

EDGAR BATOCHIO

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE NA UNIDADE DE TANCAGEM REFRIGERADA DE
ÁCIDO FLUORÍDRICO ANIDRO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE
HEXAFLUORETO DE URÂNIO (USEXA)**

**São Paulo
2009**

EDGAR BATOCHIO

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE NA UNIDADE DE TANCAGEM REFRIGERADA DE
ÁCIDO FLUORÍDRICO ANIDRO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE
HEXAFLUORETO DE URÂNIO (USEXA)**

**Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do certificado de
especialista em Gestão da Manufatura e
Manutenção – MBA/USP**

**Área de Concentração:
Gestão da Manufatura e Manutenção**

**Orientador:
Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de
Souza**

**São Paulo
2009**

DEDICATÓRIA

20

23

26

30

31

46

53

Dedico à Selma Luiza, Gustavo e Dona Zizi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Direção do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo por ter proporcionado a oportunidade de ter realizado o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza pela orientação e discussões profícuas que ajudaram na elaboração do trabalho e aos professores e funcionários do PECE pela gentil colaboração e atenção.

Agradeço ao Coordenador do Ciclo Nuclear do CTMSP CMG(EN) Luciano Pagano Junior pelo incentivo e apoio.

Agradeço aos amigos do Departamento de Operação da USEXA, Paulo Dias, Xavier, Márcio Zorzetto e José Calvelo pelo apoio.

Agradeço a amiga Damaris Fernandes do Laboratório de Materiais Nucleares pelo auxílio e comentários relevantes no desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade no desenvolvimento de um projeto piloto para a Unidade de Tancagem de Ácido Fluorídrico Anidro da Unidade de produção de Hexafluoreto de Urânio do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo. A primeira etapa da proposta consiste na identificação e delineamento das fronteiras do sistema, subsistemas, itens e componentes que compõem a unidade e na definição dos conceitos de funções e falhas associados. Na etapa seguinte apresenta-se a análise de causas, efeitos, consequências e criticidade das falhas empregando a técnica de Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial (FMEA) para cada subsistema da unidade. Finalmente, com base nos resultados da análise do Número de Prioridade de Risco, são sugeridas políticas de manutenção utilizando o Diagrama Lógico de Decisão para reduzir os riscos associados à utilização do Ácido Fluorídrico Anidro.

Palavras-chave: Análise casual. Indústrias (Confiabilidade). Manutenção produtiva total. Ácidos.

ABSTRACT

This work shows the application of proposition the Reliability Centered Maintenance – RCM toward pilot project for Anhydrous Hydrofluoric Acid Tanking Unit at USEXA. The propose will be prepared using the RCM methodology which is first step in the delineation of the limits of the system, subsystem, items and components of the unit later will be developed a spreadsheet with the concepts of functions and failures for the items that compose the unit. In the next step will be developed In the next stage will be developed to analyze causes, effects, consequences and criticality of failures, also known as Failure Mode and Effect Analysis - FMEA for each subsystem of the unit. Finally will show the critical equipment of the unit based on FMEA analyses and that the practices of maintenance should be adopted considering the risks associated with the anhydrous hydrofluoric acid.

Keywords: Reliability centered maintenance. Failure mode and effect analysis. Anhydrous hydrofluoric acid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Ciclo do combustível nuclear.....	16
Figura 2.2 – Fluxograma do processo de conversão.....	17
Figura 2.3 – Roupa de proteção nível A.....	25
Figura 3.1 – Árvore Lógica de Decisão	40
Figura 3.2 – Diagrama de Decisão	41
Figura 4.1 – Desenho esquemático da unidade de tancagem do AHF	44
Figura 4.2 – Roupa de proteção nível B	46
Figura 4.3 – Fluxograma do carregamento	51
Figura 4.4 – Fluxograma simplificado do resfriamento	54
Figura 4.5 – Fluxograma Simplificado da transferência.....	56
Figura 4.6 – Fluxograma simplificado da secagem do ar	57
Figura 4.7 – Fluxograma simplificado da lavagem de gás.....	58
Figura 4.8 – Desenho esquemático do tanque de contenção T-4	59
Figura 4.9 – NPR x itens do processo na etapa de carregamento	75
Figura 4.10 – NPR x itens do processo na etapa de resfriamento/transferência.....	76
Figura 4.11 – NPR x itens do processo na etapa de secagem do ar.....	77
Figura 4.12 – NPR x itens na etapa de controle de pressão dos tanques.....	79
Figura 4.13 – NPR x itens de contenção do AHF.....	80
Figura 4.14 – NPR x itens do sistema de tancagem de AHF (C10.49).....	81
Figura 4.15 – Mudança de projeto da linha de saída dos tanques T-1/2/3.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Categorias de vasos de pressão 1	19
Tabela 2.2 – Lista dos principais equipamentos da tancagem de AHF	21
Tabela 2.3 – Propriedades físicas do ácido fluorídrico anidro	23
Tabela 2.4 – Composição química	24
Tabela 3.1 – Sequência das etapas para aplicação da metodologia MCC.	33
Tabela 3.2 – Classificação quanto à severidade.	38
Tabela 3.3 – Classificação quanto à detecção.	38
Tabela 3.4 – Classificação quanto à ocorrência.	39
Tabela 4.1 – Lista de alarmes dos tanques T-1/2/3.....	60
Tabela 4.2 – Lista de alarmes dos tanques T-1/2/3.....	61
Tabela 4.3 – Carregamento do ácido	62
Tabela 4.4 – Resfriamento / transferência do AHF.....	62
Tabela 4.5 – Secagem do ar	63
Tabela 4.6 – Controle da pressão nos tanques.....	64
Tabela 4.7 – Contenção dos tanques.....	65
Tabela 4.8 – Contenção dos tanques.....	66
Tabela 4.9 – Funções e falhas funcionais do carregamento	67
Tabela 4.10 – Funções e falhas funcionais da circulação e resfriamento do ácido...69	
Tabela 4.11 – Funções e falhas funcionais da transferência do ácido	70
Tabela 4.12 – Funções e falhas funcionais da transferência do ácido	71
Tabela 4.13 – Funções e falhas funcionais do controle da pressão nos tanques	72
Tabela 4.14 – Funções e falhas funcionais da contenção estrutural dos tanques	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHF	Ácido Fluorídrico Anidro
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
C10-49	Unidade de Tancagem Refrigerada do AHF
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
DUA	Diuranato de amônio
EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
EPRI	Electric Power Research Institute
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMECA	Failure Mode Effects and Critically Analysis
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health Air Concentration
IPVS	Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde
LABGENE	Laboratório de Geração Núcleo-Elétrico
LPO	Limite de Percepção Olfativa
LT	Limite de Tolerância
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MIL-STD	Military Standard
MPT	Manutenção Produtiva Total
NPR	Número de Prioridade de Risco
NUREG	US Nuclear Regulatory Commission
ONU	Organização das Nações Unidas
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PWR	Pressure Water Reactor
RCM	Reliability Centred Maintenance
RIMA	Relatório de Impacto do Meio Ambiente

SAE	Society of Automotive Engineers
TMI	Three Mile Island
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
UF₄	Tetrafluoreto de urânio
UF₆	Hexafluoreto de urânio
UO₂	Dióxido de urânio
UO₃	Trióxido de urânio
USEXA	Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 APRESENTAÇÃO DA USEXA	15
2.1 UNIDADE DE TANCAGEM REFRIGERADA DO AHF.....	18
2.1.1 Tanque de Estocagem.....	20
2.1.2 Tanque de Contenção de AHF.....	20
2.1.3 Bomba de Circulação de AHF e Bomba de Transferência de AHF	21
2.1.4 Resfriador de AHF	22
2.1.5 Características do AHF	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO	28
3.2 APLICAÇÃO DO CONCEITO DE MCC	30
4 IMPLANTAÇÃO DE MCC NA TANCAGEM DE AHF RESFRIADO .	43
4.1 SELEÇÃO DO SISTEMA.....	43
4.2 DEFINIÇÃO DAS FRONTEIRAS DA TANCAGEM DE AHF	44
4.2.1 Operação da tancagem	45
4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	48
4.3.1 Subsistemas, itens e componentes da Unidade de Tancagem do AHF ...	49
4.3.2 Carregamento	49
4.3.3 Resfriamento.....	52
4.3.4 Transferência	55
4.3.5 Secagem do ar	57
4.3.6 Controle de pressão nos tanques.....	57
4.3.6 Contenção	58
4.3.7 Listas de alarmes dos tanques de estocagem e contenção.....	59
4.3.8 Identificação dos subsistemas, itens e componentes	61
4.4 FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS DA TANCAGEM DE AHF	67
4.5 PROPOSIÇÃO DO FMEA PARA A UNIDADE C10.49	74
4.6 DIAGRAMA DE DECISÃO PARA A UNIDADE C10.49	81
5 CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A – FMEA do Sistema de Tancagem de AHF	88

1 INTRODUÇÃO

O Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) é um centro de pesquisa da Marinha do Brasil, que tem como objetivo promover o desenvolvimento da tecnologia nuclear, denominado Programa Nuclear da Marinha (PNM).

O PNM promove o desenvolvimento das principais etapas do ciclo do combustível nuclear englobando as áreas de projetos, validação de processos em escala de laboratório, construção de plantas de demonstração e piloto, capacitação das oficinas mecânicas, capacitação técnica e treinamento operacional das unidades produtivas.

O CTMSP já tem dominado algumas das áreas do ciclo do combustível nuclear, tais como a etapa do enriquecimento, reconversão, fabricação do combustível e fabricação dos elementos combustíveis.

Outra etapa importante do ciclo no CTMSP a ser vencida será a construção do reator nuclear de teste de propulsão naval denominado Laboratório de Geração Núcleo-Elétrico (LABGENE).

Para completar o ciclo do combustível nuclear no CTMSP, falta terminar a Unidade de produção de Hexafluoreto de Urânio (USEXA) que atualmente está na fase de construção.

A USEXA é utilizada para a conversão do concentrado de urânio oriundo da mineração para o composto fluorado conhecido como hexafluoreto de urânio (UF_6). Na conversão o urânio passa por diversas etapas, tais como, dissolução, filtração, purificação, precipitação, calcinação, hidrofluoração e finalmente pela fluoração, no qual é obtido o UF_6 .

A rota adotada na USEXA para obtenção do UF_6 é dividida em duas etapas. A primeira vai desde o recebimento da matéria prima "yellow cake" até a obtenção do trióxido de urânio (UO_3). Na primeira etapa são utilizados como insumos: ácido nítrico e amônia com reações de precipitação do diuranato de amônio (DUA) nuclearmente puro em meio aquoso com posterior filtragem. A primeira etapa, por envolver reações químicas em fase aquosa, é denominada rota por via úmida.

A segunda etapa se inicia com a redução do UO_3 para dióxido de urânio (UO_2) através da reação com hidrogênio oriundo do craqueamento da amônia e posterior hidrofluoração do UO_2 para tetrafluoreto de urânio (UF_4) em reator de leito contínuo, também denominado como rota via seca, sendo o ácido fluorídrico anidro (AHF) o principal reagente para a conversão do UO_2 para o UF_4 . A conversão é completada na próxima etapa com a formação do UF_6 em reator de chama através da reação do UF_4 com o flúor.

Neste contexto, este trabalho objetiva apresentar uma proposta de implantação de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), como um projeto piloto para a USEXA, na Unidade de Tancagem Refrigerada do AHF (C10-49).

O escopo do trabalho é apresentar a USEXA, mostrando as principais etapas do processo de produção do UF_6 incluindo a unidade C10-49 e também as principais características físico-químicas do AHF com suas peculiaridades em relação à tancagem e riscos envolvidos quanto às instalações, aos trabalhadores e meio ambiente.

Na revisão bibliográfica é mostrado um breve histórico da evolução da manutenção. São exibidas as ferramentas disponíveis para aplicação de uma política de manutenção e uma abordagem detalhada das etapas de implantação da MCC.

Na proposta da MCC para a unidade C10-49 são discriminadas as etapas e a política de manutenção que deverá ser adotada para cada subsistema da tancagem quando entrar em operação.

2 APRESENTAÇÃO DA USEXA

A USEXA é responsável pela etapa da conversão dentro do ciclo do combustível nuclear o qual realiza o processamento do urânio para produzir o UF_6 .

O UF_6 devido às suas propriedades físico-químicas é um composto muito versátil porque com uma baixa variação de temperatura e pressão o composto pode ser processado convenientemente nas três fases: sólido, líquido e gasoso.

A fase gasosa é utilizada na etapa de enriquecimento, a fase líquida é utilizada nas etapas de transferência do UF_6 e a fase sólida é utilizada para a armazenagem.

O ponto triplo do UF_6 ocorre a 1,5 atm na temperatura de 64 °C, ou seja, nesta pressão e temperatura as três fases coexistem em equilíbrio. Com uma pequena variação para cima da temperatura ou pressão o UF_6 passa para o estado líquido ou gasoso e reduzindo a temperatura ou pressão abaixo do ponto triplo o UF_6 passa para a fase sólida.¹

A incidência do isótopo ^{235}U físsil de urânio na natureza é de 0,735 %. Para reatores nucleares de potência o grau de enriquecimento deve ser de 4 % e os reatores de pesquisa utilizam o urânio enriquecido a 20 %. No ciclo do combustível nuclear, a etapa de conversão é de grande importância porque produz o UF_6 com grau de pureza adequada para a etapa seguinte do enriquecimento. Na figura 2.1 é destacada a etapa de conversão no ciclo do combustível nuclear que inicia com a prospecção e vai até a disposição permanente dos rejeitos.

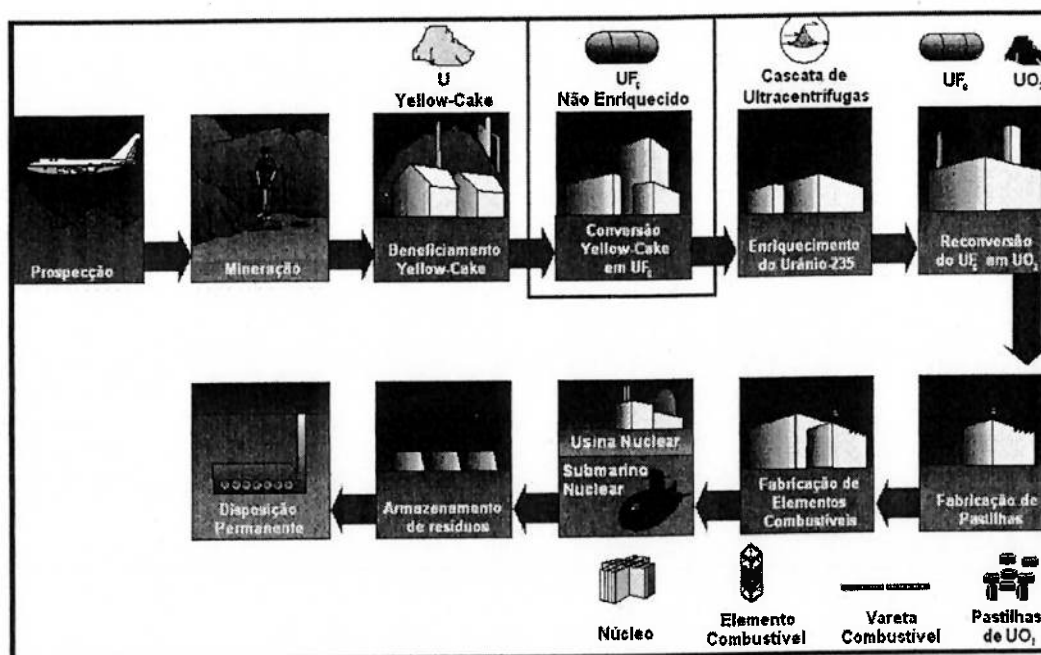


Figura 2.1 – Ciclo do combustível nuclear

Fonte: Centro Tecnológico da Marinha de São Paulo

A USEXA, apesar de processar urânio, é classificada como uma planta química cujos requisitos de segurança e integridade ao meio ambiente são muitos severos, o que demanda procedimentos de operação e manutenção bem documentados e bancos de dados bem completos.

São poucos os países que detêm a tecnologia de conversão bem como as atividades de enriquecimento, construção e operação de reatores nucleares. Todas as atividades descritas são fiscalizadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), que emite as licenças de operação e também a salvaguardas dos materiais nucleares. No Brasil, a fiscalização de instalações nucleares e a emissão de licenças de operação são realizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão filiado a AIEA.

A Licença de Operação da USEXA prevê os requisitos de segurança de operação e a salvaguardas dos materiais nucleares. Em relação ao meio ambiente, a unidade só poderá operar mediante a aprovação do Relatório de Impacto do Meio Ambiente (RIMA) pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A capacidade nominal da unidade é de 40 toneladas/ano de UF_6 para atender as necessidades do CTMSP com relação ao desenvolvimento do enriquecimento e construção do primeiro e segundo núcleo do protótipo do reator tipo água pressurizada "Pressure Water Reactor" (PWR) para propulsão naval.

O CTMSP desenvolveu e coordenou os projetos e fabricação dos principais equipamentos da unidade no parque industrial brasileiro. A nacionalização dos projetos e equipamentos da planta foi necessária devido às barreiras comerciais impostas pelos países detentores da tecnologia de conversão por se tratar de uma planta com conotação estratégica do ponto de vista nuclear. As barreiras comerciais exigiram investimentos maiores que provocaram atrasos no cronograma das obras. As principais etapas de operação da USEXA são apresentadas na figura 2.2.

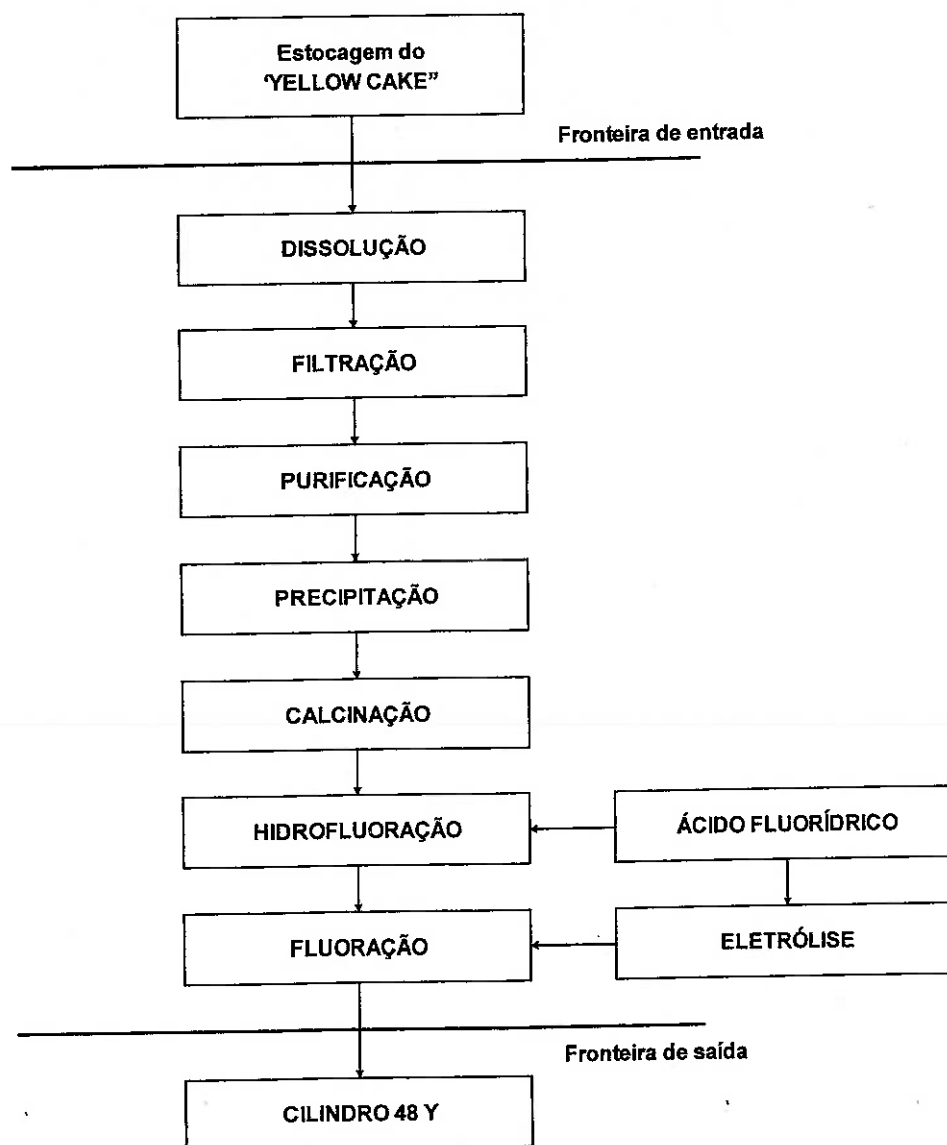


Figura 2.2 – Fluxograma do processo de conversão

A etapa da conversão é caracterizada por um número relativamente elevado de operações. No fluxograma apresentado, a produção do UF_6 pode ser dividida em dois grandes grupos em relação à presença de flúor. O primeiro grupo, produção isenta de flúor, vai desde a dissolução do "yellow cake" até a calcinação. O segundo grupo, com a presença de flúor, vai desde a hidrofluoração até a fluoração.

Quanto ao quesito segurança, o segundo grupo do processo, que compreende as etapas com a presença de flúor, é mais sensível porque usa como matérias-primas o AHF, amônia, hidrogênio nascente, flúor elementar, compostos de urânio. Outro fator que deve ser considerado são as reações químicas em temperaturas superiores à $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ nas etapas de hidrofluoração e fluoração.

A produção da USEXA é por bateladas, porém, algumas etapas poderão ser realizadas de forma contínua, como a etapa de purificação do urânio, que é realizada em colunas de extração pulsadas.

2.1 UNIDADE DE TANCAGEM REFRIGERADA DO AHF ANIDRO (C10-49)

A unidade C10-49 está em fase de construção, sendo que seu projeto é semelhante, em termos de filosofia de armazenagem, ao da Companhia Nitroquímica Brasileira, produtora do ácido.

O desenvolvimento desta proposta de MCC da unidade C10-49 foi realizado baseando-se apenas no projeto das instalações.

