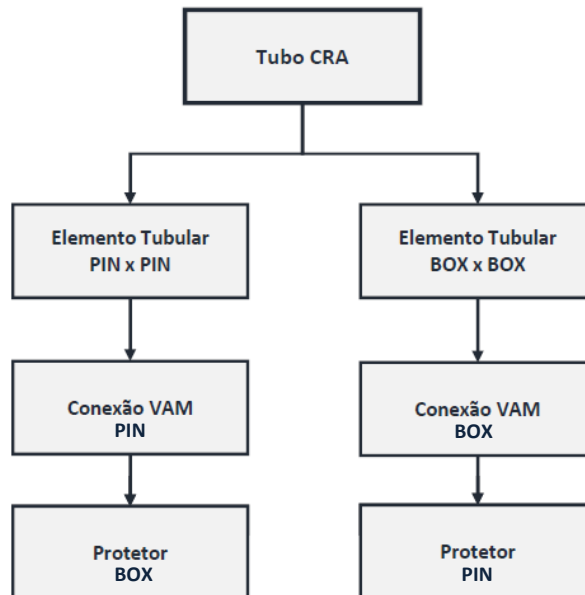
Fonte: Elaborado pelos autores, com base em CHENG, 2007.

4.4 Aplicação do FMEA e tratativa das causas das falhas

Após a aplicação do QFD, o FMEA foi realizado com o objetivo principal de aumentar a confiabilidade dos tubos CRA comercializados pela empresa V, através da identificação dos modos de falha potenciais, seus efeitos, causas, e taxas de ocorrência.

As análises e tratativas das possíveis falhas em relação a esse produto são de grande importância, considerando que os tubos CRA são utilizados em poços mais profundos, com maior severidade nas condições ambientais. Para isso, inicialmente foi elaborada a representação hierárquica do produto, que contém os principais componentes de um tubo CRA, como representado na figura 4:

Figura 4 – Representação hierárquica do produto



Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Puente et al., 2002.

O tubo CRA é comercializado com os seguintes componentes:

- Elemento tubular pino x pino: É o maior e principal componente do produto, pois além de possuir maior massa é o elemento que exerce a função primária para qual o tubo foi projetado. São nas extremidades desta parte que estão usinadas as conexões pino.

- Elemento tubular caixa x caixa: É o elemento de ligação entre os tubos, também conhecida como luva, este elemento recebe o pino do outro tubo no momento do acoplamento durante a formação da coluna.
- Conexão VAM: É a parte usinada do elemento tubular pino-pino e da luva. Possui projeto dedicado a suportar esforços combinados de tração, compressão, pressão interna e externa exercida inclusive por gás.
- Protetor: É um elemento plástico no formato da conexão VAM que protege as extremidades usinadas contra danos mecânicos e contra elementos corrosivos.

Em sequência, foram selecionados os principais requisitos do produto, oriundos do QFD, que poderiam falhar, considerando o resultado do peso relativo, a criticidade de cada requisito e seu potencial de melhoria. Os requisitos selecionados foram “Índice de vedação no selo da conexão”, “% de cromo na liga” e “% de elementos extras”. Levando em consideração estes, os três principais modos de falhas foram levantados: fissura da coluna, corrosão avançada do tubo e perda da estanqueidade na conexão, como apresentado na tabela 4.

Tabela 4 – Relação entre requisito do produto e seu principal modo de falha

Requisito do Produto	Modo de Falha Potencial
Índice de vedação no selo da conexão	Perda de estanqueidade na conexão
% de cromo na liga	Corrosão avançada do tubo
% de elementos extras (Ni, Mo, Fe)	Fissura de coluna

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Puente et al., 2002.

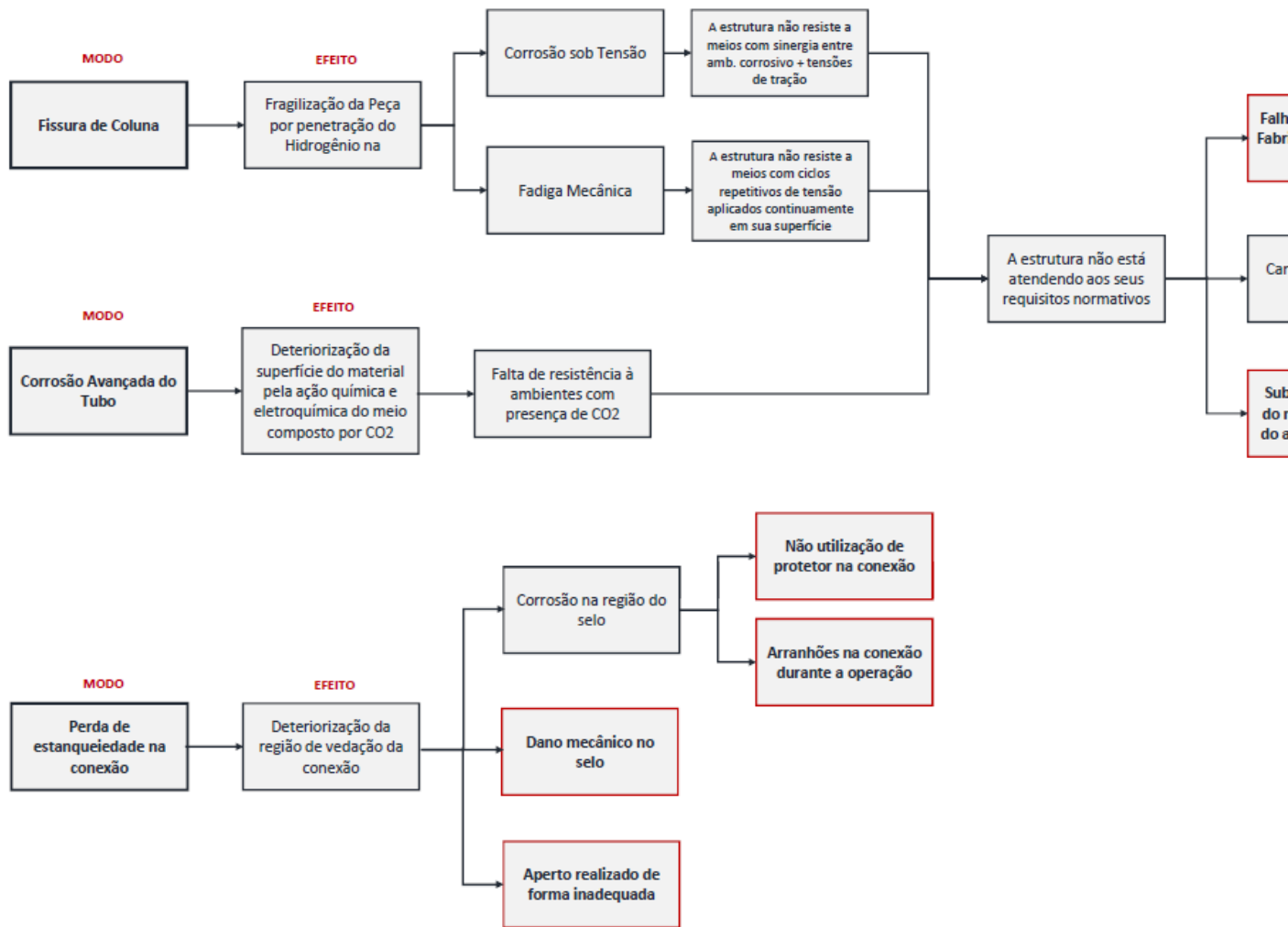
Foi feita uma árvore de falhas a partir destes, com o objetivo de identificar as causas raízes responsáveis por cada modo de falha levantado, conforme figura 4.

Através da análise da figura 4, é possível observar que a fissura da coluna e a corrosão avançada do tubo tiveram as mesmas causas raízes. Desta forma, se estas causas forem tratadas, irão influenciar em duas falhas distintas, simultaneamente. Em relação à perda de estanqueidade da conexão, novas causas raízes foram encontradas, todas elas relacionadas com a deterioração da região de vedação da conexão, conhecida como selo.

Após a elaboração da árvore de falhas, o que possibilitou o encontro das causas raízes referentes aos modos de falhas potenciais referentes aos requisitos do produto selecionados, a

tabela representativa do FMEA foi elaborada, e o RPN foi calculado, permitindo a proposição de ações, de acordo com a priorização das causas, de acordo com a figura 5.