De acordo com a Norma NR-13 Caldeiras e Vasos de Pressão, os vasos de pressão são classificados em grupos de potencial de risco em função do produto "PV", onde "P" é a pressão máxima de operação em MPa e "V" o seu volume geométrico interno em m^3 .²

A tancagem do ácido fluorídrico é constituída por três tanques verticais com capacidade de 22 m^3 cada. Cada tanque tem uma finalidade, o primeiro para o recebimento do AHF, o segundo para distribuição do ácido para a planta e o terceiro para receber o ácido em caso de emergência.

A temperatura máxima de operação é de 19 °C com uma pressão de 0,002 MPa e, conforme a norma NR-13, o vaso pode ser classificado como Grupo Potencial de Risco 5 com o produto PV menor que 1.

As categorias de vasos de pressão em função do grupo potencial de risco, classe do fluido e categoria são apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Categorias de vasos de pressão 1

CATEGORIAS DE VASOS DE PRESSÃO

CLASSE DE FLUIDO	GRUPO DE POTENCIAL DE RISCO				
	1 P.V $\geq$ 100	2 P.V $<$ 100 P.V $\geq$ 30	3 P.V $<$ 30 P.V $\geq$ 2,5	4 P.V $<$ 2,5 P.V $\geq$ 1	5 P.V $<$ 1
	CATEGORIAS				
"A" - Fluido inflamável, combustível com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância $\leq$ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno <i>(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)</i>	I	I	II	III	III
"B" - Combustível com temperatura menor que 200 °C - Tóxico com limite de tolerância $>$ 20 ppm	I	II	III	IV	IV
"C" - Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
"D" - Outro Fluido <i>(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)</i>	II	III	IV	V	V

Notas:

- a) Considerar volume em m³ e pressão em MPa;
 b) Considerar 1 MPa correspondente a 10,197 Kgf/cm².

Fonte: Norma NR-13 Caldeiras e Vasos de Pressão

O AHF é classificado como classe "A" – tóxico com limite de tolerância $\leq$ 20 ppm e o vaso é classificado como categoria III.

2.1.1 Tanque de Estocagem

Os três tanques de estocagem estão localizados dentro do Tanque de Contenção do ácido fluorídrico cuja atmosfera é controlada para minimizar a corrosão dos tanques internos. O conteúdo dos três tanques de estocagem é mantido à -8°C através de um líquido refrigerante.

A dupla contenção, tanque interno e tanque de contenção, proporciona um maior nível de segurança se comparado à tancagem convencional.

A baia para recebimento do isotanque, ou carreta, é provida de sistema de abatimento em caso de vazamento, através de chuveiros. O ácido transferido do isotanque, que pode estar na temperatura de até 40°C , é forçado a passar pelo resfriador antes de ser transferido para o tanque de estocagem.

Todas as conexões do vaso são soldadas e as tubulações de saídas dos vasos são projetadas considerando a expansão térmica da tubulação entre os pontos de fixação dos vasos e o do vaso de contenção.

Cada tanque é equipado com um instrumento de nível e de temperatura com sistemas de intertravamento com alarmes dos parâmetros de nível e temperatura.

A pressão é outro parâmetro importante e é controlada por transmissor de pressão no tanque de estocagem e, se houver uma sobre pressão, o AHF é aliviado para o lavador de gases ou, se a pressão no tanque ficar sob vácuo, é injetado ar de instrumento no tanque.

As pressões entre os tanques são equilibradas através de respiros.

2.1.2 Tanque de Contenção de AHF

O tanque de contenção tem formato cilíndrico vertical e sua principal função é abrigar os três tanques de estocagem de AHF. O tanque atua como um recipiente isolado e como barreira no caso de falha de um dos tanques internos ou falha da tubulação interna de circulação.

O acesso aos vasos internos de estocagem é através de uma escotilha de acesso para inspeção localizado ao lado de uma escada externa. Uma escada interna leva ao fundo do tanque de contenção, possibilitando o acesso para a realização de inspeções.

O tanque de contenção é provido de um sistema automático de secagem de ar cuja finalidade é manter a umidade do ar baixa a fim de evitar corrosão nos tanques de estocagem, nas tubulações e nas paredes internas do tanque de contenção.

A pressão no tanque de contenção é controlada pelo circuito fechado de pressão. No evento de alta pressão, o gás é aliviado para o lavador de gases e, se houver vácuo, será compensado pela injeção de ar de instrumento no interior do tanque.

Os principais equipamentos que compõem o sistema de tancagem são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Lista dos principais equipamentos da tancagem de AHF

Equipamentos
Tanque de Estocagem de AHF
Resfriador de AHF
Tanque de Contenção de AHF
Secador de Ar do Tanque de Contenção de AHF
Dispositivo de Segurança do Tanque de Contenção de AHF
Bomba de Transferência de AHF
Aquecedor de AHF
Bomba de Circulação do AHF

2.1.3 Bomba de Circulação e Bomba de Transferência de AHF

O ácido nos tanques de estocagem de AHF é resfriado pela circulação contínua do conteúdo de cada tanque através do resfriador de AHF, usando bombas de circulação. As bombas de transferência do ácido são utilizadas para suprir a planta com o ácido.

As bombas são do tipo centrífugas horizontais sem selo com acoplamento magnético e são operadas sem unidades reservas.

2.1.4 Resfriador de AHF

O Resfriador de AHF é um trocador de calor horizontal com um tubo na forma de U. O meio a ser resfriado está na tubulação e o meio refrigerante está no casco do trocador de calor.

O AHF é estocado nos Tanques de Estocagem de AHF e mantido a - 8 °C através da circulação do ácido pelo Resfriador de AHF, trocando o calor pela circulação do refrigerante.

2.1.5 Características do Ácido Fluorídrico Anidro

De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), o termo Fluoreto de Hidrogênio também é utilizado como sinônimo do Ácido Fluorídrico Anidro, sendo também utilizado o termo sinônimo Ácido Hidrofluorídrico Anidro. Para o transporte terrestre o número ONU é 1052, classe/subclasse 8 e rótulo de risco como corrosivo e número de risco 886, utilizado na identificação nas carretas ou isotanques.³

Conforme a FISPQ, a toxicidade e seus limites padrões são:

- LPO - Limite de Percepção Olfativa: 0,03 mg/m³;
- IDLH / IPVS – "Immediately Dangerous to Life or Health Air Concentration" / Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde: 30 ppm;
- LT – Limite de Tolerância, valor médio 48 horas: 2,5 ppm; e
- LT – Limite de Tolerância, valor teto: 5 ppm

O ácido fluorídrico anidro é produzido pela reação entre o ácido sulfúrico e o fluoreto de cálcio (fluorita).

O ácido fluorídrico é um líquido altamente volátil, com ponto de ebulição a 19,5 °C na pressão atmosférica. É convenientemente tratado como um gás liquefeito e é normalmente estocado e transportado em vasos de aço carbono.

O ácido fluorídrico líquido vaporiza reagindo com a úmida do ar formando uma névoa branca e densa, e o vapor é altamente irritante e tóxico. Porém, é facilmente detectável pelo cheiro a níveis bem baixos, os quais a inalação tem um efeito prejudicial.

A fim de evitar problemas com expansão hidráulica, o AHF não deve ficar parado nas tubulações ou entre duas válvulas.

As principais propriedades físicas do ácido fluorídrico são exibidas na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Propriedades físicas do ácido fluorídrico anidro

GRANDEZA	VALOR
Massa molecular (kg/kmol)	20,01
Ponto de fusão (°C)	-83,1
Ponto de ebulição, 1013 mbar (°C)	19,9
Entalpia de fusão (kJ/kg)	229
Entalpia de evaporação (kJ/kg)	1290
Calor de formação do AHF gás (kJ/mol)	-271,8
Densidade a 0 °C, 1013 mbar, (g/cm ³)	0,98
Densidade do líquido a 25 °C, (g/cm ³)	0,9576
Densidade do vapor saturado a 25 °C, (g/l)	3,553
Pressão de vapor a 25 °C (mbar)	1226,26
Temperatura crítica T _c (°C)	188
Pressão crítica P _c (bar)	64,9
Calor específico a 0 °C (J/g°K)	2,43
Viscosidade a 0 °C (mPa.s)	0,256
Tensão superficial a 0 °C (Mn/m)	10,1
Constante dielétrica a 0 °C	83,6
Constante de dissociação a 25 °C	6,16 x 10 ⁻⁴
Calor de hidratação (kJ/mol)	48,39

O AHF é utilizado na indústria do alumínio, refino do petróleo (alquilação), defensivos agrícolas, mineração e na indústria nuclear.

O alto grau de pureza do ácido fluorídrico com baixos teores de umidade é importante na área nuclear principalmente na etapa de eletrólise, para a geração do gás fluor. Teores elevados de umidade aceleram o processo corrosivo das células eletrolíticas, diminui o tempo de vida dos eletrodos e no caso extremo pode ocorrer o efeito anódico no qual fica aderida uma camada de água na superfície do eletrodo impedindo a passagem de corrente tendo como consequência a interrupção da produção do flúor. A tabela 2.4 apresenta a composição química típica do ácido fluorídrico anidro e retificado.

Tabela 2.4 – Composição química

Variável	Limites Especificados	Limites Especificados
	Anidro	Retificado
Concentração (AHF)	Mínimo 99,3 %	Mínimo 99,9 %
H ₂ SO ₄	Máximo 0,15 %	Máximo 0,020 %
H ₂ SiF ₆	Máximo 0,050 %	Máximo 0,010 %
SO ₂	Máximo 0,30 %	Máximo 0,010 %
H ₂ O	Máximo 0,20 %	Máximo 0,020 %

O AHF na fase líquida proporciona, mesmo diluído em água, riscos à saúde devido a sua ação extremamente corrosiva. O contato de qualquer parte da pele com o ácido na fase líquida, ou em locais com altas concentrações de vapor irá resultar numa queimadura severa e muito dolorida. Os olhos são os órgãos mais vulneráveis e o socorro imediato com tratamento adequado à base de glucomato de cálcio minimiza os ferimentos.

A Comissão para Movimentação de Produtos Especiais publicou um manual alertando que quase todos os metais são resistentes ao ácido fluorídrico anidro. Em temperatura ambiente, a reação entre o metal e o ácido é elevada, tendo como resultado a formação do fluoreto com o respectivo metal e geração de hidrogênio na forma de gás. O fluoreto formado fica aderido à superfície do metal não reagido protegendo o metal de base e reduzindo a taxa de corrosão. ⁴

Nos serviços de montagem e soldagem de tanques, tubulações, válvulas, bombas, sondas em linhas que vão atuar com o ácido anidro é importante garantir que durante a soldagem não fiquem vazios internos no cordão de solda porque com a liberação de hidrogênio a região fica altamente tensionada ocasionando trincas e fissuras na solda que compromete a segurança dos sistemas.

Soluções aquosas constituem menor risco proveniente do vapor devido a diminuição da pressão de vapor com a diluição (na concentração abaixo de 40 % o ácido fluorídrico não produz fumaça no ar). Estas soluções são quase tão maléficas quanto o AHF, mas devida ação mais lenta pode não ser imediatamente sentida ou visível.

Toda operação que envolva emergência ou trabalho perigosos em casos especiais deve ser utilizado o Equipamento de Proteção Individual (EPI), roupa de proteção nível A, onde o suprimento de ar é mandado através de mangueira conforme mostra a foto da figura 2.3 ou roupa de proteção nível A autônoma, que é equipada com cilindro de ar comprimido.



Figura 2.3 – Roupa de proteção nível A
Fonte: Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo.

Em operações de manutenção da planta, após o manuseio de ferramentas usadas em locais da planta onde pode ter havido o contato com o ácido, estas devem ser sempre neutralizadas mergulhando-as em recipiente contendo solução de bicarbonato de sódio, evitando assim que o operador se queime inadvertidamente após a operação de manutenção.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A manutenção atualmente é encarada como uma atividade estratégica para qualquer setor de atividade econômica e hoje com a globalização da economia a manutenção pode significar a sobrevivência ou não de uma atividade econômica.

Historicamente a manutenção evoluiu acompanhando o desenvolvimento tecnológico principalmente na manufatura, e hoje com os recursos tecnológicos disponíveis é possível usar técnicas de manutenção que podem ser aplicadas além dos processos produtivos, para outras atividades econômicas.

Inicialmente, a prática de manutenção utilizada era apenas a corretiva no qual a atividade de manutenção só era aplicada quando o ativo estava “quebrado”, ou seja, restabelecia-se o funcionamento do ativo somente após a perda da função.

A manutenção preventiva é executada em intervalos de tempos pré-definidos objetivando minimizar os impactos das falhas nos processos e meios produtivos. A manutenção preventiva obedece a um plano previamente elaborado objetivando evitar a falha.

A manutenção preditiva usa a métrica como parâmetro de previsão ou antecipação da falha e estabelece critérios de condição ou desempenho para que a manutenção seja realizada.

Paralelamente a evolução das técnicas de manutenção, ocorreu também uma evolução quanto às políticas de manutenção, a saber:

- Manutenção Produtiva Total - MPT ou do inglês “Total Productive Maintenance - TPM” de acordo com Kardec, cujos objetivos estão sustentados por oito pilares do TPM, a saber: melhoria focada, manutenção autônoma, manutenção planejada, educação e treinamento, controle inicial, manutenção da qualidade, uso da ferramenta na área administrativa e estabelecer um sistema de saúde, segurança e meio ambiente.⁵
- Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC ou do inglês “Reliability Centred Maintenance – RCM” é um método de planejamento da manutenção, conforme Rousand, o principal foco está sobre a função dos sistemas e não dos componentes do sistema.⁶

A MCC é um programa que extrai o melhor custo benefício de um programa de manutenção, o qual não previne todas as falhas, mas identifica quais as consequências de todas as falhas e com que probabilidade a falha pode ocorrer. As tarefas de manutenção preventiva são selecionadas para cada falha usando um conjunto de critérios de aplicabilidade e eficácia.

Souza cita que a aplicação do MCC pode trazer uma maior segurança e integridade para o meio ambiente, melhoria no desempenho operacional, menor relação custo-benefício do processo de manutenção, geração de uma base de dados de acompanhamento dos dispositivos, maior motivação das pessoas envolvidas no processo de manutenção e melhoria na qualificação da mão-de-obra de manutenção.⁷

Conforme Tavares, ao contrário do início da era industrial, hoje a manutenção dentro de uma organização moderna está no mesmo nível da operação em termos de organograma respondendo diretamente à alta direção, sendo desmembrada em dois grupos: engenharia de manutenção e execução da manutenção. A engenharia de manutenção por sua vez é dividida em duas equipes: a de estudos de ocorrências crônicas e a de Planejamento e Controle de Manutenção – PCM, sendo a última com a finalidade de desenvolver, implementar e analisar os resultados dos sistemas de automação de manutenção.⁸

O PCM com o auxílio de sistemas computacionais conseguiu desenvolver programas próprios de manutenção tornando a tarefa de manutenção independente do sistema central de computação tornando a manutenção mais ágil e eficiente. Este desenvolvimento da automação e gerenciamento de dados tornou-se tão importante dentro das empresas que muitas delas elevaram o PCM como órgão de assessoramento à supervisão geral da produção uma vez que sua atuação tem importância direta na produtividade da empresa.

3.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

De acordo com Siqueira, a História da Manutenção obteve relevância nas décadas de 40 e 50, época que ocorreu a Segunda Guerra Mundial no qual surgiram os

primeiros conceitos de manutenção. A manutenção evoluiu historicamente junto com a evolução tecnológica ocorrida nos meios produtivos e foi classificada em três gerações.⁹

Primeira geração

A primeira geração é conceituada como a da mecanização com uma década de duração de 1940 a 1950 onde a mecanização da indústria era incipiente. Os equipamentos produtivos eram simples, sobre dimensionados para as funções a que se destinavam. Naquela época o desempenho dos equipamentos não era determinante cuja restauração só ocorria quando apresentassem defeitos. Não havia planejamento da manutenção e conseqüentemente não havia relevância econômica para a atividade industrial.

As atividades de manutenção eram limitadas nas atividades preventivas de limpeza e lubrificação de máquinas e tarefas corretivas para reparação de falhas.

Segunda geração

A segunda geração inicia-se no por volta do ano de 1950 estendendo até o ano de 1975. Neste período, devido à industrialização, surgiram as linhas de produção contínuas tendo como resultado a dependência crescente da sociedade em relação aos produtos e processos industrializados.

Com a automação dos processos produtivos foi observada a primeira escassez de mão de obra especializada, tendo como consequência o aumento crescente do custo de correção das falhas devido às interrupções dos processos produtivos. Novamente a elevação dos custos elevou também as expectativas da sociedade sobre o desempenho da indústria. Tal situação trouxe a necessidade de uma maior disponibilidade e vida útil das máquinas e equipamentos a um menor custo.

Na segunda geração devido à necessidade da maior disponibilidade dos ativos com um menor custo, houve o desenvolvimento de técnicas de manutenção preditiva orientadas para minimização dos impactos das falhas nos processos produtivos além do processo de revisão periódica de equipamentos complementada com as atividades de limpeza e lubrificação tais como eram realizadas na primeira geração de manutenção.

Na metade da década de 70 estas técnicas foram organizadas e integradas pela Manutenção Produtiva Total puxada pela técnica de Qualidade Total ou do inglês

“Total Quality Management – TQM” como resultado do esforço desenvolvimentista japonês pós-guerra, dando origem a terceira geração.

Terceira Geração

Devido ao elevado grau de automação dos processos produtivos a partir de 1975, a terceira geração da manutenção evoluiu da incapacidade das técnicas manutenção existentes acompanhar esta evolução.

O consumo em larga escala dos produtos industrializados, a elevação dos custos, mão de obra, maior exigência quanto à qualidade pelo consumidor, a concorrência a nível global conduziu a um nível de automação e dimensionamento dos equipamentos produtivos no limite das necessidades dos processos tornando mais estreitas as faixas operacionais e aumentando a importância da manutenção.

Nesta geração iniciou o conceito do “Just in Time” onde os estoques eram mínimos e a indisponibilidade ou interrupções dos ativos traziam prejuízos na cadeia produtiva.

Os conceitos de disponibilidade, confiabilidade e vida útil surgiram devido a maior exigência da sociedade quanto aos produtos produzidos e estes conceitos podem ser estendidos também aos outros setores como o de prestação de serviço e comércio.

Outro conceito que entrou no jogo foi a da preservação do meio ambiente o qual levou a manutenção a níveis de exigência de outra metodologia que analisasse todo o processo desde a concepção, projeto, fabricação até a manutenção.

Na terceira geração de manutenção surgiu a metodologia MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade trazendo no seu bojo os conceitos de Manutenção Produtiva e Manutenção de Confiabilidade.

3.2 APLICAÇÃO DO CONCEITO DE MCC

A MCC surgiu na indústria aeronáutica americana no processo de obtenção da certificação para o novo jato comercial o Boeing 747 a cerca de 40 anos. As estratégias de manutenção da época tornavam a manutenção do novo jato impossível de operar com lucro. As novas tecnologias utilizadas no 747 levaram os

engenheiros de manutenção da "United Airlines" a um esforço para reavaliar a estratégia de manutenção preventiva que ajudou a desenvolver os conceitos básicos e processos que se tornaram conhecidos como Manutenção Centrada na Confiabilidade.

O desenvolvimento da MCC foi calcado nos bancos de dados de falhas da indústria aeronáutica, sendo que devido ao sucesso na aplicação da ferramenta ela se expandiu na área nuclear e na indústria de distribuição elétrica sendo que hoje a MCC é aplicada nos setores de serviços e logística.

Wilmeth e Esrey citam que a filosofia da MCC é preservar as funções requeridas para sistemas ou equipamentos através de rotinas de manutenção na melhor relação entre custo e benefício.¹⁰

A área de geração de energia elétrica nos Estados Unidos começou a estudar a MCC através do "Electric Power Research Institute – EPRI" e de acordo com Wilmeth são adotadas sete principais etapas para aplicação do método:

- 1 - Estabelecer o escopo do estudo onde as fronteiras são estabelecidas para definir os limites do trabalho;
- 2 - Identificar as interfaces: as interfaces são identificadas para definir melhor os limites do estudo listando as entradas ou conexões que não serão estudadas;
- 3 - Especificar as funções mais importantes: a MCC procura preservar apenas as funções mais importantes de um sistema ou equipamento;
- 4 - Identificar os modos de falhas dominantes: os modos de falha dominantes para as funções importantes são identificados para efeito de avaliação.
- 5 - Identificar modos de falhas críticos: as consequências das falhas são avaliadas para modo de falha dominante para determinar sua severidade. Se for severa, o modo de falha é considerado crítico. Modos de falhas não críticos não são considerados no estudo.
- 6 - Identificar as causas das falhas dominantes: as causas de falhas dominantes são identificadas somente para modos de falhas consideradas críticas. Apenas causas de falhas com manutenção preventiva são consideradas.
- 7 - Selecionar as tarefas de manutenção: usando decisão lógica, as tarefas de manutenção são selecionadas diretamente e o custo atribuído para cada causa de falha dominante. Mudanças no projeto e na operação também são consideradas.

De acordo com Fox et al., a implementação da MCC na planta nuclear de "Three Mile Island – TMI" o número de sistemas identificados como de relevância caiu de 134 para 28, sendo que para estes 28 sistemas a melhoria da manutenção preventiva poderia potencialmente reduzir o custo benefício da manutenção da planta.¹¹

A análise e implementação do programa significou um custo de US\$ 30.000 por sistema. No início, a implementação da MCC para os primeiros sistemas foi 40 % mais caro comparado aos últimos. Para os 28 sistemas houve um aumento de 11 % de tarefas de manutenção preventiva e na média uma redução de 10 a 20 % nos custos de manutenção preventiva baseada na implementação da MCC.

A diferença é porque que na manutenção convencional as tarefas de manutenção são controladas pelo tempo (revisão) e na MCC a manutenção é realizada pela condição sendo esta a principal força motriz de redução dos custos da manutenção da planta.

Fox et al., citam que a TMI utilizou o mesmo processo clássico de implementação da MCC utilizando as mesmas etapas utilizadas no trabalho original da indústria aeronáutica comercial sendo que o processo de implementação segue os quatros princípios básico:

- Preservar as funções dos sistemas;
- Identificar os modos de falhas de equipamentos específicos que possam anular estas funções e causar uma falha funcional;
- Determinar a prioridade que deve ser atribuída para cada modo de falha porque nem todas as funções e falhas funcionais são iguais; e
- Para os modos de falhas de alta prioridade, definir tarefas de manutenção preventivas aplicáveis e eficazes.

As ações preventivas aplicáveis significam executar as tarefas que irão prevenir ou mitigar, detectar no início ou descobrir o modo de falha. As ações efetivas significam optar pela ação no qual há o menor custo benefício.

O conceito moderno de manutenção de acordo com Kardec & Nascif é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.⁴

A MCC é uma forma sistemática de análise de falha da função de uma máquina ou sistema, analisa qual o efeito da falha e quais práticas de manutenção devem ser

utilizadas para que a confiabilidade da máquina ou sistema aumente com um menor custo.

A importância do uso da MCC comparado à manutenção tradicional é a priorização dada aos equipamentos e sistemas considerando os aspectos de segurança, meio ambiente, qualidade, melhoria no desempenho operacional e melhor relação custo-benefício no processo de manutenção.

Os benefícios indiretos em aplicar a MCC é a geração de uma extensa base de dados de acompanhamento dos dispositivos, maior motivação das pessoas envolvidas no processo da manutenção, melhoria na qualificação da mão de obra de manutenção.

A aplicação da MCC é baseada em uma sequência de etapas que sistematiza a análise de falhas, suas consequências e as ações de manutenção para prevenir a ocorrência da falha.

A tabela 3.1 compara a sistematização da sequência para aplicar a metodologia MCC entre os principais autores, de acordo com Zaions.¹²

Tabela 3.1 – Sequência das etapas para aplicação da metodologia MCC

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rausand et al. (1998)
1	Seleção do sistema e coleta de informações	Definição das funções e padrões de desempenho	Identificação do sistema e suas fronteiras	Preparação do estudo
2	Definição das fronteiras do sistema	Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções	Identificação dos subsistemas e componentes	Seleção do sistema
3	Descrição do sistema	Descrição da causa de cada falha funcional	Examinar as funções	Análise das Funções e Falhas Funcionais – AFF

(continua)

Tabela 3.1 – Sequência das etapas para aplicação da metodologia MCC (conclusão)

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rausand et al. (1998)
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das consequências de cada falha	Definir falhas e modos de falha	Seleção dos itens críticos
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas	Definição da importância de cada falha	Identificar as consequências da falha	Coleta e análise de informações
6	Análise da árvore lógica	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha	Análise do diagrama lógico de decisão	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas
7	Seleção das tarefas preventivas	Seleção de tarefas alternativas	Seleção de tarefas preventivas	Seleção de tarefas de manutenção
8				Determinação da frequência das tarefas de Manutenção

Percebe-se que a sequência de etapas não varia e também há pouca variação de procedimentos entre os autores, mas a metodologia proposta pela Nasa utiliza a ferramenta diagrama lógico de decisão como critério para a escolha das tarefas de manutenção.

O processo de implantação da MCC a partir das oito etapas associadas ao item físico ou sistema pode ser descrito conforme as etapas apresentadas na sequência descrita abaixo:

Etapas 1 – Preparação do Estudo

Esta etapa deve esclarecer e definir os objetivos e escopo da análise.

Nesta etapa a preparação do estudo deve ser realizada por um grupo de pessoas que trabalhará no processo de implantação do processo da MCC. O grupo deve ser

formado por pelo menos uma pessoa da área de manutenção, uma da área de operação além de um especialista em MCC.

Na preparação do estudo devem ser definidas quais políticas e critérios que devem ser adotados com relação à segurança e a proteção ambiental.

Normalmente a MCC está concentrada na definição de estratégias de manutenção preventivas, mas podem cobrir outras áreas como a manutenção corretiva, suporte logístico e gestão de peças sobressalentes.

Etapa 2 – Seleção e Determinação do Sistema

Esta etapa compreende a determinação do que será analisado e em que nível: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes.

Esta etapa traz vantagens para a MCC quando são selecionados os sistemas cuja análise está associada à perda de produção, custos de manutenção, tempo médio entre falhas e disponibilidade do equipamento.

Etapa 3 – Análise das Funções e Falhas Funcionais

Permite identificar as funções do sistema e as fronteiras entre os sistemas componentes da unidade fabril. Essa etapa compreende também a documentação de informações como a descrição do sistema, diagrama de blocos das funções, interfaces de entrada e saída, lista de equipamentos e seu histórico com os seguintes objetivos.

Definição das fronteiras do sistema: esta etapa permite identificar as fronteiras de entrada e saída definindo claramente as transformações que ocorrem no sistema;

Descrição do sistema: corresponde à documentação de informações tal como a descrição do sistema, o diagrama de blocos funcional, as interfaces de entrada e saída, lista de equipamentos e seu histórico. A descrição do sistema bem documentado ajuda a armazenar uma base precisa de definições para o sistema. Também ajuda o analista adquirir um conhecimento completo do sistema e auxilia na identificação de parâmetros críticos de operação e projeto que podem causar degradação ou perda das funções do sistema. O nível de detalhamento associado à descrição do sistema deve contemplar a descrição das funções e seus parâmetros, características redundantes, características dos dispositivos de proteção e da instrumentação e controle.

Diagrama de blocos: permite subdividir o sistema em partes menores para facilitar a análise nas etapas seguintes do processo.

O diagrama de blocos pode ser apresentado de dois tipos: a) diagrama de blocos funcionais e b) diagrama de blocos de confiabilidade.

O diagrama de blocos funcionais é uma forma de representação gráfica no qual apresenta o fluxo funcional para o sistema e subsistemas.

O diagrama de blocos de confiabilidade define a série de dependências e interdependências entre as funções ou grupos funcionais do sistema, para cada evento do seu ciclo de vida. A elaboração do diagrama de blocos de confiabilidade é baseada na norma NUREG 0492.¹³

A vantagem em utilizar o diagrama de blocos de confiabilidade é possibilidade de mensurar o sistema com relação à confiabilidade, mas apresenta a desvantagem da dificuldade de montar o diagrama com relação às informações da confiabilidade e também não modela o efeito da deterioração de cada um dos blocos, ou seja, o sistema pode estar operando com desempenho abaixo do esperado pois um bloco pode estar em falha.

Etapa 4 – Coleta e Análise de Informações

Esta etapa compreende a coleta e análise das informações necessárias para implementar a análise da MCC.

As informações para a análise da MCC podem ser divididas em três categorias. A primeira com informações de projeto, a segunda com informações operacionais e a terceira com informações de confiabilidade.

A coleta de informações históricas que também são necessárias em outras etapas do processo para implementar o MCC pode ser obtida a partir do diagrama de bloco ou esquemas do sistema, manuais ou memoriais de cálculo dos equipamentos, arquivos históricos do equipamento que listem as falhas ocorridas e ações de manutenção corretiva desenvolvidas, manuais de operação do sistema, que detalham as funções pretendidas para o sistema, como elas se relacionam com outros sistemas e quais os limites operacionais, especificações e dados descritivos do projeto do sistema.

Etapa 5 – Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial

A análise de modos e efeitos de falhas permite identificar o papel que os itens físicos desempenham nas suas funções e também identificar as falhas funcionais. A Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial é também denominada pela sua sigla ou seu nome em inglês “Failure Mode and Effect Analysis – FMEA”. O FMEA é um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e as recomendações para as ações preventivas.

A apresentação do FMEA é através de uma planilha para cada falha funcional com as demais informações do sistema e subsistema.

Uma variação do FMEA é o FMECA cuja sigla é oriunda do termo inglês “Failure Mode Effects and Criticality Analysis”, traduzindo Análise do Modo, Efeito e Criticidade das Falhas. A diferença entre FMEA e FMECA é que o FMEA é uma análise qualitativa em quanto que a FMECA é um método quantitativo utilizado para classificar os modos de falhas levando em consideração suas probabilidades de ocorrência.

A análise deve listar os itens físicos do sistema, como o item físico pode falhar (modo de falha), qual a consequência da falha e estabelecer os índices de frequência, gravidade e detectabilidade da falha. O passo seguinte é calcular o índice de risco ou número de prioridade de risco (NPR).

O NPR é o resultado do produto da frequência da falha pela gravidade da falha pela detectabilidade da falha. Este índice dá a prioridade de risco da falha.

Os índices de classificação de severidade, ocorrência e detectabilidade são apresentados em diversas normas, sendo neste adaptado do manual “Design for Reliability”.¹⁴

A classificação de severidade, detecção e ocorrência são mostradas nas tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 respectivamente.

Tabela 3.2 – Classificação quanto à severidade

SEVERIDADE		
EFEITO	CONSEQUÊNCIAS	GRAU
MÍNIMO	A falha não causará nenhum efeito real no desempenho do produto. Também não trará consequências ao processo subsequente. O cliente provavelmente nem notará a falha	2
TOLERÁVEL	A falha causará uma leve deterioração na eficiência do processo ou alguma inconveniência no processo subsequente. O cliente provavelmente notará a falha, porém não ocasionará reclamação ou retrabalho	4
MODERADO	A falha causará uma perda moderada na eficiência do processo ou consequências ao processo subsequente. O cliente se sentirá insatisfeito com a falha, que ocasionará reclamações ou retrabalho	6
GRAVE	(Perigoso com aviso prévio) a falha causará grande insatisfação do cliente. Pode causar sérias consequências ao processo subsequente (interrupções no processo de produção). Pode requerer grandes retrabalhos ou por em risco a segurança do operador	8
MUITO GRAVE	(Perigoso sem aviso prévio) a falha afetará a segurança do usuário ou perda total de eficiência do produto/processo e/ou infringindo regulamentos ou leis. Este tipo de falha pode causar campanha de troca (recall)	10

Tabela 3.3 – Classificação quanto à detecção

DETECÇÃO		
DETECÇÃO	PROBABILIDADE DE DETECÇÃO	ÍNDICE
MUITO ALTA	Certamente será detectado	1
ALTA	Grande probabilidade de ser detectado	3
MODERADA	Provavelmente será detectado	5
BAIXA	Provavelmente não será detectado	7
NULA	Certamente não será detectado	10

Tabela 3.4 – Classificação quanto à ocorrência

OCORRÊNCIA		
Probabilidade	Taxa de falhas possíveis	Índice de Ocorrência
Muito Alta:	≥ 100 por mil peças	10
Falhas Persistentes	50 por mil peças	9
Alta:	20 por mil peças	8
Falhas frequentes	10 por mil peças	7
Moderada:	05 por mil peças	6
Falhas Ocasionais	02 por mil peças	5
	01 por mil peças	4
Baixa:	0.5 por mil peças	3
Relativamente poucas falhas	0.1 por mil peças	2
Remota:	≤ 0.01 por mil peças	1
Falha improvável		

A análise para determinar os modos de falhas e efeitos da falha pode ser realizada através de registros históricos dos equipamentos que compõem o sistema ou subsistema, experiência obtida pelas equipes de operação, projeto e manutenção. Outra fonte para determinar os modos de falhas e efeitos da falha é obtida na literatura especializada que contém informações ou coletânea sobre os modos de falhas.

Etapa 6 – Seleção de Tarefas Preventivas

Esse passo compreende a seleção das tarefas viáveis e efetivas na prevenção das falhas funcionais. Nesta etapa, compara o programa de manutenção existente e o proposto pela MCC, além de uma revisão do processo, em busca de erros e omissões.

O critério para a seleção das tarefas de manutenção preventivas e/ou preditivas é que estes sejam aplicáveis e eficazes. Considera-se o termo aplicável como as tarefas que possibilitem prevenir a falha, descobrir o início do processo da falha ou descobrir a falha oculta.

O termo eficaz significa que a tarefa de manutenção seja economicamente viável dentro das tarefas aplicáveis.

As ferramentas para o desenvolvimento desta etapa são: a Árvore Lógica de Decisão e o Diagrama de Decisão e Seleção das Tarefas de Manutenção.

- Árvore Lógica de Decisão: o objetivo desta ferramenta é priorizar os modos de falha que irão absorver recursos financeiros no processo MCC.

A análise é um processo qualitativo que classifica o modo de falhas em quatro categorias no qual a análise deve responder a cinco questões com um sim ou não. As categorias são: segurança, integridade ambiental, parada da produção e perdas econômicas.

A figura 3.1 mostra um exemplo da Árvore Lógica de Decisão pelo qual com as simples respostas sim ou não, pode-se avaliar em qual das cinco categorias a falha se enquadra.

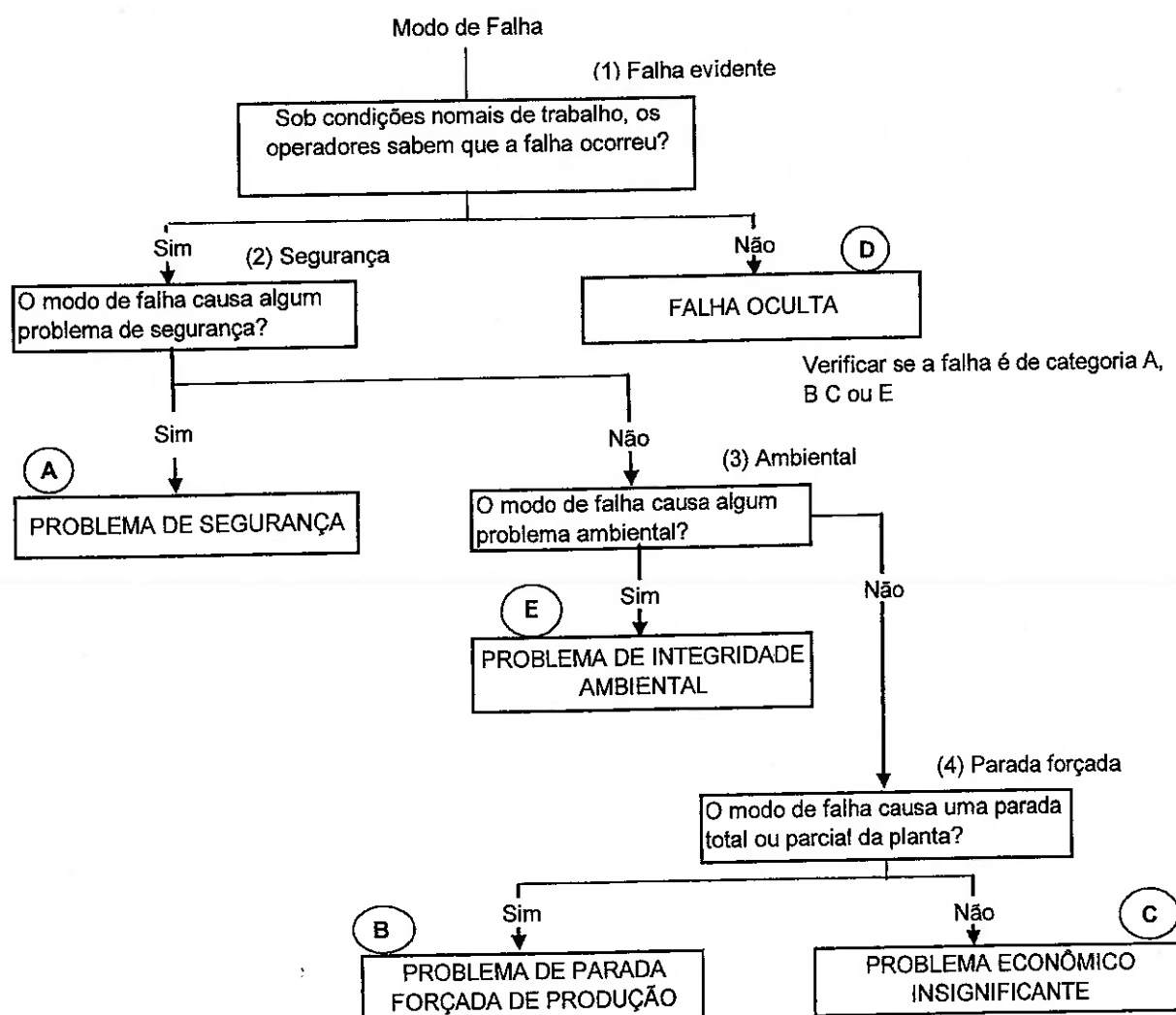


Figura 3.1 – Árvore Lógica de Decisão

Fonte: Adaptado da apostila OK-001 – Manutenção para a Excelência da Manufatura.⁷

- Diagrama de Decisão: esta etapa de implantação da MCC consiste na seleção das tarefas de manutenção aplicáveis ao item físico. A sistemática é a mesma utilizada na Árvore Lógica de Decisão, porém no final do Diagrama de Decisão chega-se na resposta do tipo de manutenção a ser adotada para o item físico ou mesmo a proposição de modificação do projeto. A figura 3.2 é um exemplo do Diagrama de Decisão aplicado ao quesito de Segurança para seleção de tarefas de manutenção.

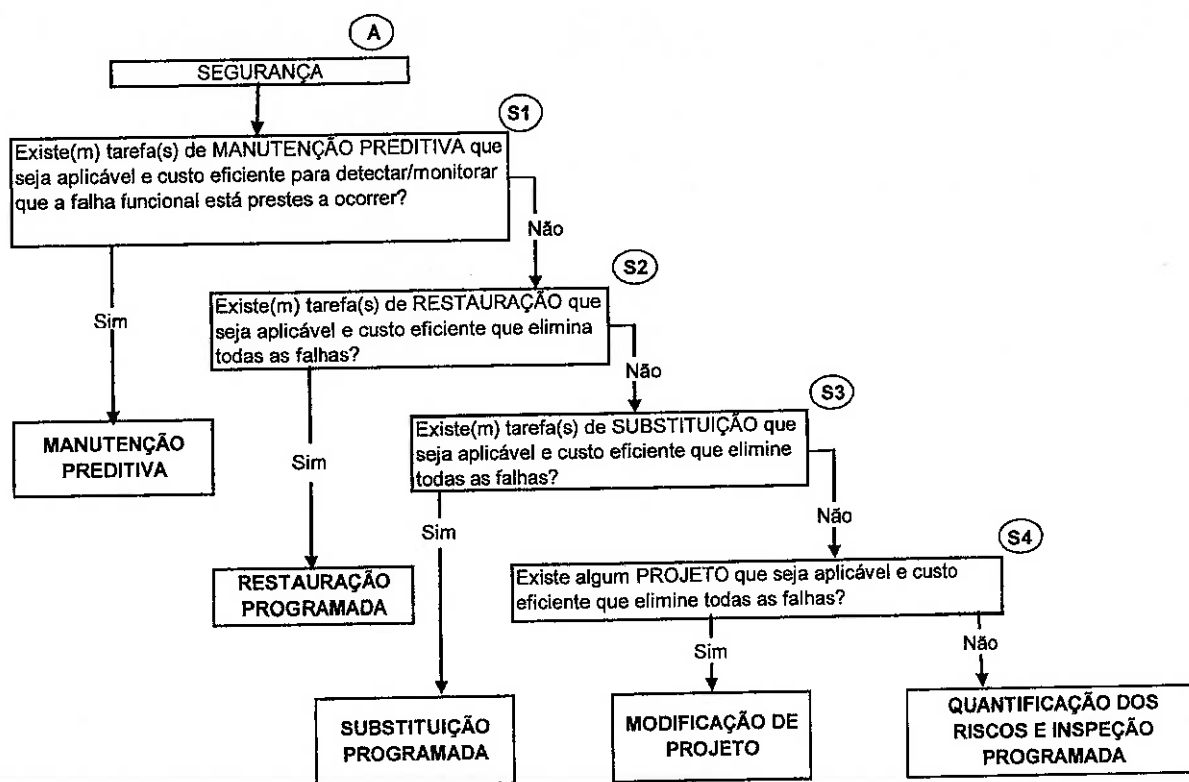


Figura 3.2 – Diagrama de Decisão

Fonte: Adaptado da apostila OK-001 – Manutenção para a Excelência da Manufatura.⁷

Etapa 7 – Definição das Frequências das Tarefas de Manutenção Preventiva

O objetivo desta etapa é determinar o intervalo ótimo para realizar as tarefas de manutenção previstas na etapa anterior.

A periodicidade de execução das tarefas de restauração e descarte é baseada no tempo, e leva em conta a idade que o item físico apresenta um rápido aumento da probabilidade de falha.

Existem dois intervalos para execução das tarefas, o primeiro definido como o limite de vida segura associado à falha com consequências ambiental ou segurança, o segundo associa o limite da vida econômica com consequências operacionais.

Zaions apresenta uma forma simples de calcular o limite de vida segura é dividir o tempo médio entre falhas por um fator arbitrário maior do que três ou quatro. O limite de vida econômica é usualmente igual à vida útil do item físico.¹²

Quando não há registros históricos para determinar estatisticamente a periodicidade das tarefas de manutenção, fato comum para plantas ou sistemas novos, pode-se basear a escolha da periodicidade das tarefas com base no conhecimento de um especialista do sistema.

De acordo com Zaions, a técnica de coleta de informações é empírica. Inicialmente é estimado um período de falha onde é realizada a primeira revisão do equipamento sendo inspecionadas as partes sujeitas à degradação e ao desgaste. Se a inspeção não revelar nenhum sinal de degradação e desgaste, o equipamento é montado e aumenta-se o intervalo do tempo em 10%. O processo é repetido continuamente até que em uma das revisões encontra-se um sinal de degradação ou desgaste. Neste ponto, pára-se o processo, regridem-se 10% e define-se como sendo esse o momento final para a realização da tarefa de manutenção.¹²

4 IMPLANTAÇÃO DA MCC NA TANCAGEM DE AHF RESFRIADO

Neste capítulo são apresentadas as etapas para a proposta de implantação da MCC, utilizando a sequência das seis etapas proposta por Smith, mostrada na tabela 3.1.

Um aspecto importante da proposta a ser ressaltado é que a unidade C10.49 atualmente está na fase de montagem eletromecânica na USEXA e, portanto, todo o estudo realizado foi com base no projeto da unidade.

Pelo fato da C10.49 não estar montada fisicamente, para ajudar na descrição do sistema, foram elaborados fluxogramas simplificados de cada subsistema estudado.

4.1 SELEÇÃO DO SISTEMA

A USEXA, como foi mostrado no início deste trabalho, executa um número elevado de atividades sendo que cada uma delas corresponde a um sistema.

No fluxograma de processo apresentado na figura 2.2, ficam bem definidos os sistemas produtivos da planta, porém, além dos sistemas produtivos, a USEXA necessita dos sistemas de apoio como a unidade de tratamento de efluentes, unidade de recuperação do urânio e utilidades.