Figura 4 – Árvore de falhas



Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Oakland, 1994.

Figura 5 – FMEA

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS										
FUNÇÃO		FALHAS POSSÍVEIS				SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	RESULTADO	
NOME DO COMPONENTE / PROCESSO	FUNÇÃO DO COMPONENTE / PROCESSO	REQUISITO DO PRODUTO RELACIONADO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	CAUSA PRINCIPAL DA FALHA					
Conexão PIN X PIN	Realizar a junção estrutural entre tubos	Índice de vedação no selo da conexão (%)	Perda de estanqueidade na conexão	Deteriorização da região de vedação da conexão	1 - Não utilização de protetor na conexão	9	2	1	18	Mante
Conexão BOX X BOX					2 - Arranhões na conexão durante a operação	6	3	3	54	M
					3 - Dano mecânico no selo	8	4	4	128	M
					4 - Aperto realizado de forma inadequada	9	4	5	180	Segui
Elemento Tubular PIN x PIN	Permitir o transporte de fluidos resistindo aos esforços combinados	% de elementos extras (Ni, Mo, Fe)	Fissura de Coluna	Fragilização da Peça por penetração do Hidrogênio na superfície	5 - Falhas no processo de fabricação do material CRA	9	2	6	108	Segui
Elemento Tubular BOX x BOX					Acoplar dois elementos tubulares Pin X Pin	6 - Arranhões na superfície do tubo	7	7	2	98
	7 - Contato com material aço carbono					7	7	2	98	M
	8 - Contaminação por halogênios					6	1	1	6	Ut
	9 - Pitting					9	3	6	162	Ca su
	10 - Subdimensionamento do material em função do ambiente e do poço				9	1	6	54	Ut recon	
Elemento Tubular PIN x PIN	Permitir o transporte de fluidos	% de Cromo na liga	Corrosão Avançada do Tubo	Deteriorização da superfície do material pela ação química e eletroquímica do meio composto por CO2	Causas 5, 6, 7, 8, 9 e 10.					
Elemento Tubular BOX x BOX	Acoplar dois elementos tubulares Pin X Pin									

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Puente et al., 2002

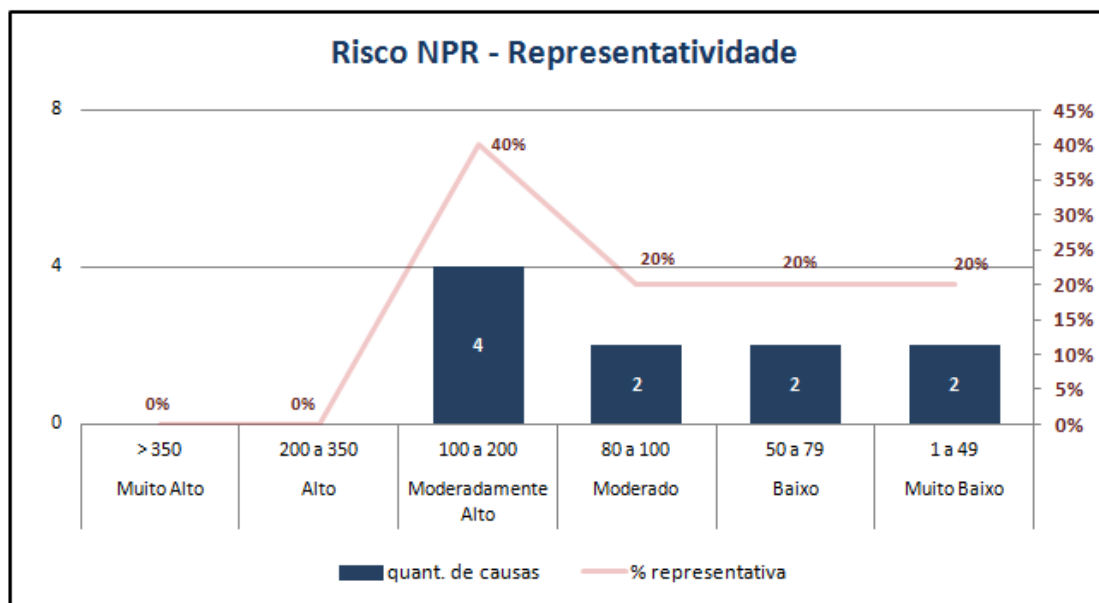
Tabela 5 – Avaliação do Risco

Risco (NPR)	
Avaliação	Pontuação
Muito Baixo	1 a 49
Baixo	50 a 79
Moderado	80 a 100
Moderadamente Alto	100 a 200
Alto	200 a 350
Muito Alto	> 350

Fonte: Elaborado pelos autores.