A unidade de utilidades corresponde à todos os sistemas de suporte da planta que são as caldeiras para produção de vapor, sistema de ar comprimido, sistema de tancagem de amônia, ácido nítrico e a tancagem do AHF resfriado.

O sistema de tancagem de AHF foi escolhido devido a sua relativa complexidade em termos de projeto e principalmente devido aos riscos associado à operação e manutenção da unidade.

A importância da tancagem de AFH é devida ao ácido ser matéria-prima para a produção dos dois principais compostos na USEXA, sendo o primeiro ponto de consumo para etapa de hidrofluoração onde é produzido o composto tetrafluoreto de urânio, UF_4 e o segundo é para a produção do flúor onde o ácido é consumido em células eletrolíticas. O flúor gasoso é utilizado na última etapa da conversão que corresponde em converter o UF_4 em hexafluoreto de urânio, UF_6 .

4.2 DEFINIÇÃO DAS FRONTEIRAS DA TANCAGEM DE AHF

Para a aplicação da metodologia MCC necessita-se definir claramente quais as fronteiras do sistema a ser estudado para que a análise fique restrita ao sistema e suas principais funções.

As fronteiras da tancagem de AHF são definidas no desenho esquemático da unidade conforme mostrado na figura 4.1.

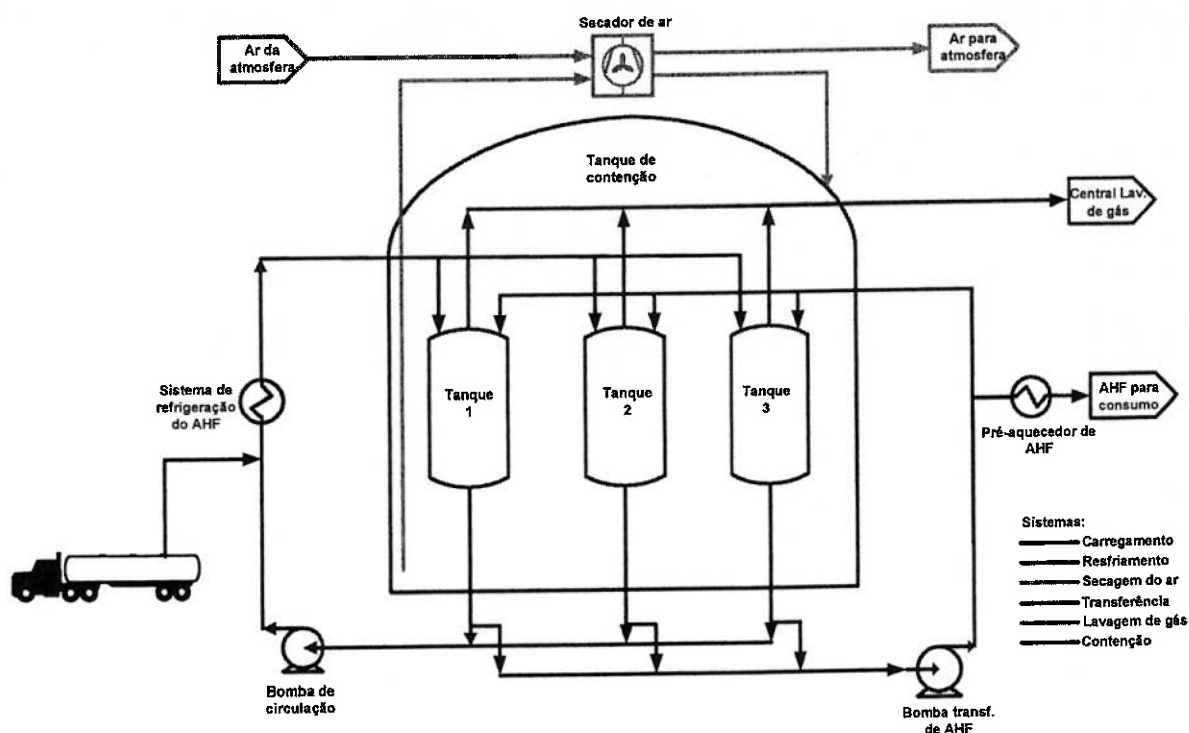


Figura 4.1 – Desenho esquemático da unidade de tancagem do AHF

A partir da figura 4.1 é possível definir as fronteiras da Unidade de Tancagem do AHF:

- No carregamento a fronteira é a partir das mangueiras que são conectadas nas válvulas de pressurização com ar de instrumento e de transferência do AHF;

- Na transferência do AHF para o consumo até o ponto onde está instalado no projeto o pré-aquecedor do AFH;
- No controle de pressão dos tanques a fronteira será o sistema de válvulas de controle antes do lavador de gás;
- No controle da umidade do ar a fronteiras serão a entrada e saída do ar na central de secagem do ar; e
- Na contenção a fronteira é toda a parte estrutural em contato direto com o ácido considerando os equipamentos, tubulação, válvulas e tanques de estocagem e o de contenção.

4.2.1 Operação da tancagem

A unidade de tancagem de AHF é dividida em três etapas básicas que consistem no carregamento dos tanques, manutenção da temperatura baixa do ácido durante o armazenamento e suprimento do ácido para os pontos de consumo da planta.

A situação de maior risco operacional é a etapa de transferência do ácido da carreta ou isotanque para a unidade.

No projeto da tancagem de AHF, por medidas de segurança, foi previsto que a chegada do caminhão que transporta o ácido tenha o acesso direto na baia de carregamento sem necessidade de manobras, em favor da segurança.

O carregamento do ácido da carreta para o tanque é uma operação lenta e após o carregamento para o tanque, o ácido deve circular continuamente entre o tanque de estocagem e o resfriador do ácido através da bomba de circulação 24 horas por dia para manter a temperatura do ácido entre -10 a - 8 °C.

A transferência do ácido da carreta para o tanque é realizada com uma vazão máxima de 4.400 kg/h na pressão máxima de 1,5 bar manométrico e na temperatura máxima de 40 °C sendo que as válvulas de controle que liberam o ar de instrumento e a passagem do AHF para o tanque são intertravadas as chaves de nível dos tanques de estocagem.

A circulação do ácido nos tanques para resfriamento do ácido é realizado na vazão de 5.000 kg/h na pressão de 0,5 bar manométrico a - 8 °C. No sistema de circulação

para o resfriamento do ácido a válvula que libera o retorno do ácido para o tanque antes do trocador de calor está intertravada com a bomba de circulação.

Os tanques de estocagem do ácido possuem chave e indicação de nível e alarme de temperatura.

A transferência do ácido para a planta é realizada conforme a demanda da produção, sendo que o ponto que irá receber o ácido deverá estar preparado e após a transferência deverá ser realizada a limpeza da linha através da circulação de ar de instrumento seco na tubulação para que desta forma evitar que o ácido fique encapsulado no interior da linha.

Na transferência do ácido para o consumo a vazão máxima é de 80 m³/h na pressão máxima de 3,5 bar manométrico e temperatura máxima de 18 °C sendo que a válvula de controle que libera a passagem do ácido para a planta está intertravada com a bomba de transferência.

A secagem do ar do tanque de contenção é uma operação automática com sensor de umidade e AHF intertravando as válvulas de acesso e saída do tanque.

No projeto umidade relativa do ar prevista é de 0,05 %, com uma vazão de 100 kg/h de ar e temperatura de 7 °C e em caso de emergência o operador pode fechar as válvulas de passagem do ar remotamente.

A amostragem do ácido AHF é realizada através de válvulas macho de três vias sendo que a retirada da alíquota pode ser realizada durante a transferência do AHF da carreta para o tanque ou durante a circulação para o resfriamento. A operação de amostragem bem como a de transferência deve ser realizada com o operador trajando roupa de proteção nível B, conforme mostra a figura 4.2.



Figura 4.2 – Roupa de proteção nível B

A operação de retorno do ácido para a carreta também pode ser realizada sendo que esta situação pode ocorrer caso o ácido esteja fora da especificação, porém devem ser tomadas as mesmas precauções com relação à segurança para que não hajam acidentes de vazamento.

O controle da pressão nos tanques de estocagem e de contenção é realizado automaticamente utilizando transmissor de pressão e com alarmes de pressão alta ou baixa sendo que o sistema é projetado a pressão atmosférica dentro dos tanques.

Os tanques de estocagem têm um volume total de 34 m³ e a pressão de operação é na faixa de -30 a 30 mbar e a temperatura na faixa de -10 até 19°C. O costado do tanque é de aço ASTM A 516 Grau 66, normalizado.

Todas as válvulas que estão em contato direto com o ácido e mesmo aquelas que eventualmente possam estar em contato com o ácido são válvulas tipo macho.

A operação da tancagem de AHF é remota através de sistema de controle distribuído localizado na sala de controle da USEXA no qual é possível controlar todos os sistemas da tancagem.

A filosofia de operação da tancagem considera que dois dos três tanques devem ser utilizados em condições normais de operação e o terceiro deve permanecer sempre vazio para ser utilizado somente em situações de emergência.

A proposta de implantação da MCC deve considerar o alto grau de risco que o ácido fluorídrico oferece com relação ao meio ambiente e aos operadores da planta; por conta disso todas as ações de manutenção devem ser realizadas considerando a hierarquia das competências, ou seja, a ação de manutenção só pode ser realizada quando a operação liberar o subsistema para a manutenção mediante a anuência da segurança industrial através de um "check-list" considerando todas as medidas de segurança a serem adotadas na intervenção do sistema.

A manutenção dos equipamentos que operam em contato direto com o ácido deve ser precedida pela etapa de descontaminação destes do ácido através de operação de neutralização com solução de carbonato de sódio (barrilha) e em seguida por lavagem para evitar que ocorram queimaduras quando da manipulação dos equipamentos.

Todas as equipes envolvidas tanto da operação quanto da manutenção da unidade de tancagem do AHF devem passar por treinamentos específicos e frequentes quanto ao manuseio seguro do ácido fluorídrico anidro considerando todos os riscos

que o ácido oferece e quais procedimentos devem ser adotados para evitar que haja acidente com os operadores. O treinamento deve instruir os operadores e equipes de manutenção na utilização dos EPI's adequado para cada tipo de tarefa e que providências devem ser tomadas em caso de emergência.

Os operadores devem estar instruídos em comunicar para o supervisor as situações onde a segurança pode estar comprometida, por exemplo, falta de EPI's nos locais apropriados, mau funcionamento de um equipamento ou observação de deterioração de estojos de par de flanges, outros. Este treinamento é importante para a manutenção porque o operador ajuda na identificação da falha antes que torne um problema grave de vazamento comprometendo a segurança dos operadores das instalações.

4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A proposta de implantação do MCC foi realizada sobre o projeto, não havendo banco de dados das intervenções de manutenção para poder-se definir com base na frequência das falhas dos equipamentos e ativos da unidade, quais políticas de manutenção a ser empregada.

Na descrição do sistema são mostrados fluxogramas de engenharia simplificados para cada um dos subsistemas, lista de alarmes dos tanques e identificação dos itens e componentes do sistema de tancagem do AHF.

A apresentação dos fluxogramas simplificados foi elaborada para poder identificar os itens e componentes para cada subsistema da unidade.

4.3.1 Subsistemas, itens e componentes da Unidade de Tancagem do AHF

A definição dos subsistemas está baseada nas seis funções principais que definem o sistema de tancagem do AHF conforme segue:

- Carregamento;
- Resfriamento e estocagem do ácido;
- Transferência do ácido para o consumo;
- Secagem do ar do interior dos tanques;
- Controle de pressão dos tanques; e
- CONTENÇÃO estrutural do ácido.

Segue abaixo a definição dos itens e componentes da unidade:

- Itens: tubulação, controle, monitoração e segurança; e
- Componentes: válvulas, transmissores, indicadores, alarmes, bombas, trocadores de calor, chave de posição e chave de nível.

4.3.2 Carregamento

O carregamento do ácido para a unidade é composta de basicamente duas linhas sendo uma delas para a pressurização do tanque do caminhão e a segunda para a descarga do ácido para a unidade de tancagem.

A linha de pressurização utiliza o ar de instrumento seco e a pressão para realizar a transferência do ácido e controlada por uma válvula reguladora de pressão, sendo a vazão do AHF da carreta para o tanque função da pressão da linha de ar de serviço. A vazão máxima é de 4.400 kg/hora a uma pressão de 1,5 bar manométrica e na temperatura máxima de 40 °C. Considerando que a carreta ou ISO tanque tem capacidade de 22 toneladas métricas o tempo da transferência do ácido é da ordem de 5 horas.

Em condições normais a operação de transferência do ácido é da carreta para o tanque de estocagem, porém em situações especiais pode haver a necessidade de que o ácido deva ser transferido do tanque de estocagem para a carreta para ser

devolvido para o fabricante. Tal situação poderá ocorrer devido a dois fatores; o primeiro é que quando o ácido entra em contato com as tubulações e com os tanques pela primeira vez ocorre a passivação do aço e, portanto o ácido fica contaminado principalmente com ferro, e a segunda situação é se o ácido estiver fora da especificação principalmente se o teor de água estiver muito elevado. O retorno do ácido para a carreta é realizado através de bombeamento na vazão de $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

O retorno do ácido devido à passivação do sistema poderá ser realizado uma única vez porque a camada passivada fica aderida à parede interna do sistema protegendo-a.

O descarregamento da carreta é realizado através da conexão de duas mangueiras nos respectivos bocais da carreta ou isotanque sendo uma delas no bocal de pressurização da carreta e o outro para a transferência do AHF.

Os limites da análise para o subsistema de carregamento são as mangueiras de acoplamento da carreta, portanto a carreta não participa da proposta pelo fato de que a manutenção desta é de responsabilidade da empresa transportadora, e a linha de suprimento de ar de serviço a partir da válvula controlador de pressão.

Devido às características da unidade da tancagem com relação à segurança a análise da etapa de carregamento deve levar em consideração o funcionamento simultâneo do controle da pressão interna dos tanques, a secagem do ar e também o trocador de calor para a refrigeração do ácido.

Para qualquer operação de transferência do ácido é importante observar que não fique acumulado ácido no interior da tubulação, por exemplo, entre válvulas, porque ocorre a expansão do ácido causando danos estruturais na tubulação, flanges, válvulas ou instrumentos que estejam inseridos no trecho. Para evitar que tal situação ocorra é importante que após a transferência o ácido seja removido pela circulação de ar de instrumento seco para a remoção do ácido.

O fluxograma da figura 4.3 mostra o carregamento da unidade da tancagem incluindo os itens e componentes.

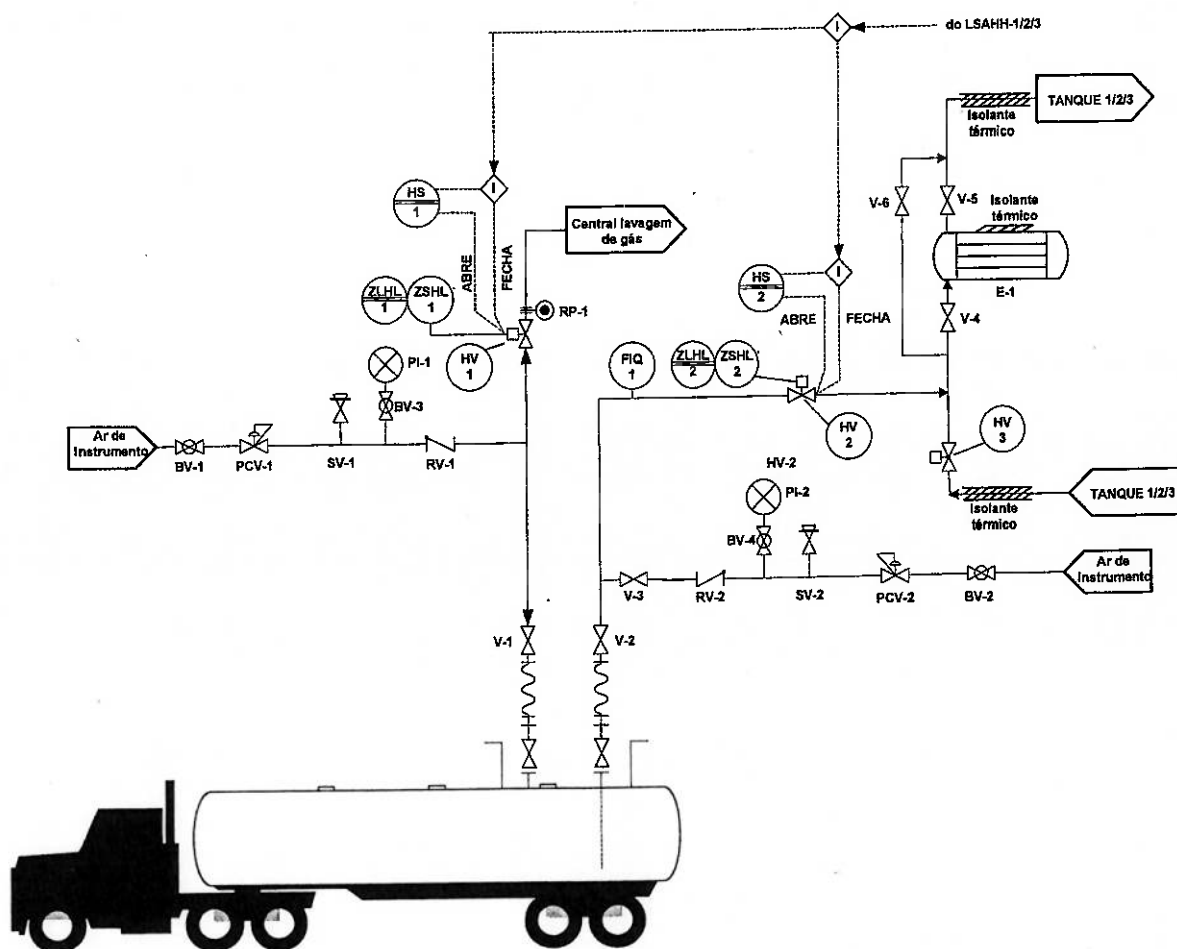


Figura 4.3 – Fluxograma do carregamento

O fluxograma da figura 4.3 mostra os principais instrumentos e linhas para carregamento do ácido para a tancagem, sendo uma de ar de instrumento para pressurização da carreta e para limpeza da linha de transferência do AHF.

As linhas de ar de instrumento possuem válvula esfera, válvula reguladora de pressão, válvula de segurança, manômetro e válvula de retenção.

A linha de transferência do AHF está equipada com flexível ligado à carreta, válvulas manuais, válvula de controle de acionamento manual e totalizador e indicador de vazão.

O carregamento é realizado através da abertura das válvulas manuais V-1 e V-2 acopladas aos flexíveis sendo a transferência realizada através da abertura das válvulas de controle HV-1 e HV-2. Devido ao intertravamento o acionamento das válvulas só é possível se a chave de nível muito alto LSAHH-1/2/3 não estiver atuado.

As fronteiras para efeito de análise do FMEA para a etapa do carregamento será analisado considerando as linhas de ar de serviço utilizadas para a remoção do ácido do tanque do caminhão e limpeza da linha de transporte do AHF e a linha de transferência do AHF até a válvula HV-2.

4.3.3 Resfriamento

Após o carregamento dos tanques de estocagem, a próxima etapa do processo é o resfriamento do ácido através da circulação pelo trocador de calor E-1 e E-2. Nesta etapa da estocagem o ácido é bombeado pela bomba de circulação sendo ligada continuamente entre o tanque de estocagem e o trocador de calor. A bomba de circulação é do tipo centrífugo horizontal sem selo com acoplagem magnética.

Nesta etapa do processo é possível retirar alíquotas do ácido recebido para análise através da válvula de três vias para amostragem, XV-1 localizada após o resfriador E-1.

O bombeamento do ácido é realizado a uma vazão de 4.400 kg/h na pressão de 1,7 bar sendo que a vazão imposta pela bomba P-1 é dividida em duas correntes a principal que alimenta os tanques de estocagem, com cerca de 3.900 kg/h e o restante 0,5 kg/h retorna a montante da bomba de circulação, P-1 passando pela placa de orifício RP-3 e o trocador de calor E-2. O circuito fechado da bomba P-1 é utilizado para que em caso de necessidade de interrupção do fluxo do ácido para o tanque a bomba possa continuar ligada evitando que trabalhe em vazio.

Os trocadores de calor da unidade de tancagem utilizam o etileno glicol como o líquido refrigerante.

O fluxograma simplificado da figura 4.4 mostra as linhas de circulação do ácido para a etapa de resfriamento para os três tanques de estocagem também são mostrados os instrumentos de níveis, temperaturas, chave de nível, válvulas de bloqueio, dreno e controle, manômetros, placas de orifício, trocador de calor para refrigerar o ácido e bomba centrífuga.

No fluxograma apresentado na figura 4.4, também é exibido o intertravamento entre a bomba P-1, motor da bomba M-1 e a válvula de controle HV-3 sendo que a válvula

é ajustada a abrir automaticamente 5 % para a passagem do ácido.

A válvula HV-3 só é acionada se o dispositivo de alarme de corrente baixa ISAL-1 do motor M-1 e o dispositivo de alarme de rotação alta XSAH-1 da bomba P-1 não estiverem atuados.

Na saída dos três tanques de estocagem T-1, T-2 e T-3, são instaladas duas válvulas de controle em série para cada tanque, com a primeira logo abaixo do tanque com falha aberta. Todas as válvulas de controle HV-7 até a HV-12 que estão contidas no tanque de contenção T-4 são soldadas diretamente na tubulação.

As linhas de circulação do AHF contidas no tanque T-4 são expostas diretamente ao meio ambiente não havendo isolamento térmico e as linhas de circulação do AFH fora do tanque de contenção são isoladas termicamente e as válvulas instaladas fora do tanque de contenção são entre par de flanges.

Cada tanque é equipado com um instrumento de nível LIT-1/2/3 e um alarme de nível independente LA-1/2/3.

As temperaturas dos tanques de estocagem são medidas pelo TRI-1/2/3.

Nos tanques de estocagem de AHF a pressão é balanceada entre eles através do respiro e no caso de haver uma sobre pressão de AHF nos tanques a pressão é aliviada para a central de lavagem de gás.

Se houver vácuo nos tanques de estocagem o vácuo será compensado pelo ar de instrumento através da ventilação dos tanques conforme é mostrado na figura 9, portanto a linha de ventilação tem a função de controlar a pressão interna dos tanques de estocagem.

A pressão na linha de resfriamento do ácido é monitorada pelo PI-4 após a bomba P-1 e PI-3 após o resfriador E-1.

Na saída do resfriador E-1 a temperatura do ácido é indicada e registrada pelo TRI-4 e na mesma linha a concentração do ácido é monitorada pelo condutivímetro CRI-1.

O retorno do ácido para o tanque de estocagem T-1 é realizado pela abertura da válvula de controle HV-6, para o tanque T-2 através da válvula HV-5 e para o T-3 através da válvula HV-4.

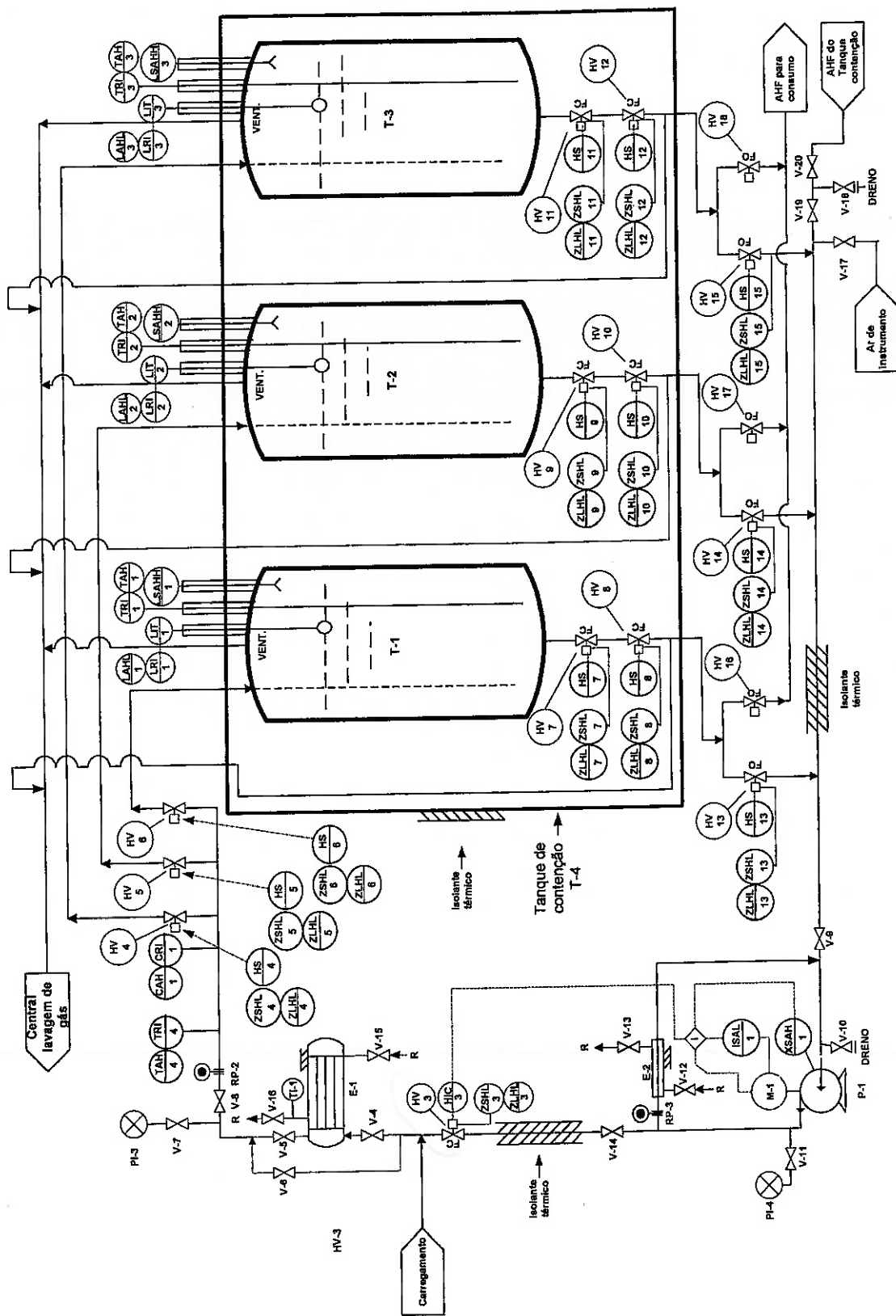


Figura 4.4 – Fluxograma simplificado do resfriamento

4.3.4 Transferência

A etapa de transferência do ácido é utilizada para o consumo do ácido pela USEXA, podendo ser transferido para os dois pontos de consumo da planta.

O primeiro ponto de consumo é a etapa de hidrofluoração onde o dióxido de urânio é convertido em tetrafluoreto de urânio, UF_4 . O segundo ponto de consumo é para a produção do flúor gasoso em célula eletrolítica. O flúor na forma de gás é utilizado para a produção do hexafluoreto de urânio, UF_6 .

Na mesma forma que na etapa de carregamento do AHF, o circuito de circulação do ácido deve ficar isento do ácido após a operação. A remoção do ácido no interior da tubulação do circuito de transferência é realizada pela circulação do ar de instrumento.

O fluxograma da figura 4.5 mostra a etapa de transferência do ácido para a planta sendo que os instrumentos de nível, temperatura e válvulas de saída operam para as operações de resfriamento e transferência.

O bombeamento é realizado pela bomba P-2 e a válvula de controle HV-19 está intertravada com a bomba através do dispositivo de alarme de rotação alta XSAH e o dispositivo de alarme de corrente baixa ISAL-2 e a válvula HV-19 só atuará se ambos sensores não estirem alarmados. A HV-19 é ajustada para abrir automaticamente a 5%.

A liberação do retorno do ácido para os tanques é através das válvulas de controle HV-20, HV-21 ou HV-22, dependendo de qual tanque escolhido para o retorno do ácido.

O pré-aquecedor E-4 localizado na saída do anel de circulação de transferência é ajustado para aquecer o ácido na temperatura desejado para os pontos de consumo e a temperatura do pré-aquecedor é controlada pelo TIC-1.

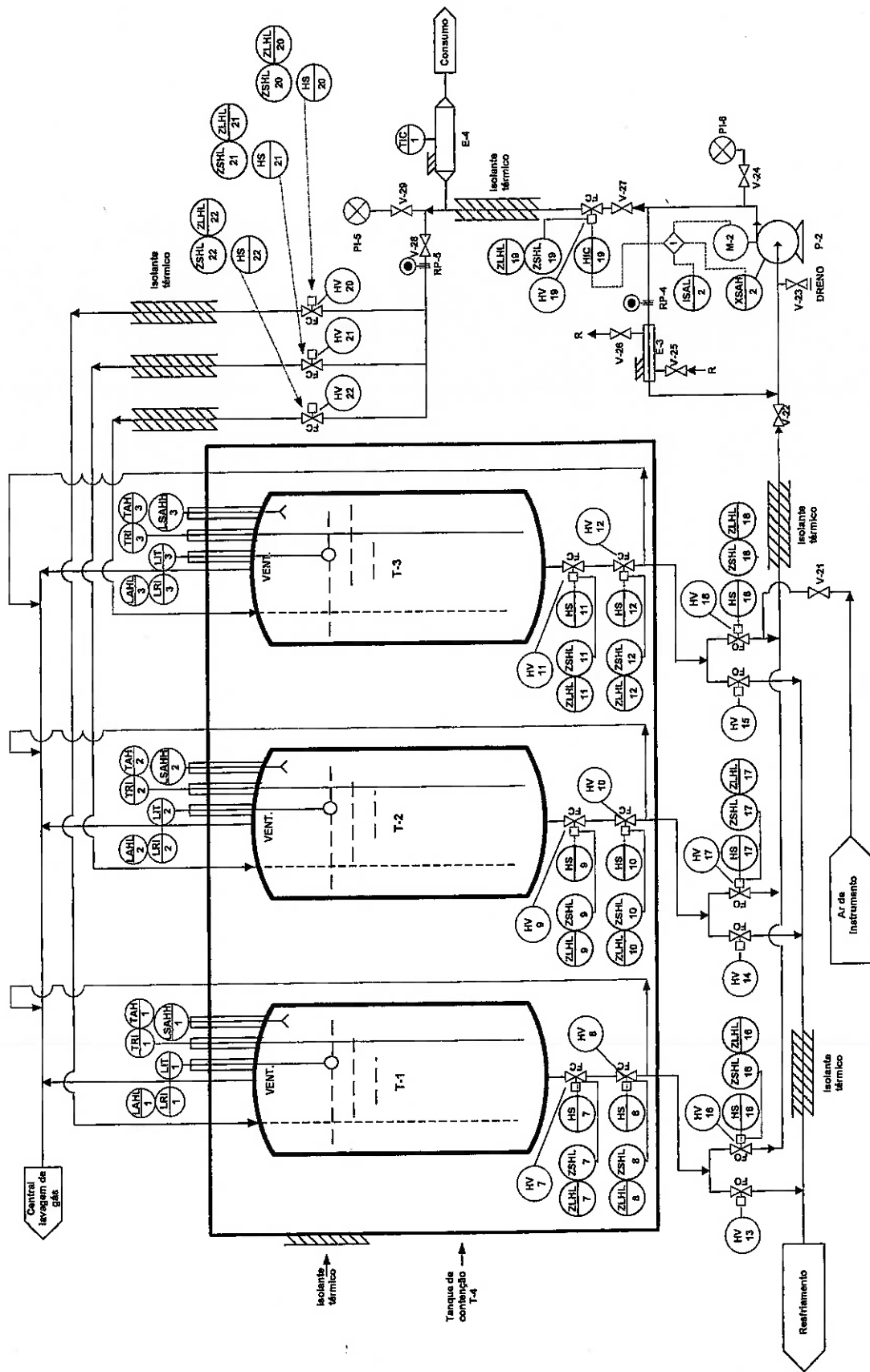


Figura 4.5 – Fluxograma Simplificado da transferência

4.3.5 Secagem do ar

A secagem do ar é uma unidade automática com a finalidade de manter a umidade relativa no interior do tanque de contenção T-4 na faixa de zero a 0,05%.

Os motores M-3 que aciona o exaustor B-3, M-4 que aciona o secador A-2 e o motor M-5 que aciona o exaustor B-5, além do secador A-2 estão intertravados com o detector de AHF, AIT-1 e com detector de umidade MIT-1 de acordo com o fluxograma da figura 4.6.

Em caso de vazamento de AHF no interior do tanque de contenção as válvulas AV-1 e AV-2 são fechadas pelo detector de AHF, AIT-1 ou pela botoeira, HS-24.

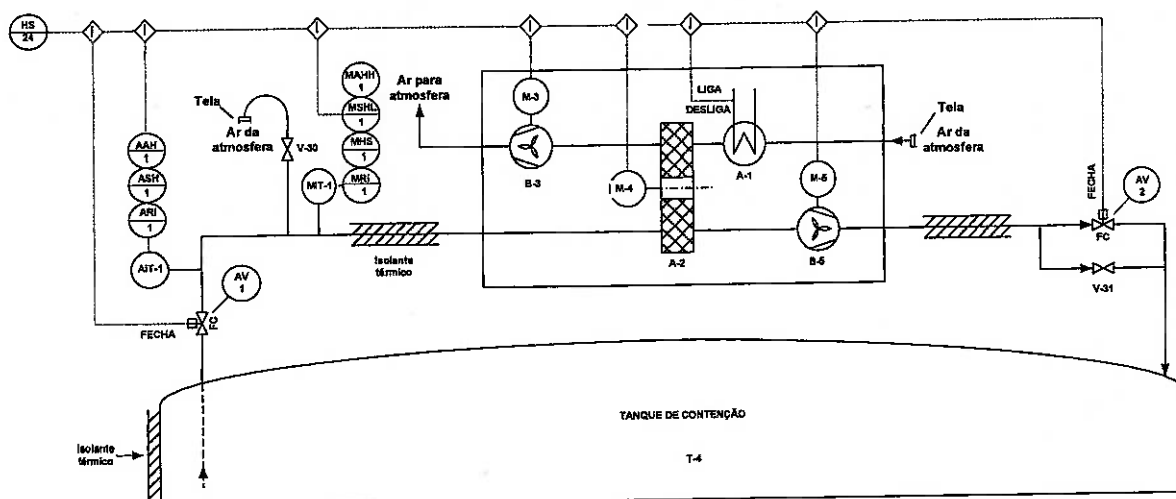


Figura 4.6 – Fluxograma simplificado da secagem do ar

4.3.6 Controle de pressão nos tanques

O sistema de controle de pressão tem a finalidade de controlar a pressão dos tanques de estocagem e do tanque de contenção e também conduzir o AHF que possa vazar no carregamento da unidade ou dos tanques de estocagens T/1/2/3/4 para o lavador de gás a fim de abater o AHF.

O controlador de pressão PIRC-2 controla a pressão nos tanques. No caso de uma sobre pressão, o gás de AHF é aliviado para o lavador de gás através da válvula de controle PV-2 conforme pode ser visto na figura 4.7.

No caso de vácuo dentro dos tanques, o ar de instrumento é alimentado via válvula de controle de pressão, PV-4 para os tanques.

A pressão no tanque de contenção é controlada pelo circuito fechado de pressão PIRC-1. No evento de alta pressão, o gás é aliviado para lavador de gases através da válvula de controle, PV-1. O vácuo será compensado pelo ar de instrumento, alimentando o tanque de contenção via válvula de controle, PV-3.

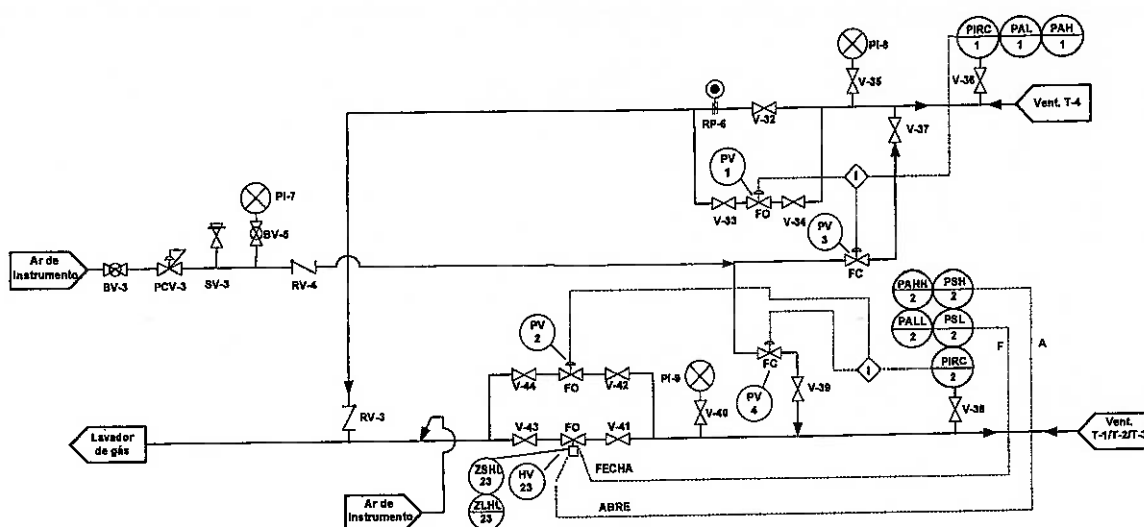


Figura 4.7 – Fluxograma simplificado da lavagem de gás

4.3.6 Contenção

A contenção considera a estrutura dos tanques de estocagem e o tanque de contenção incluindo as bocas de inspeção.

O desenho esquemático da figura 4.8 onde podem ser observadas as válvulas de contenção, a linha para neutralização do ácido, a linha para enviar o ácido para o circuito de resfriamento.

O Tanque de Contenção de AHF tem uma segunda proteção de pressão, o dispositivo de segurança do tanque de contenção de AHF, T-5. A sobre pressão é aliviada a 150 mm CA, o vácuo é aliviado a -120 mmCA através do dispositivo

barométrico com água. O nível de água é mantido por alimentação contínua. O nível alto da água é descarregado por um ladrão para o tratamento de efluente.

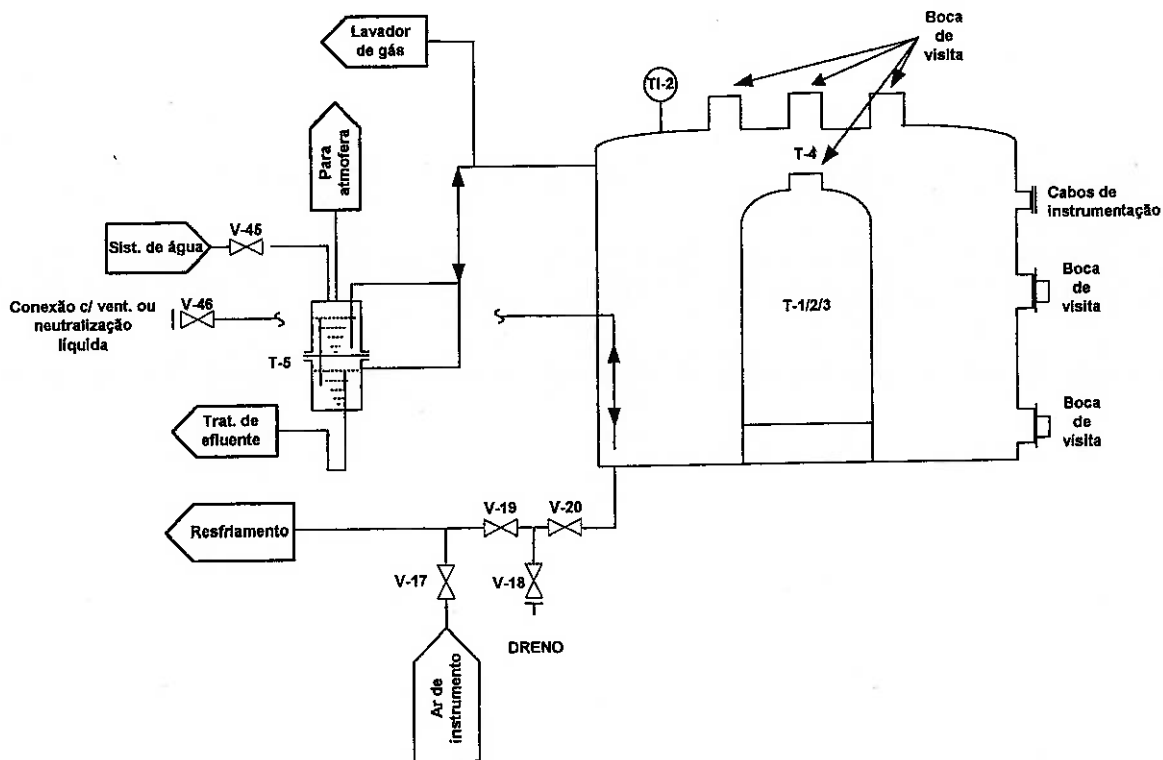


Figura 4.8 – Desenho esquemático do tanque de contenção T-4

4.3.7 Listas de alarmes dos tanques de estocagem e contenção

Como parte da preparação da MCC, além dos fluxogramas é apresentada a lista de alarmes dos tanques de estocagem T-1/2/3 com suas consequências e instruções para correção do distúrbio conforme pode ser observado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Lista de alarmes dos tanques T-1/2/3

IDENTIFICAÇÃO	CONDIÇÃO
1. Alarmes de temperatura alta TAH-1, TAH-2, TAH-3	Alarme de temperatura alta atuado. O conteúdo do tanque afetado deve circular através do resfriador de AHF, E-1.
2. Alarmes de nível alto LAH-1, LAH-2, LAH-3	Alarme de nível alto atuado. O carregamento do ácido deve ser parado se não houver outro tanque disponível. De outra forma, um novo tanque é selecionado e a operação de carregamento deve continuar.
3. Alarmes de nível muito alto LAHH-1, LAHH-2, LAHH-3	Alarme do nível muito alto do tanque atuado. O carregamento do ácido será automaticamente parado. Um novo tanque pode ser selecionado e a operação de carregamento deve continuar. Checar os alarmes de nível alto.
4. Alarmes de nível baixo LAL-1, LAL-2, LAL-3	Alarme de nível baixo atuado. Parar a Bomba de Transferência de AHF, P-2.
5. Alarme de pressão alta PAHH-2	Alarme de pressão muito alta atuada. Cortar o suprimento do ar de instrumento para o sistema e reduzir a pressão abrindo a válvula manual HV-23 para a o sistema de lavagem de gases. Checar a pressão, usando o indicador de pressão PI-9. Uma situação de pressão alta deve ocorrer devido à falha no sistema de controle de pressão, PIRC-2 ou fechamento de uma válvula de bloqueio na linha de sucção do sistema de absorção de gases.
6. Alarme de baixa pressão PALL-2	Alarme de pressão muito baixa atuado. Uma situação de baixa pressão pode ser causada pela falha do sistema de controle de pressão PIRC-2 ou fechamento de uma válvula de bloqueio na linha de alimentação de ar de instrumento. Caso a falha não possa ser verificada, a Bomba de Transferência de AHF, P-2 deve ser desligada.
7. Alarme de temperatura alta no Resfriador de AHF, E-1 saída TAH-4	Alarme de temperatura alta atuado. Checar a circulação do AHF e da Unidade de Resfriamento do Refrigerante.

A seguir é mostrada a lista de alarmes para o tanque de contenção T-4 com suas consequências e instruções para correção do distúrbio conforme pode ser observado na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Lista de alarmes dos tanques T-1/2/3

IDENTIFICAÇÃO	CONDIÇÃO
1. Alarme de umidade muito alta MAHH-1	Alarme de umidade muito alta atuado. O alarme indica uma ineficiência dos secadores de Ar do Tanque de Contenção de AHF, A-1, A-2. A operação desta unidade deve ser checada.
2. Alarme de alta no detector de AHF AAH-1	Alarme de concentração alta do gás AHF alto atuado. Este é um aviso de perigo. O alarme indica vazamento do AHF de um tanque ou tubulações. As piores situações no carregamento são quando: • o tanque está vazio • o tanque é preenchido com 22 TM máxima

4.3.8 Identificação dos subsistemas, itens e componentes

Para esta proposta de aplicação da MCC é apresentada as listas de equipamentos com seus respectivos códigos de identificação e códigos de alarmes e intertravamento para os sistemas apresentados nos fluxogramas com os respectivos itens e componentes.