Levando em consideração a figura 5 e a tabela 5, foi possível avaliar, de uma forma geral, a distribuição dos riscos existentes, como apresentada na figura 6.

Figura 6- Risco NPR representatividade

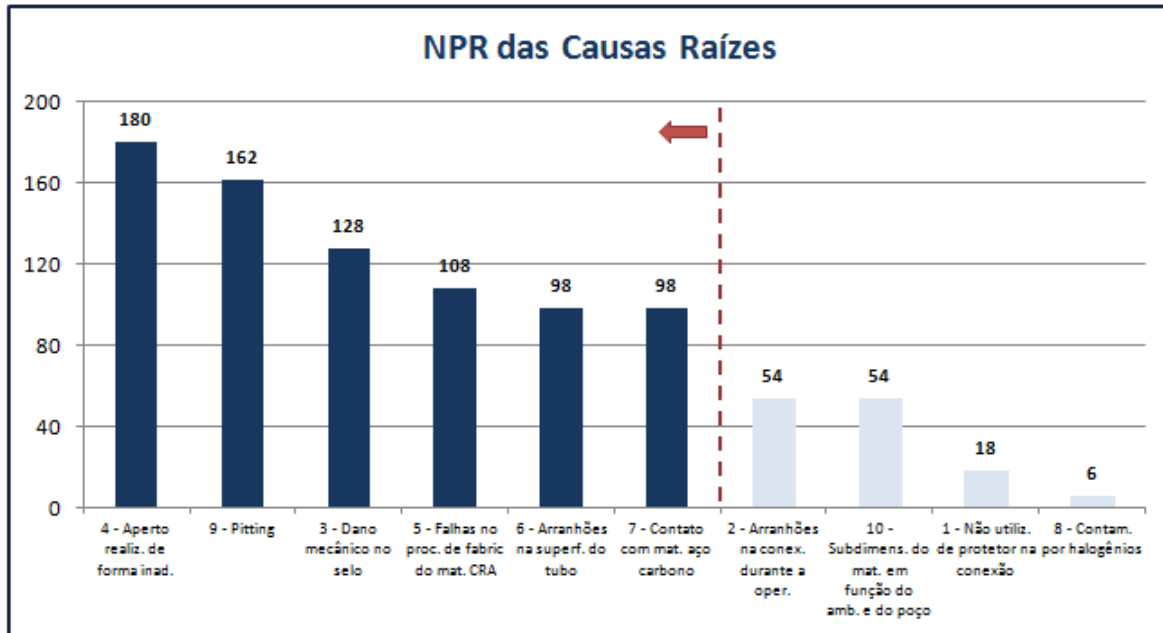


Fonte: Elaborado pelos autores.

Através deste gráfico, é possível verificar que, levando em consideração as causas raízes encontradas, 40% apresenta um risco moderadamente alto, 20% moderado, 20% baixo e 20% muito baixo. Desta forma ao tratar os riscos moderadamente alto e moderado, estaríamos atacando 60% das causas raízes existentes.

A figura 7 apresenta as causas raízes que deveriam ser priorizadas, de acordo com o nível de risco apresentado:

Figura 7- NPR das Causas raízes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 7, as causas que apresentaram um risco moderadamente alto ou moderado foram destacadas. É recomendável que as ações referentes às causas raízes que apresentaram um maior risco sejam priorizadas.

5. Conclusões

Através da aplicação das ferramentas QFD e FMEA, foi possível identificar, com a visão do cliente, as características essenciais de um produto que a empresa oferece ao mesmo (tubos CRA) e soluções em serviços, identificando pontos chaves de melhoria do produto através da simulação de possíveis falhas, seus modos, efeitos e causas.