A primeira lista corresponde ao sistema do carregamento do ácido com base no fluxograma da figura 4.3 conforme exibido na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Carregamento do ácido

SUBSISTEMA DO CARREGAMENTO			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento /sinalização/ acionamento
Controle	Válvula redutora de pressão	PCV-1/2	
	Válvula ON-OFF	HV-1/2	HS-1/2 LSAHH-1/2/3
	Chave de posição alta e baixa	ZSHL-1/2	
	Dispositivo de indicação alto e baixo	ZLHL-1/2	
	Botoeira local	HS-1/2	
Monitoração	Manômetro	PI-1/2	
	Totalizado indicador de fluxo	FIQ-1	
Segurança	Válvula de segurança	SV-1/2	
	Válvula de retenção	RV-1/2	
	Válvula de bloqueio manual	V-1/2/3 BV-1/2	

A segunda lista corresponde ao sistema de circulação e resfriamento do ácido com base no fluxograma da figura 4.4 conforme exibido na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Resfriamento / transferência do AHF

SUBSISTEMA DE RESFRIAMENTO / TRANSFERÊNCIA			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento / sinalização / acionamento
Controle	Válvula ON-OFF	HV-3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15	HS-4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15
	Estação manual de controle	HIC-3	ISAL-1, XSAH-1

(continua)

Tabela 4.4 – Resfriamento / transferência do AHF (conclusão)

SUBSISTEMA DE RESFRIAMENTO / TRANSFERÊNCIA			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento / sinalização / acionamento
Controle	Chave de posição alta e baixa.	ZSHL-3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15	
	Dispositivo de indicação alto e baixo	ZLHL-3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15	
Bomba	Motor	M-1/2	
	Rotor	P-1/2	
Trocador de calor	Casco/tubo	E-1/2/3	
Monitoração	Registrador e indicador de temperatura	TRI-1/2/3/4	TAH-1/2/3/4
	Condutivímetro	CRI-1	CAH-1
	Transmissor indicador de nível	LIT-1/2/3	

A terceira lista corresponde ao sistema de secagem do ar com base no fluxograma apresentado na figura 4.6 conforme exibido na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Secagem do ar

SUBSISTEMA DE SECAGEM DO AR			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento / sinalização / acionamento
Controle	Válvula de controle	AV-1/2	MASHL-1, MAHH-1, AAH-1
Monitoração	Transmissor indicador de umidade	MIT-1	
	Indicador e registrador e umidade	MRI-1	
	Chave manual de comando	MHS-1	

(continua)

Tabela 4.5 – Secagem do ar (conclusão)

SUBSISTEMA DE SECAGEM DO AR			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento / sinalização / acionamento
Secador	Motor	M-3/4/5	
	Exaustor	B-3/4	
	Secador	A-1/2	
Segurança	Transmissor indicador de análise de AHF	AIT-1	
	Indicador e registrador de análise de AHF	ARI-1	
	Chave manual de comando	ASH-1	
	Válvula de bloqueio manual	V-30/31	
	Botoeira	HS-24	

A quarta lista corresponde ao sistema controle da pressão nos tanques com base no fluxograma da figura 4.7 conforme exibido na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Controle da pressão nos tanques

SUBSISTEMA DE CONTROLE DE PRESSÃO			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento / sinalização / acionamento
Controle	Válvula redutora de pressão	PCV-3	
	Válvula controladora de pressão	PV-1/3	PIRC-1, PAL-1, PAH-1
	Válvula de controle	HV-23	PSH-2, PSL-2, PALL-2, PAHH-2, PIRC-2
	Chave de posição alta e baixa	ZSHL-23	
	Dispositivo de indicação alto e baixo	ZLHL-23	
	Válvula controladora de pressão	PV-2/4	PSH-2, PSL-2, PALL-2, PAHH-2, PIRC-2

(continua)

Tabela 4.6 – Controle da pressão nos tanques (conclusão)

SUBSISTEMA DE CONTROLE DE PRESSÃO			
Item	Componentes	Identificação	Intertravamento / sinalização / acionamento
Monitoração	Chave de posição	ZSHL-23	ZLHL-23
	Indicador de pressão	PI-7/8/9	
Segurança	Orifício de restrição	RP-6	
	Válvula de segurança	SV-3	
	Válvula de retenção	RV-3/4	
	Válvula de bloqueio manual	V-32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44	

A sexta lista corresponde ao subsistema contenção dos tanques com base no fluxograma da figura 4.8 com as principais características conforme exibido na tabela 4.7 referente aos tanques de estocagem T-1/2/3 e a tabela 4.8 referente ao tanque de contenção T-4.

Tabela 4.7 – Contenção dos tanques

TANQUE DE ESTOCAGEM (T-1/2/3)		
ITEM	CARACTERÍSTICA	UNIDADE
Tipo de construção	Vaso cilíndrico na posição vertical	
Serviço (cíclico ou contínuo)	Cíclico	
Meio	AHF	
Densidade	1.000	Kg/m ³
Pressão de operação	-30 a + 30	mbar
Temperatura de operação	-10 a + 19	° C
Pressão de projeto	-1 a + 6,9	bar
Temperatura de projeto	- 40 a + 93,3	° C
Volume	34	m ³

(continua)

Tabela 4.7 – Contenção dos tanques (conclusão)

TANQUE DE ESTOCAGEM (T-1/2/3)		
ITEM	CARACTERÍSTICA	UNIDADE
Dimensões	Diâmetro nominal 2.400	mm
	Altura 8.000	
Espessura mínima da parede	12.7	mm
Costado	ASTM A 516 grau 55 normalizado	
Flanges	ASTM A 105	
Tubulação	ASTM 106 grau B	
Estojo	ASTM A 193 B7M, S3	
Porcas	ASTM A 194 2H galvanizado	

Tabela 4.8 – Contenção dos tanques

TANQUE DE CONTENÇÃO (T-4)		
ITEM	CARACTERÍSTICA	UNIDADE
Tipo de construção	Vaso cilíndrico na posição vertical	
Meio	Ar	
Pressão de operação	-12 a + 15	mbar
Temperatura de operação	-10 a + 40	° C
Pressão de projeto	-15 a + 20	bar
Temperatura de projeto	- 20 a + 50	° C
Volume	755 aproximado	m ³
Dimensões	Diâmetro nominal 9.300	mm
	Altura 11.800	
Espessura mínima da parede	8	mm
Costado	ASTM A 516 grau 55 normalizado	
Flanges	ASTM A 105	
Tubulação	ASTM 106 grau B	
Estojo	ASTM A 193 B7M, S3	
Porcas	ASTM A 194 2H galvanizado	

4.4 FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS DA TANCAGEM DE AHF

A quarta etapa da implantação da MCC tem o objetivo de identificar as funções e as falhas para os componentes e itens do sistema.

A forma prática de apresentação é na forma de tabela no qual é identificado o item ou componente com sua respectiva função e falha.

A apresentação das funções e falhas funcionais da tancagem de AHF é apresentada em forma de tabelas para cada sistema.

Seguindo o mesmo roteiro das etapas anteriores o primeiro sistema a ser estudado é o do carregamento conforme exibido na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Funções e falhas funcionais do carregamento

CTMSP	PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS	
	USEXA	
	TANCAGEM DE AHF	CARREGAMENTO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Tubulação	1-Conduzir o AHF da carreta para os tanques de estocagem.	1-Apresentar vazamento, não conduzir o AHF para os tanques.
	2- Pressurizar a linha de ar de instrumento.	2- Apresentar vazamento, não conduzir o AHF para os tanques.
	3-Restringir a passagem do ar de instrumento.	3-Não restringir a passagem do ar de instrumento.
Controle	1-Controlar a pressão e vazão de transferência do ácido para os tanques.	1-Não controlar a pressão e vazão do ácido para os tanques.
	2- Controlar a pressão e vazão do ar de instrumento para a carreta e limpeza da linha de transferência do ácido.	2- Não controlar a pressão e vazão do ar de instrumento para a carreta e limpeza da linha de transferência do ácido.
	3-Abrir ou fechar às válvulas de controle.	3-Não abre ou fecha a válvula de controle.

(continua)

Tabela 4.9 – Funções e falhas funcionais do carregamento (conclusão)

PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
CTMSP		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	CARREGAMENTO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Monitoração	1-Indicar a pressão na linha.	1-Não indicar a pressão na linha de ar de instrumento.
	2-Indicar a posição das válvulas de controle.	2-Não indicar a posição das válvulas ou indicar a posição incorreta.
	3-Indicar a vazão e totalização da massa de ácido transferida.	3-Não indicar a vazão e totalização da massa transferida ou indicar a vazão e massa transferida incorreta.
Segurança	1-Aliviar a pressão da linha de ar de instrumento.	1-Não aliviar a pressão da linha de ar de instrumento.
	2-Não permitir que haja contra fluxo de ácido para a linha de ar de instrumento.	2-Permitir que haja contra fluxo de ácido para a linha de ar de instrumento.
	3-Bloquear a passagem de ácido ou ar de instrumento.	3-Não bloquear a passagem de ácido ou ar de instrumento.

A próxima análise de funções e falhas funcionais é do sistema de circulação e resfriamento do ácido conforme mostrada na lista da tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Funções e falhas funcionais da circulação e resfriamento do ácido

CTMSP PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	RESFRIAMENTO DO AHF
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Tubulação	1-Conduzir o ácido no circuito de resfriamento e tanques de estocagem. 2-Restringir a passagem do ácido pela tubulação. 3-Isolar termicamente o ácido circulante na tubulação fora do tanque de contenção.	1-Não conduzir o ácido no circuito de resfriamento e tanques de estocagem. 2-Não restringir a passagem do ácido pela tubulação ou bloquear a passagem do ácido. 3-Não Isolar termicamente o ácido circulante na tubulação fora do tanque de contenção.
Controle	1-Selecionar a posição aberta ou fechada das válvulas de controle e selecionar o tanque para estocagem ou esvaziamento do ácido.	1-Não selecionar a posição aberta ou fechada das válvulas de controle e selecionar o tanque para estocagem ou esvaziamento do ácido.
Bomba	1-Bombear o ácido pelo circuito de resfriamento do ácido.	1-Não bombear o ácido pelo circuito de resfriamento do ácido.
Trocador de calor	1-Resfriar o ácido.	1-Não resfriar o ácido.
Monitoração	1-Indicar, registrar, alarmar temperatura alta e baixa do ácido. 2-Indicar, registrar e alarmar a condutividade elétrica do ácido. 3-Indicar, registrar, alarmar o nível alto, muito alto e baixo do ácido nos tanques de estocagem. 4-Indicar a pressão na linha do ácido. 5-Indicar a posição das válvulas de controle. 6-Retirar amostra do ácido para análise.	1-Não indicar, registrar, alarmar temperatura alta e baixa do ácido. 2-Não indicar, não registrar, não alarmar a condutividade elétrica ou indicar incorretamente. 3-Não indicar, não registrar, não alarmar o nível alto, muito alto e baixo do ácido nos tanques de estocagem ou indicar incorretamente. 4-Não indicar a pressão ou indicar incorretamente. 5-Não indicar a posição das válvulas de controle ou indicar a posição incorreta. 6-Não retirar amostra do ácido para análise.
Segurança	1-Bloquear a passagem do ácido.	1-Não bloquear a passagem do ácido.

A próxima análise de funções e falhas funcionais é do sistema de transferência do ácido conforme mostrada na lista da tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Funções e falhas funcionais da transferência do ácido

PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
CTMSP		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	TRANSFERÊNCIA PARA O CONSUMO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Tubulação	1-Conduzir o ácido no circuito de resfriamento e tanques de estocagem. 2-Restringir a passagem do ácido pela tubulação. 3-Isolar termicamente o ácido circulante na tubulação fora do tanque de contenção.	1-Não conduzir o ácido no circuito de resfriamento e tanques de estocagem. 2-Não restringir a passagem do ácido pela tubulação ou bloquear a passagem do ácido. 3-Não Isolar termicamente o ácido circulante na tubulação fora do tanque de contenção.
Controle	1-Selecionar a posição aberta ou fechada das válvulas de controle e selecionar o tanque para estocagem ou esvaziamento do ácido.	1-Não selecionar a posição aberta ou fechada das válvulas de controle e selecionar o tanque para estocagem ou esvaziamento do ácido.
Bomba	1-Bombear o ácido pelo circuito de transferência do ácido.	1-Não bombear o ácido pelo circuito de transferência do ácido.
Trocador de calor	1-Aquecer o ácido.	1-Não aquecer o ácido.
Monitoração	1-Indicar, registrar, alarmar temperatura alta e baixa do ácido. 2-Indicar, registrar, alarmar o nível alto, muito alto e baixo do ácido nos tanques de estocagem. 3-Indicar a pressão na linha do ácido. 4-Indicar a posição das válvulas de controle.	1-Não indicar, registrar, alarmar temperatura alta e baixa do ácido. 2-Não indicar, não registrar, não alarmar o nível alto, muito alto e baixo do ácido nos tanques de estocagem ou indicar incorretamente. 3-Não indicar a pressão ou indicar incorretamente. 4-Não indicar a posição das válvulas de controle ou indicar a posição incorreta.
Segurança	1-Bloquear a passagem do ácido.	1-Não bloquear a passagem do ácido.

A próxima análise de funções e falhas funcionais é do sistema de secagem do ar conforme mostrada na lista da tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Funções e falhas funcionais da transferência do ácido

CTMSP PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	SECAGEM DO AR
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Tubulação	1-Conduzir o ar do interior do tanque de contenção e o ar da atmosfera. 2-Isolar termicamente o ar circulante na tubulação fora do tanque de contenção.	1-Não conduzir o ar do interior do tanque de contenção e o ar da atmosfera. 2-Não Isolar termicamente o ar circulante na tubulação fora do tanque de contenção.
Controle	1-Abrir e fechar as válvulas de controle automáticas.	2-Não abrir e fechar as válvulas de controle automáticas.
Secador	1-Exaustão do ar do tanque de contenção e do ar atmosférico 2- Secar o ar da atmosfera e do tanque de contenção.	1-Não promover a exaustão do ar do tanque de contenção e do ar atmosférico 2- Não secar o ar da atmosfera e do tanque de contenção.
Monitoração	1- Indicar, registrar e alarmar a umidade alta e muito alta do ar do interior do tanque de contenção. 2-Indicar, registrar e alarmar o teor de AHF alto e muito alto do ar do interior do tanque de contenção.	1- Não Indicar, registrar e alarmar a umidade alta e muito alta do ar do interior do tanque de contenção. 2- Não indicar, registrar e alarmar o teor de AHF alto e muito alto do ar do interior do tanque de contenção.
Segurança	1-Fechar as válvulas automáticas com comando manual. 2-Fechar as válvulas com sinal de umidade muito alto. 3-Fechar as válvulas com o sinal do analisador muito alto. 4-Liberar a passagem do ar.	1-Não fechar as válvulas automáticas com comando manual. 2-Não fechar as válvulas com sinal de umidade muito alto. 3-Fechar as válvulas com sinal do analisador muito alto. 4-Não liberar a passagem do ar.

A próxima análise de funções e falhas funcionais é do sistema de controle da pressão nos tanques conforme mostrada na lista da tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Funções e falhas funcionais do controle da pressão nos tanques

PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
CTMSP		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	CONTROLE DE PRESSÃO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Tubulação	1-Conduzir os gases para o lavador de gases. 2-Conduzir o ar de instrumento para os tanques de estocagem e/ou contenção. 3- Reduzir a pressão do gás proveniente do tanque de contenção.	1-Apresentar vazamento, não conduzir o AHF para os tanques. 2- Apresentar vazamento, não conduzir o AHF para os tanques. 3-Não restringir a passagem do ar de instrumento.
Controle	1-Reduzir e manter a pressão na linha de ar de instrumento. 2-Controlar a pressão no interior dos tanques de estocagem e de contenção. 3-Bloquear a linha de ventilação dos tanques de estocagem.	1-Não reduzir a pressão na linha de ar de instrumento. 2-Não controlar a pressão no interior dos tanques de estocagem e de contenção. 3-Não bloquear a linha de ventilação dos tanques de estocagem.
Monitoração	1-Indicar a posição da válvula de controle. 2-Indicar a pressão na linha de ar de instrumento e na linha ventilação do tanque de contenção 3-Indicar, registrar e alarmar a pressão alta ou muito alta e Indicar, registrar e alarmar a pressão baixa ou muito baixa nas linhas de ventilação dos tanques.	1-Não indicar a posição da válvula de controle ou indicar incorretamente. 2-Não Indicar a pressão na linha de ar de instrumento e na linha ventilação do tanque de contenção ou indicar incorretamente. 3-Indicar, registrar e alarmar a pressão alta ou muito alta e Indicar, registrar e alarmar a pressão baixa ou muito baixa nas linhas de ventilação dos tanques ou indicar incorretamente.

(continua)

Tabela 4.13 – Funções e falhas funcionais do controle da pressão nos tanques (conclusão)

PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
CTMSP		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	CONTROLE DE PRESSÃO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Segurança	1-Aliviar a pressão da linha de ar de instrumento. 2-Não permitir que haja contra fluxo de gás para a linha de ar de instrumento. 3- Não permitir que haja fluxo de gás proveniente da linha de ventilação dos tanques de estocagem para a linha de ventilação do tanque de contenção. 4-Bloquear a linha de ar de instrumento e as linhas de ventilação dos tanques.	1-Não aliviar a pressão da linha de ar de instrumento. 2-Permitir que haja contra fluxo de gás para a linha de ar de instrumento. 3-Permitir que haja fluxo de gás proveniente da linha de ventilação dos tanques de estocagem para a linha de ventilação do tanque de contenção. 3- Não Bloquear a linha de ar de instrumento e as linhas de ventilação dos tanques.

O último sistema a ser analisado com relação as suas funções e falhas funcionais é do sistema de contenção estrutural dos tanques conforme mostrada na lista da tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Funções e falhas funcionais da contenção estrutural dos tanques

PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
CTMSP		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	CONTENÇÃO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Estrutural	1-Conter o AHF. 2- Conservar a temperatura e conter o vazamento em caso de vazamento dos tanques. 3-Conduzir e conter o AHF. 4-Isolar termicamente a tubulação de AHF fora do tanque de contenção.	1-Apresentar vazamento, não conduzir o AHF para os tanques. 2- Apresentar vazamento, não conduzir o AHF para os tanques. 3-Não restringir a passagem do ar de instrumento.

(continua)

Tabela 4.14 – Funções e falhas funcionais da contenção estrutural dos tanques (conclusão)

CTMSP		
PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS		
USEXA	TANCAGEM DE AHF	CONTENÇÃO
ITEM	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
Monitoração	1-Indicar a pressão no tanque de contenção. 2-Permitir a passagem para o interior dos tanques.	1-Não indicar a posição da válvula de controle ou indicar incorretamente. 2-Não Indicar a pressão na linha de ar de instrumento e na linha ventilação do tanque de contenção ou indicar incorretamente. 3-Indicar, registrar e alarmar a pressão alta ou muito alta e Indicar, registrar e alarmar a pressão baixa ou muito baixa nas linhas de ventilação dos tanques ou indicar incorretamente.
Segurança	1-Bloquear as linhas de inserções do tanque de contenção. 2-Manter a pressão no interior do tanque de contenção	1-Não aliviar a pressão da linha de ar de instrumento. 2-Permitir que haja contra fluxo de gás para a linha de ar de instrumento. 3-Permitir que haja fluxo de gás proveniente da linha de ventilação dos tanques de estocagem para a linha de ventilação do tanque de contenção. 3- Não Bloquear a linha de ar de instrumento e as linhas de ventilação dos tanques.

4.5 PROPOSIÇÃO DO FMEA PARA A C10.49

Nesta etapa na proposição do MCC é apresentada a tabela do FMEA no apêndice A, relativo a todos os subsistemas analisados.

A elaboração do FMEA foi realizada com base nos fluxogramas simplificados de engenharia apresentados anteriormente e depois de realizado a análise da severidade, ocorrência e detecção foi calculado o número de prioridade de risco.

A análise do projeto da tancagem do sistema de tancagem do AHF foi realizada baseada nos fluxogramas apresentados.

A classificação do NPR foi elaborada para cada subsistema conforme mostrada nos gráficos das figuras abaixo.

A figura 4.9 mostra o gráfico da classificação NPR x os itens do processo analisado para o subsistema do carregamento.

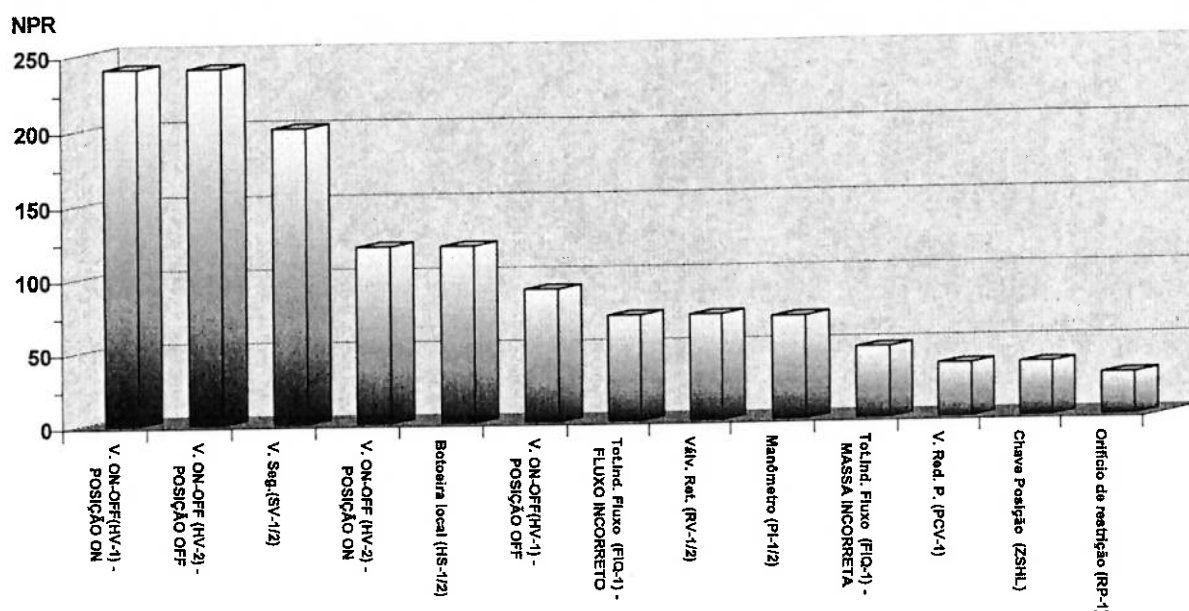


Figura 4.9 – NPR x itens do processo na etapa de carregamento

Como podem ser observados os itens de maior risco são as válvulas ON-OFF (HV-1/2), as válvulas de segurança (SV-1/2) e as botoeiras (HS-1/2).