Foi elaborada uma proposta de recomendações e ações, baseada no FMEA, e apresentada à gerência da empresa. A iniciativa desse estudo proporcionou o interesse da organização em ampliá-lo aos pontos que não foram abordados no mesmo, como outros clientes, e, também, outras linhas de produtos que a empresa comercializa, a fim de garantir que todos os produtos e soluções oferecidos pela empresa estejam de acordo com as reais necessidades de todos os clientes, melhorando continuamente a posição competitiva da organização.

REFERÊNCIAS

- ABRACO. **Tratamento de petróleo para remoção de H₂S**. INT, 2006. Disponível em: <https://www.nssmc.com/product/catalog_download/pdf/P003en.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2016.
- ABRAHAM, Marcio. et. al. **O impacto da gestão da qualidade na competitividade empresarial**. 2005. Disponível em: <<http://www.marco.eng.br/qualidade/ROTEIRO-BASICO-PARA-EXERCICIO-QFD.pdf>>. Acesso em 30 de julho de 2016.
- ACCENTURE. **Energy Perspectives™ Special edition - Issue 8 Rougher Seas Ahead**, Accenture Strategy Energy, 2016.
- API 5CRA. **API Specification 5LD CRA Clad or Lined Steel Pipe**. Disponível em: <http://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/5ld_e4%20pa.pdf> Acesso em 15 de agosto de 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BAPTISTA, José Antonio. **A importância da análise de causa raiz (Root cause analysis) na melhoria do desempenho da manutenção industrial**. ABRAMAN, 2011. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/191/191.pdf>>. Acesso em 01 de agosto de 2016.
- CARNEVALLI, José Antonio; SASSI, Andreza Celi; MIGUEL, Paulo A. Cauchick. **Aplicação do QFD no desenvolvimento de produtos: levantamento sobre seu uso e perspectivas para pesquisas futuras**. Gestão & Produção, v. 11, n. 1, p. 33-49, 2004.
- CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. **Revisão, análise e classificação da literatura sobre o QFD – tipos de pesquisa, dificuldades de uso e benefícios do método**. Gestão e Produção, v.14, n. 3, p.557-579, 2007.
- CENPES. **Desafios de materiais na área de E&P**. 2008. Disponível em: <http://www.nucleoinox.org.br/upfiles/arquivos/downloads/apresent_petrobras_desafios_sele%C3%A7%C3%A3o_materiais_v2.pdf>. Acesso em 15 de julho de 2016.
- CHENG, Lin Chih. **QFD: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos**. Blücher, 2007.
- ELSAYED, E. **System reliability engineering**. Reading, Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1996.
- FRANCESCHINI, Fiorenzo; GALETTO, Maurizio. **A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA**. International Journal of Production Research, v. 39, n. 13, p. 2991-3002, 2001.
- ISO 13680:2010. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=56098> Acesso em 15 de agosto de 2016.

KEUER, W.; MCCREERY, J.; NORTON, J. **How Shale Companies Can Transform to Survive**, Bain & Company, 2016.

MELO FILHO, Leonel Del Rey de; CHENG, Lin Chih. **QFD na garantia da qualidade do produto durante seu desenvolvimento—caso em uma empresa de materiais**. Production Journal, v. 17, n. 3, p. 604-624, 2007.

OAKLAND, John. **Gerenciamento da Qualidade Total**. 1ª ed. São Paulo: Nobel, 1994.

PEARSON EDUCATION DO BRASIL; **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

PEREIRA, Marco Antonio. **QFD: Quality Function Deployment**. 2016. Disponível em: <<http://www.marco.eng.br/qualidade/ROTEIRO-BASICO-PARA-EXERCICIO-QFD.pdf>>. Acesso em 30 de julho de 2016.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D de L. **A decision support system for applying failure mode and effects analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.

SILVA, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**, 2ª edição revisada e ampliada. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

TOLEDO, José. **FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha**. 2016. Disponível em: <www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2016.

Vallourec Group. **V&M 13% Cr & Super 13% Cr steel grades for Sweet CO2 corrosion service**. Disponível em: <http://www.vallourec.com/OCTG/EN/E-Library/gradesbrochures/Lists/Publications/13CR_4v_1210.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2016.

ZEITHAML, Valarie A.; PARASURAMAN, Anathanarayanan; BERRY, Leonard L. **Delivering quality service: Balancing customer perceptions and expectations**. Simon and Schuster, 1990.