A classificação de maior risco correspondente a válvula (HV-1) é se houver a falha pode não aliviar a pressão do gás na carreta para o lavador de gás e a (HV-2) se não atuar pode ocorrer o transbordamento do tanque que esteja recebendo o ácido.

As válvulas de segurança (SV-1/2) caso elas falharem pode haver o rompimento das mangueiras da carreta durante a transferência do ácido.

As botoeiras (HS-1/2) se falhar não transfere o ácido por não acionar as válvulas (HV-1/2).

A figura 4.10 mostra o gráfico da classificação NPR x os itens do processo analisado para o subsistema de resfriamento e transferência do ácido para a planta.

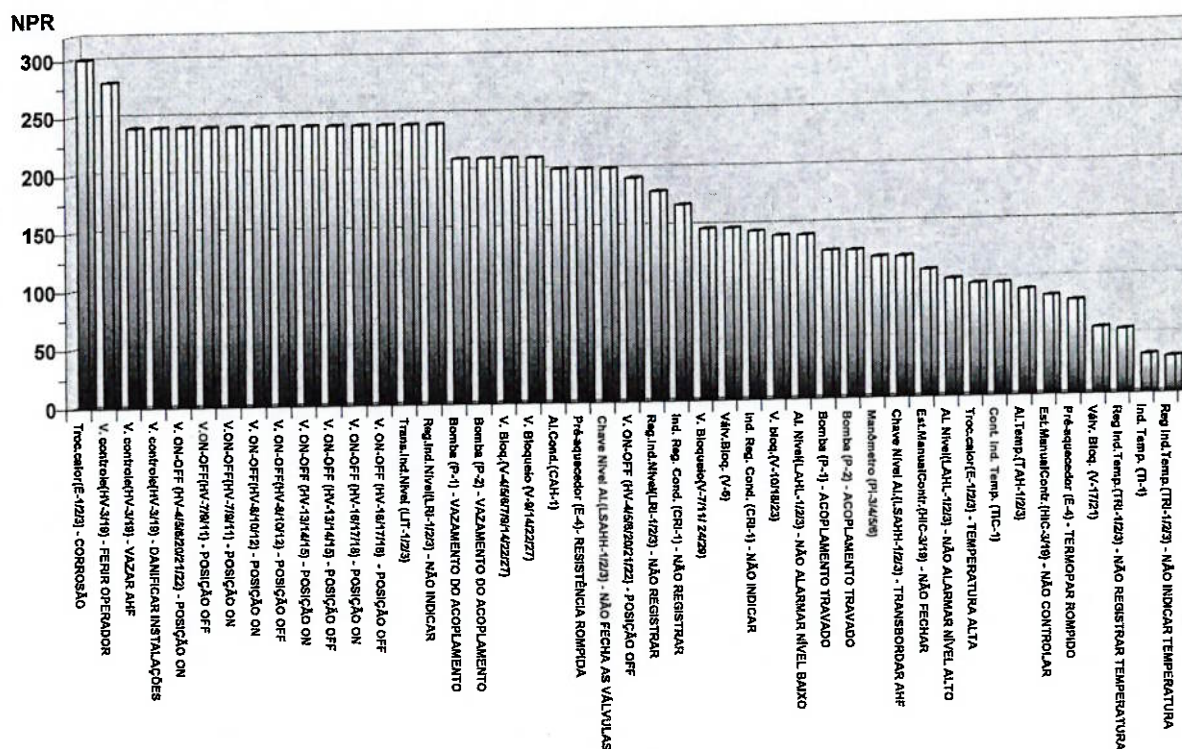


Figura 4.10 – NPR x itens do processo na etapa de resfriamento/transferência

Nesta etapa do processo os trocadores de calor (E-1/2/3) receberam o maior índice devido à função de manter o ácido refrigerado e também devido à possibilidade de haver vazamento do ácido para o meio ambiente e ferir o operador.

As válvulas de bloqueio (V-10/18/23) são utilizadas para drenar o ácido em situações de manutenção da linha e, portanto possa causar ferimentos no operador no serviço de manutenção.

As válvulas de controle são importantes para a operação de resfriamento (HV-3) ou transferência (HV-19) porque todo o ácido que circula nestas etapas necessariamente passa por elas.

As válvulas (HV-7/9/11) receberam classificação RPN 240 pontos devido a sua importância de bloquear o ácido nos seus respectivos tanques para que possa haver a manutenção da linha e ajuste das válvulas.

As demais válvulas HV e os transmissores de temperatura e nível receberam a mesma classificação RPN 240 pontos porque são importantes para a operação destas etapas. Adicionalmente as válvulas receberam a mesma pontuação porque por estarem instaladas no lado externo do tanque de contenção há o risco de haver vazamento do ácido pelo eixo do macho da válvula e causar ferimentos no operador ou causar danos no meio ambiente e nas instalações.

As bombas (P-1/2) em conjunto receberam pontuação de 210 pontos porque na falha não há a circulação do ácido e esta situação é indesejável para manter a temperatura do ácido em -8°C no interior dos tanques ou na transferência do ácido para o consumo.

As válvulas de bloqueio (V-4/5/6/7/9/14/22/27) também receberam pontuação elevada de 210 pontos porque evita que elas têm a função de bloquear da linha os equipamentos que necessitem de manutenção.

A figura 4.11 mostra o gráfico da classificação NPR x os itens do processo analisado para o subsistema de secagem do ar do tanque de contenção T-4.

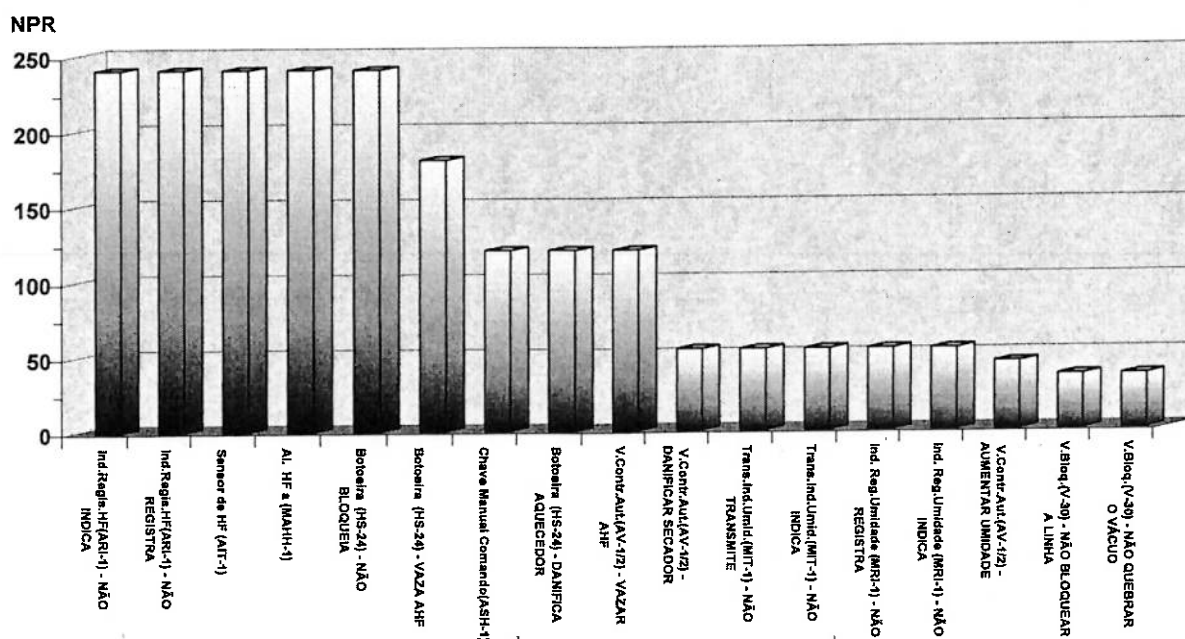


Figura 4.11 – NPR x itens do processo na etapa de secagem do ar

A análise do NPR para esta etapa do processo os instrumentos de detecção, registro, indicação e alarme da presença do AHF no interior do tanque de contenção recebeu pontuação de 240 pontos, a mais elevada para este subsistema, porque a falha na informação destes pode danificar as instalações no interior do tanque.

A chave manual de comando (ASH-1) recebeu pontuação de 120 pontos devido à função de bloquear as válvulas (AV-1/2) no caso de vazamento de AHF no interior do tanque de contenção e assim evitando que o secador de ar seja danificado pelo AHF.

A botoeira (HS-24) e as válvulas de controle automático (AV-1/2) também receberam pontuação de 120 pontos porque estes itens têm a mesma função de bloquear o a linha de circulação do ar no interior do tanque de contenção em caso de haver vazamento do AHF no interior do tanque.

Os itens transmissor de umidade (MIT-1) e registrador e indicador de umidade (MRI-1) receberam a mesma pontuação de 54 pontos porque a função destes itens é através do intertravamento controlar a abertura e fechamento das válvulas AV-1/2 e também o secador, porém as falhas dos itens causam o problema da corrosão interna do tanque de contenção.

A figura 4.12 mostra o gráfico da classificação NPR x os itens do processo analisado para o subsistema de controle de pressão do tanque de contenção T-4 e dos tanques de estocagem T-1/2/3.

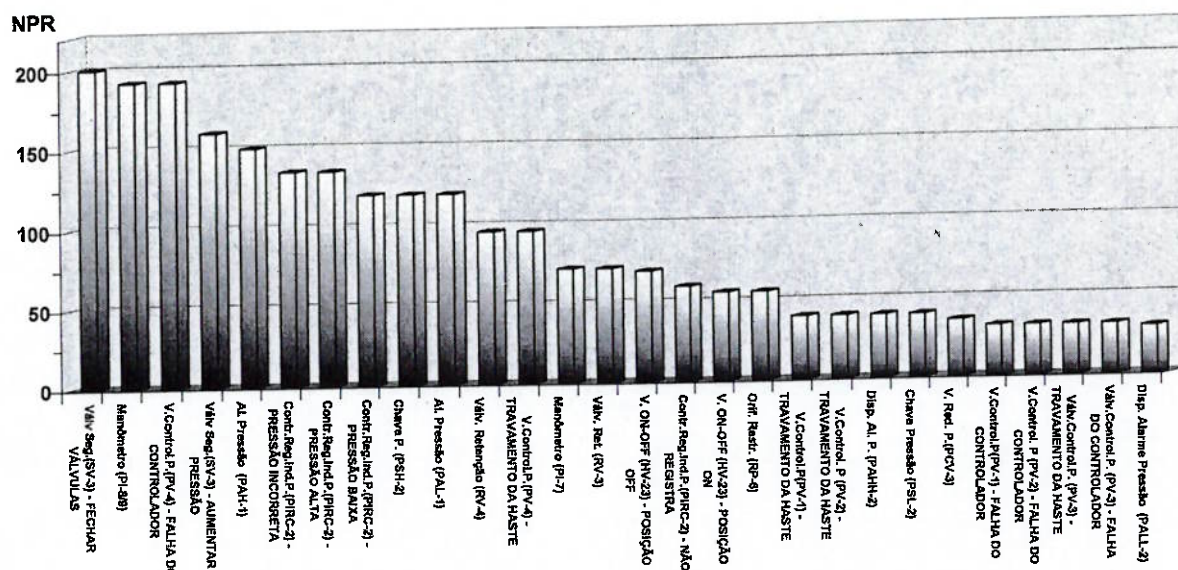


Figura 4.12 – NPR x itens na etapa de controle de pressão dos tanques

O item que recebeu a maior pontuação, 200 pontos, foi à válvula de segurança (SV-3) porque se ela falhar haverá um aumento da pressão no interior dos tanques. O segundo item com maior pontuação foram os manômetros (PI-8/9) porque o operador fica sem referência com relação ao PIRC-1/2.

A terceira maior pontuação foi atribuída à válvula de retenção (RV-4) com 96 pontos cuja função é reter o contra fluxo dos gases provenientes dos tanques de estocagem T-1/2/3 cujas consequências são aumento da pressão no tanque de contenção T-4. A figura 4.13 mostra o último subsistema, contenção, analisado da tancagem de AHF denominada como C10.49 no empreendimento USEXA.

A análise do subsistema de contenção considerou toda a estrutura que contém o AHF considerando o costado dos tanques, as conexões (flanges, estojos e juntas) a mangueira para retirada do AHF da carreta e também o isolante térmico que envolve todas as tubulações incluindo as válvulas de controle e de bloqueio do lado externo do tanque de contenção.

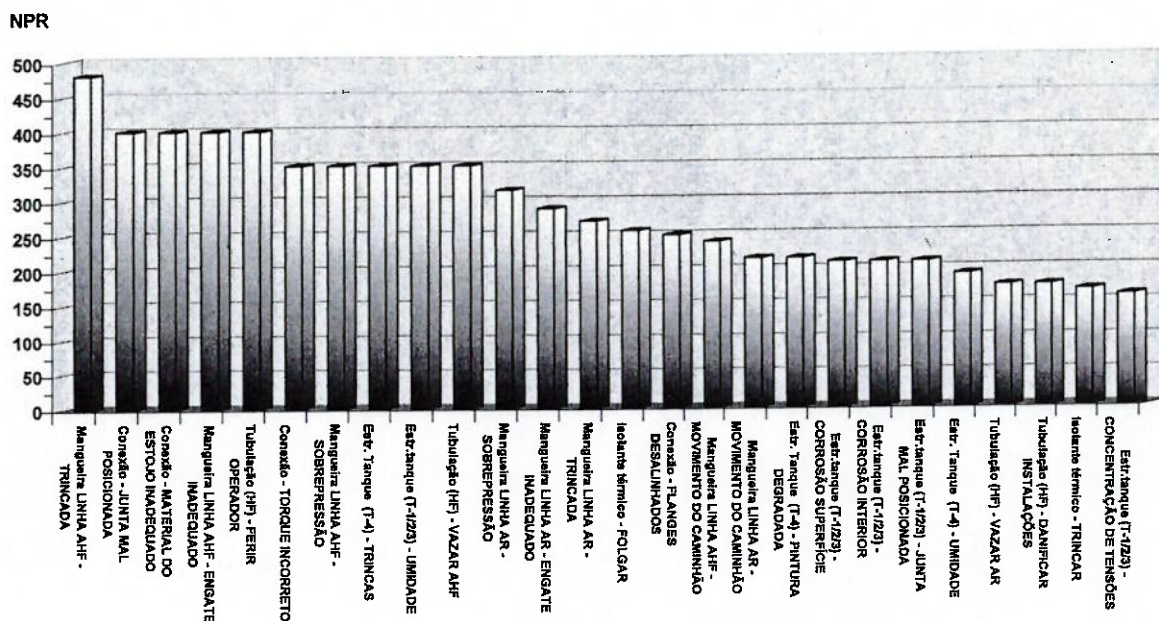


Figura 4.13 – NPR x itens de contenção do AHF

Como pode ser observado o item que obteve a maior pontuação quanto ao risco de vazamento do AHF foi à conexão com 400 pontos em segundo lugar a mangueira com 350 pontos. O terceiro item foi a estrutura do tanque de contenção T-4 por ser a última barreira para o AHF antes de atingir o meio ambiente.

A estrutura dos tanques de estocagem recebeu pontuação 210 abaixo do tanque de contenção porque se houver o vazamento ainda tem o tanque de contenção como última barreira.

A tubulação recebeu pontuação de 200 pontos que apesar de conter o AHF sob pressão há ainda uma segunda barreira que é o isolante térmico quando considerado no lado externo do tanque de contenção e se houver o vazamento pela tubulação no interior do tanque de contenção o próprio tanque de contenção serviria como uma barreira antes de atingir o meio ambiente.

Por último na classificação PRN para o subsistema contenção foi considerado o isolante térmico com 168 pontos.

A figura 4.14 mostra o PRN de todo o sistema considerando valores de PRN acima de 150 pontos.

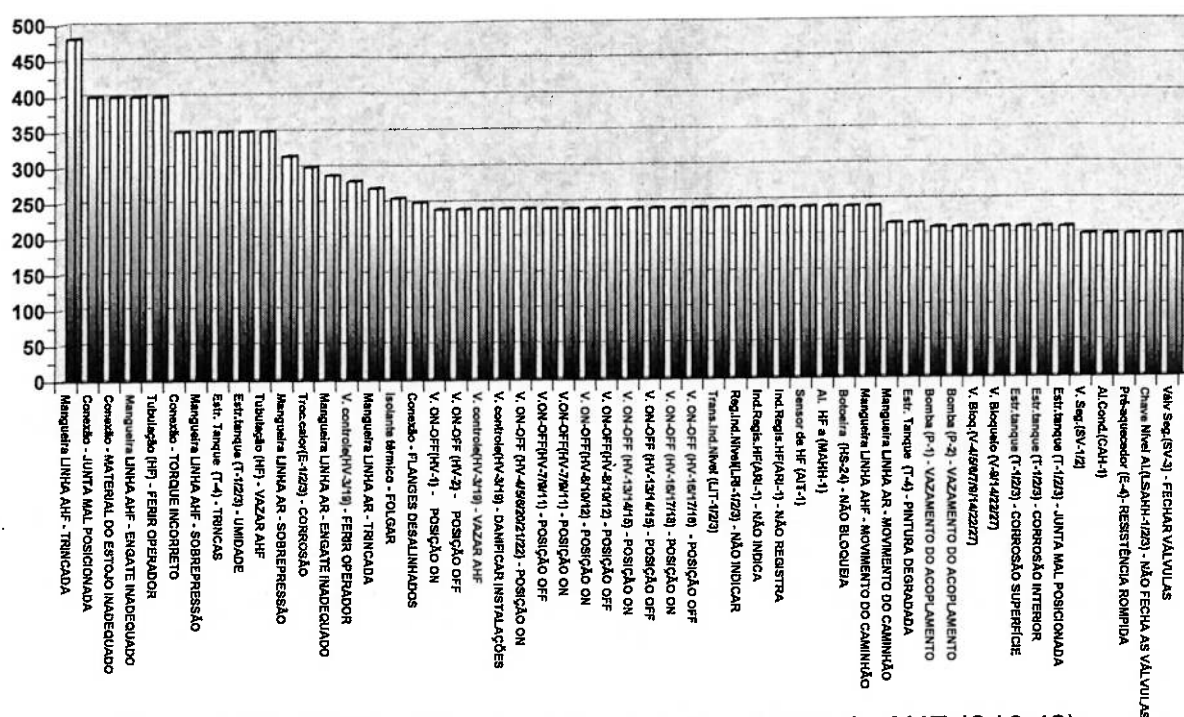


Figura 4.14 – NPR x itens do sistema de tancagem de AHF (C10.49)

Se considerarmos o sistema de tancagem como um todo, os principais itens com maior pontuação quase todos os itens da contenção, transmissor de nível dos tanques, trocador de calor, sensor de AHF, condutivímetro, válvulas de controle ON-OFF, válvulas de bloqueio, bombas, válvulas de segurança, manômetro, sensor de AHF, trocador de calor, registrador e indicador de temperatura e pré-aquecedor.

4.6 DIAGRAMA DE DECISÃO PARA A UNIDADE C10.49

A última etapa de implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade é utilizar o Diagrama de Decisão e baseando-se no resultado da análise, propor as tarefas de manutenção do item.

A seleção dos itens da Unidade de Tancagem Refrigerada de Ácido Fluorídrico Anidro (C10.49) será realizado baseado na avaliação do NRP realizado no capítulo anterior.

- Mangueira: realizar testes de vazamento com pressurização com ar comprimido em bancada na pressão 1,2 vezes a pressão nominal por um período de 30

minutos para sem queda de pressão no manômetro da bancada antes e depois de utilizada no campo.

- Conexões: a) realizar inspeções visuais periódicas nos flanges e conexões da linha, b) re-aperto dos estojos para garantir a estanqueidade entre o flange e a junta em PTFE para reduzir as emissões fugitivas do AHF.
- Transmissor de Nível (LIT-1/2/3): o item possui placa eletrônica com falha aleatória consequentemente a manutenção é corretiva com troca após a falha.
- Trocador de Calor (E-1/2/3): tarefa de monitoramento da temperatura do etileno glicol no indicador de temperatura (TI-1).
- Indicador, Registrador e Alarme de AHF (ARI-1): item de segurança com testes de calibração do instrumento por empresa qualificada com periodicidade conforme garantia do certificado de inspeção.
- Sensor de AHF (AIT-1): item de segurança com testes de calibração do instrumento por empresa qualificada com periodicidade conforme garantia do certificado de inspeção.
- Condutívimetro (CRI-1): o item possui placa eletrônica com falha aleatória consequentemente a manutenção é corretiva com troca após a falha.
- Válvulas de Bloqueio: realizar a tarefa de manutenção preventiva com inspeção visual e re-aperto dos parafusos de ajuste do macho.
- Válvulas de Controle: a) realizar manutenção preditiva com verificação da assinatura da válvula através do atuador, b) inspeção visual se há vazamentos e re-aperto dos parafusos de ajuste do macho, c) o nível de umidade baixa do ar de instrumento para evitar a formação de gelo nos atuadores pneumáticos ou válvulas solenóides.
- Válvulas de Controle (HV-7/9/11): item de segurança sendo que a válvula trava na posição fechada. A operação de manutenção da válvula é uma condição insegura podendo haver vazamento do tanque de AHF durante a operação de manutenção com o agravante de com haver um inventário de toneladas e com pressão de metros de coluna de AHF. Solução: mudança do projeto das linhas de saída dos tanques T-1/2/3 instalando outra linha em paralelo com válvulas de bloqueio para que o tanque possa ser esvaziado antes da operação de manutenção da válvula, conforme desenho da figura 4.15.

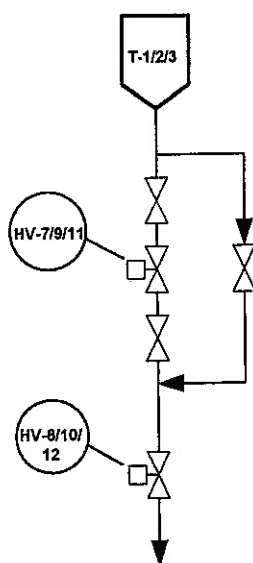


Figura 4.15 – Mudança de projeto da linha de saída dos tanques T-1/2/3

- Estrutura do Tanque T-4: Inspeção visual periódica do interior do tanque, inspeção visual das juntas das escotilhas de acesso ao tanque.
- Bomba (P-1/2): Manutenção preditiva e inspeção visual do item.
- Estrutura do Tanque (T-1/2/3): Item de segurança regulamentado pela NR-13 que estabelece que vasos de pressão que operam abaixo de 0 °C raramente estão sujeitos a deterioração severa. A norma estabelece também inspeção interna periódica com medição da espessura da chapa a cada 2 anos e teste hidrostático a cada 20 anos. A norma NR-13 estabelece também no artigo 13.6.2 a instalação de válvula de segurança apesar de que no projeto da tancagem da C10.49 não contempla a instalação da válvula de segurança.
- Alarme de Condutividade Alta (CAH-1): o item falha aleatoriamente consequentemente a manutenção é corretiva com troca após a falha.
- Válvula de Segurança (SV-1/2/3): Item de segurança com manutenção com inspeção visual e em bancada para determinar as condições internas e desempenho na frequência anual.
- Tubulação: Item de segurança com inspeção visual e análise da espessura por ultrassom a cada 2 anos.
- Manômetro (PI-8/9): Item de segurança com tarefa de inspeção de rotina com substituição no caso da falha.

- Registrador Indicador de Temperatura (TRI-1/2/3): o item possui placa eletrônica com falha aleatória consequentemente a manutenção é corretiva com troca após a falha.
- Registrador Indicador de Nível (LRI-1/2/3): o item possui placa eletrônica com falha aleatória consequentemente a manutenção é corretiva com troca após a falha.
- Pré-aquecedor (E-4): tarefa de monitoramento pelo transmissor indicador de temperatura (TIC-1).
- Isolante Térmico: inspeção visual periódica. O projeto original estabelece que o isolante térmico deva envolver todas as válvulas, instrumentos, flanges e conexões da linha, porém tal situação pode ocasionar a falha oculta no caso de vazamento de AHF. A proposição é que os itens de tubulação que devem ser inspecionados visualmente não devam estar envoltos com o isolante térmico para que se houver vazamento mesmo sendo emissão fugitiva, por exemplo, em flanges possa ser evidenciado pela inspeção visual.

5 CONCLUSÕES

O estudo de caso da proposição da implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade na Unidade de Tancagem Refrigerada de Ácido Fluorídrico Anidro da Unidade de produção de Hexafluoreto de Urânio (USEXA) realizado sobre o projeto da tancagem evidenciou os riscos associados no manuseio do ácido.

A proposição foi baseada na elaboração da planilha do FMEA que relacionou todos os itens apresentados no projeto e que no futuro quando a unidade C10.49 estiver operacional poderá ser um documento de partida para a aplicação do MCC para a manutenção efetiva da planta.

O estudo de caso também evidenciou a necessidade de mudança de projeto nas linhas que saem dos tanques de estocagem com o propósito de aumentar a segurança da operação de manutenção das válvulas que estão instaladas logo abaixo dos tanques.

Outro destaque deste trabalho foi evidenciar a lacuna do projeto quanto ao atendimento da norma NR-13 artigo 13.6.2 que estabelece a instalação de válvulas de segurança para tanques de estocagem fluídos classificado como classe "A" – tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm e o vaso é de categoria III, que é o caso do ácido fluorídrico anidro.

O isolante térmico também deve ter seu projeto modificado para que a falha oculta não ocorra pelo menos nos pontos da tubulação onde a probabilidade de ocorrer a falha seja maior.

O estudo de caso demonstrou também a eficácia da ferramenta análise causas, efeitos, consequências e criticidade das falhas FMEA em mitigar os pontos falhos do projeto e que poderá ser de grande valia na revisão do projeto e na efetiva tarefa de manutenção da planta quando entra em operação.

REFERÊNCIAS

- 1 – The UF₆ Manual. Good Handling for Uranium Hexafluoride, published by USEC A Global Energy Company, USEC-651, Revision 8, January, 1999.
- 2 – Norma NR-13 Caldeiras e Vasos de Pressão obtida pela Rede Internet. Disponível em:
<http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_13.pdf>
Acesso em 11 de maio de 2009.
- 3 – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ obtida pela Rede Internet. Disponível em:
<http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=FLUORETO%20DE%20HIDROGENIO>
Acesso em 11 de maio de 2009.
- 4 – Comissão Para Movimentação de Produtos Especiais – Instituto Brasileiro de Petróleo (MOPE/IBP), manual de ÁCIDO FLUORÍDRICO, Av. Rio Branco, 156:1035, Edifício Avenida Central, Rio de Janeiro, RJ, março de 1978.
- 5 - Pinto, Alan Kardec; Nascif, Xavier, Manutenção: função estratégica, Qualitymark Editora Ltda., Rio de Janeiro, 2001.
- 6 - Rousand, Marvin, Reliability centered maintenance, Reliability Engineering and System Safety, 60 (1998) 121 -132.
- 7 – Souza, Gilberto F. M., apostila OK-001 Manutenção para a Excelência da Manufatura, do Programa de Educação Continuada Poli/USP, outubro/dezembro 2007.
- 8 - Tavares, Lorival Augusto, Administração Moderna da Administração, Novo Pólo Publicações e Assessoria Ltda., Rio de Janeiro, 1999.
- 9 - Siqueira, Iony Patriota de, Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação, Qualitymark Editora Ltda., Rio de Janeiro, 2005.
- 10 - Wilmeth, Randall G.; Usrey, Michael W., Reliability-centered maintenance: A case study. Engineering Management Journal; Dec 2000; 12, 4; ABI/INFORM Global pg. 25.

11 - Fox, Barry H.; Snyder, Melvin G.; Smith, Anthony M., Reliability-centered maintenance improves operations at TMI nuclear plant, Power Engineering; Nov 1994; 98, 11; ABI/INFORM Global, pg. 75.

12 - Zaions, Douglas R., Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel, Dissertação de Mestrado para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Obtida pela Rede Internet. Disponível em:
<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Douglas_R_Zaions.pdf.>
Acesso em 20 de novembro de 2007.

13 – NUREG 0492, Fault Tree Handbook, U. S. Nuclear Regulatory Commission, date published: January 1981. Obtido pela Rede Internet. Disponível em:
<<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0492/sr0492.pdf>.>
Acesso em 22 de novembro de 2007.

14 – Design for Reliability, Electronics Handbook Series, CRC Press, New York, 2001.

APÊNDICE A – FMEA do Sistema de Tancagem de AHF

Subsistema: Carregamento dos tanques de estocagem T-1/2/3

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF			Equipe		Pág.: 01/23		
		Subsistema: Carregamento dos tanques de estocagem T-1/2/3.			USEXA		Rev.: 0		
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
1	Orifício de restrição (RP-1)	Restringir a vazão da linha de pressurização da carreta para o lavador de gás	Obstruir a vazão	Entupimento	Não aliviar a pressão de gases da carreta para o lavador de gás	2	2	7	28
2	Válvula redutora de pressão (PCV-1)	Controlar a pressão do ar de instrumento no limite de 3,0 bar.	Não reduzir a pressão do ar de instrumento.	Ruptura ou fadiga do diafragma	Atua a válvula de segurança SV-1	4	3	3	36
3	Válvula ON-OFF (HV-1)	Aliviar a pressão da carreta para o lavador de gás caso esteja acima de 1,5 bar	Válvula trava na posição OFF	Atuador travado	Não transfere o AHF	10	3	3	90
		Despressurizar a linha de ar de instrumento para a carreta caso o nível de AHF no tanque esteja muito alto	Válvula trava na posição ON	Atuador travado	Nível no tanque de estocagem acima do muito alto	10	6	4	240
4	Válvula ON-OFF (HV-2)	Liberar o carregamento do AHF para os tanques	Válvula trava na posição OFF	Atuador travado	Não transfere o AHF	10	6	4	240
		Bloquear o carregamento dos tanques com AHF no caso nível muito alto LSAHH-1/2/3	Válvula trava na posição ON	Atuador travado	Nível no tanque de estocagem acima do muito alto	5	6	4	120

Subsistema: Carregamento dos tanques de estocagem T-1/2/3

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Efeitos da falha		Equipe		Pág.: 02/23	
		Subsistema: Carregamento dos tanques de estocagem T-1/2/3.				USEXA			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
5	Chave de posição de alto ou baixo (ZSHL)	Enviar o sinal elétrico relativo à posição da válvula ON-OFF.	Falha na chave	Contato elétrico	O dispositivo de indicação no painel ZLHL fica sem sinal	6	2	3	36
6	Dispositivo de indicação de posição (ZLHL)	Indicar no painel a posição aberta da válvula ON-OFF	Não indica a posição da válvula no painel	Não recebe o sinal da chave de posição (ZSHL)	Operador sem referência de qual posição está a válvula na sala de controle	5	1	1	5
7	Botoeira local (HS-1/2)	Abrir ou fechar a válvula HV-1/2	Não abrir ou fechar o contato elétrico	Defeito na chave	Não transfere o AHF	10	4	3	120
8	Manômetro (PI-1/2)	Indicar a pressão nas linhas de ar de instrumento	Não indicar a pressão	Falha no instrumento	Ajuste incorreto da pressão da linha pela PCV-1	10	7	1	70
9	Totalizador e indicador de fluxo (FIQ-1)	Indicar o fluxo de AHF	Indicar o fluxo incorreto	Instrumento em falha	Operação de transferência sem controle da vazão	6	4	3	72
		Totalizar a massa do AHF transferido da carreta para o tanque de estocagem	Totalizar a massa incorreta.	Instrumento em falha	Não contabilizar a massa de AHF recebida corretamente.	6	4	2	48
10	Válvula de segurança (SV-1/2)	Aliviar a sobre pressão da linha de pressurização da carreta com ar de instrumento caso PCV-1 em falha	Não aliviar a pressão da linha de instrumento na pressão de 4 bar	Engripamento da haste e do obturador.	Vazar o AHF pela mangueira	10	5	4	200

continuação

Subsistema: Carregamento dos tanques de estocagem T-1/2/3 (conclusão)

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF				Equipe		Pág.: 03/23	
		Subsistema: Carregamento dos tanques de estocagem T-1/2/3.				USEXA		Rev.: 0	
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
11	Válvula de retenção (RV-1/2)	Reter o contra fluxo nas linhas de ar de instrumento	Não reter o contra fluxo nas linhas de ar de instrumento	Resíduos sólidos depositados na esfera e sede da válvula	Danificar os instrumentos da linha de ar de instrumento	6	6	2	72
12	Válvula de bloqueio (V-1)	Liberar o fluxo de ar de instrumento para a mangueira	Vazar ar de instrumento pelo eixo	Desgaste entre o macho e o corpo da válvula	Retorno de AHF para a linha de ar de instrumento	8	2	1	16
				Folga entre o eixo do macho e a gaxeta.	Queda de pressão da linha de ar de instrumento	8	2	1	16
					Não transfere o AHF	9	2	1	18
13	Válvula de bloqueio (V-2)	Fechar a linha de AHF para os tanques após a carregamento	Válvula trava na posição aberta	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Não isola a linha de AHF após o carregamento do tanque de estocagem	4	2	1	8
14	Válvula de bloqueio (V-3)	Isolar a linha de ar de instrumento durante o carregamento do AHF para o tanque de estocagem	Válvula trava na posição aberta	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Retorno de AHF para a linha de ar de instrumento	4	2	1	8

continuação

Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009						
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF			Equipe USEXA		Pág.: 04/23						
		Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF											
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)				
1	Orifício de restrição (RP-2/3/4/5)	Restringir a vazão da linha de circulação do AHF	Obstruir a vazão do AHF	Entupimento	Aumento da pressão na linha de AHF	8	1	3	24				
					Cavitação das bombas					8	1	3	24
2	Válvula de controle (HV-3/19)	Controlar o fluxo do AHF para o trocador de calor E-1/4	A válvula não controlar o fluxo de AHF	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Ferir o operador	10	7	4	280				
					Vazar o AHF para o meio ambiente					10	6	4	240
					Causar danos nas instalações					10	6	4	240
3	Estação manual de controle (HIC-3/19)	Controlar a abertura válvula HV-3/19	Não controlar a abertura da válvula de controle HV-3/19	Alimentação elétrica	Aumento da pressão na linha de circulação do AHF	7	4	3	84				
		Fechar a válvula HV-3/19 com os alarmes ISAL-1/2 ou XSAH-1/2 atuados	Não fechar a válvula com os alarmes ISAL-1/2 ou XSAH-1/2 atuados	Alimentação elétrica	Danificar o sistema bomba + motor					9	4	3	108
4	Válvula ON-OFF (HV-4/5/6/20/21/22)	Liberar o fluxo do AHF para os tanques T-1/2/3	Válvula travar na posição OFF	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Interrompe a circulação do AHF	8	6	4	192				
		Bloquear o fluxo do AHF para os tanques T-1/2/3	Válvula travar na posição ON	Atuador em falha	Aumento excessivo do nível no tanque de estocagem					10	6	4	240

continuação

Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF			Equipe USEXA		Pág.: 05/23		
		Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF					Rev.: 0		
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
5	Botoeira remota (HS-8/10/12)	Bloquear o fluxo do AHF do tanque de estocagem em situação de emergência	Não fechar o contato elétrico	Defeito na chave	Acionar as botoeiras (HS-7/9/11)	6	4	1	24
6	Válvula ON-OFF (HV-7/9/11)	Liberar o fluxo do AHF dos tanques T-1/2/3	A válvula travar na posição OFF	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Não isola o tanque em situação de emergência	10	6	4	240
		Bloquear o fluxo do AHF dos tanques T-1/2/3	A válvula travar na posição ON	Atuador em falha	Não libera o tanque em situação de emergência	10	6	4	240
7	Válvula ON-OFF (HV-8/10/12)	Liberar o fluxo de AHF para a HV-14/15/16/17/18	A válvula travar na posição OFF	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Interrompe a saída do AHF do tanque.	10	6	4	240
		Bloquear o fluxo de AHF para a HV-14/15/16/17/18	A válvula travar na posição ON	Atuador em falha	Vazamento de AHF	10	6	4	240
8	Válvula ON-OFF (HV-13/14/15)	Liberar o fluxo de AHF para a bomba P-1	A válvula travar na posição OFF	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Danificar a bomba P-1	10	6	4	240
		Bloquear o fluxo do AHF para a bomba P-1	A válvula travar na posição ON	Atuador em falha	Vazamento de AHF	10	6	4	240
9	Válvula ON-OFF (HV-16/17/18)	Liberar o fluxo de AHF para a bomba P-2	A válvula travar na posição OFF	Inchamento do PTFE devido ao AHF	Danificar a bomba P-2	10	6	4	240
		Bloquear o fluxo do AHF para a bomba P-2	A válvula travar na posição ON	Atuador em falha	Vazamento de AHF	10	6	4	240

continuação

Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 06/23			
		Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF		USEXA		Rev.: 0			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Prioridade de Risco (NPR)
10	Registrador e indicador de temperatura (TRI-1/2/3)	Registrar a temperatura nos tanques de estocagem T-1/2/3	Não registrar a temperatura nos tanques de estocagem T-1/2/3	Falha no circuito elétrico do instrumento	A operação fica sem os registros de temperatura dos tanques	6	3	3	54
		Indicar a temperatura nos tanques de estocagem T-1/2/3	Não indicar a temperatura nos tanques de estocagem T-1/2/3	Falha no circuito elétrico do instrumento	A operação fica sem indicação da temperatura do AHF nos tanques de estocagem	5	3	2	30
11	Alarme de temperatura alta TAH-1/2/3	Alarmar no painel de controle a temperatura alta do HF nos tanques T-1/2/3	Não alarmar	Falha nas conexões elétricas	Não alertar no painel de controle a temperatura do AHF no tanque acima de 19 °C	10	3	3	90
12	Indicador e registrador da condutividade (CRI-1)	Indicar a condutividade elétrica no AHF	Não indicar a condutividade elétrica no AHF	Falha no circuito elétrico do instrumento	Não envia o sinal de alerta para o painel de controle com umidade no AHF acima de 0,2 %	8	3	6	144
		Registrar a condutividade elétrica no AHF	Não registrar a condutividade elétrica no AHF	Falha no circuito elétrico do instrumento	A operação fica sem os registros históricos do teor de umidade no HFA	8	3	7	168
13	Alarme de condutividade alta CAH-1	Alarmar no painel de controle a condutividade alta no AHF	Não alarmar	Falha no instrumento	Danificar as instalações devido à corrosão	8	5	5	200
14	Transmissor e indicador de nível (LIT-1/2/3)	Transmitir o sinal de nível do AHF no tanque de estocagem para o registrador e indicador do painel de controle	Não transmitir o sinal de nível	Falha no instrumento	Não transmite o sinal de nível para o LRI-1/2/3	10	6	4	240

continuação

Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 07/23		Rev.: 0	
		Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF		USEXA					
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
15	Indicador e registrador de nível (LRI-1/2/3)	Indicar no painel de controle o nível do AHF nos tanques	Não indicar no painel de controle o nível do AHF nos tanques	Falha no circuito elétrico do instrumento	Não envia o sinal o painel de controle o nível	10	6	4	240
		Registrar no painel de controle o nível do AHF nos tanques	Não registrar no painel de controle o nível do AHF nos tanques	Falha no circuito elétrico do instrumento	A operação fica sem os registros históricos do nível do HFA nos tanques de estocagem	10	6	3	180
16	Alarme de nível alto e baixo (LAHL-1/2/3)	Alarmar no painel de controle o nível alto do AHF nos tanques de estocagem	Não alarmar no painel de controle o nível alto do AHF nos tanques de estocagem	Conexão elétrica (bornes e contatos)	Transbordar o AHF pela linha de ventilação do tanque de estocagem	10	2	5	100
		Alarmar no painel de controle o nível baixo do AHF nos tanques de estocagem	Não alarmar no painel de controle o nível baixo do AHF nos tanques de estocagem	Conexão elétrica (bornes e contatos)	Cavitação das bombas	10	2	7	140
17	Manômetro (PI-3/4/5/6)	Indicar a pressão do AHF	Não indicar a pressão do AHF	Deformação mecânica do selo hidráulico	Danificar as bombas	10	4	3	120
18	Bomba (P-1)	Bombear o AHF para os tanques de estocagem	Não bombear o AHF para os tanques de estocagem	Acoplamento travado	Queimar o motor	6	7	3	126
				Vazamento do acoplamento da bomba	Ferir o operador	10	7	3	210
19	Bomba (P-2)	Bombear o AHF para o consumo	Não bombear o AHF para o consumo	Acoplamento travado	Queimar o motor	6	7	3	126
				Vazamento do acoplamento da bomba	Ferir o operador	10	7	3	210

continuação

Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)							Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe					Pág.: 08/23	
		Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF					USEXA			Rev.: 0
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)	
20	Trocador de calor (E-1/2/3)	Resfriar o AHF	Temperatura do AHF acima de - 8 °C	Temperatura do líquido refrigerante acima do especificado	Aumentar a pressão do AHF nos tanques de estocagem	8	4	3	96	
				Corrosão nos tubos	Vazamento do AHF	10	6	5	300	
21	Pré-aquecedor (E-4)	Aquecer o AHF	Não aquecer o AHF na temperatura especificada	Resistência elétrica rompida	Parar a transferência do AHF para o consumo	10	5	4	200	
				Termopar rompido	Falha no controlador e indicador de temperatura TIC-1	10	4	2	80	
22	Indicador de temperatura (TI-1)	Indicar a temperatura do líquido refrigerante a jusante do E-1	Não indicar a temperatura correta do líquido refrigerante	Instrumento não calibrado	Temperatura do AHF acima de - 8 °C	8	4	1	32	
23	Controlador e Indicador de temperatura (TIC-1)	Controlar e indicar a temperatura do pré-aquecedor E-4	Não controlar e indicar a temperatura do pré-aquecedor E-4	Falha no circuito elétrico do instrumento	Transferência do AHF para o consumo na temperatura fora do especificado	8	6	2	96	
24	Chave de nível e alarme muito alto (LSAHH-1/2/3)	Alarmar o nível muito alto dos tanques de estocagem T-1/2/3	Não alarmar o nível muito alto dos tanques de estocagem T-1/2/3	Conexão elétrica (bornes e contatos).	Não fecha as válvulas HV-1/2 intertravadas no carregamento dos tanques T-1/2/3	10	4	5	200	
					Transbordar o AHF pela linha de ventilação do tanque de estocagem	10	4	3	120	

continuação

Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF (conclusão)

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe			Pág.: 09/23		
		Subsistema: Resfriamento/Transferência do AHF			USEXA		Rev.: 0		
N°	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	N° Prioridade de Risco (NPR)
25	Válvula de bloqueio (V-4/5)	Bloquear o fluxo de AHF pelo trocador de calor E-1	Não bloquear o fluxo de AHF pelo trocador E-1	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Vazamento de AHF na operação de manutenção do trocador de calor E-1	10	7	3	210
26	Válvula de bloqueio (V-6)	Bloquear o fluxo do AHF pela linha de desvio do trocador de calor E-1	Bloquear o fluxo do AHF pela linha de desvio do trocador de calor E-1	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Diminuição da eficiência do sistema de resfriamento do AHF	7	7	3	147
27	Válvula de bloqueio (V-9/14/22/27)	Bloquear o fluxo do AHF pelas bombas (P-1/2)	Não bloquear o fluxo do AHF pelas bombas (P-1/2)	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Vazamento de AHF na operação de manutenção das bombas	10	7	3	210
28	Válvula de bloqueio (V-7/11/ 24/29)	Isolar os manômetros da linha de AHF	Não isolar os manômetros da linha de AHF	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Vazamento de AHF na operação de manutenção dos manômetros	7	7	3	147
29	Válvula de bloqueio (V-10/18/23)	Bloquear as linhas de dreno do AHF	Não bloquear as linhas de dreno do AHF	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Perda de AHF para o lavador de gás	4	7	5	140
30	Válvula de bloqueio (V-17/21)	Isolar linha de ar de instrumento com a linha de AHF	Não isolar linha de ar de instrumento com a linha de AHF	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Danificar os instrumentos da linha de ar de instrumento	8	7	1	56
31	Válvula de restrição (V-8/28)	Restringir o fluxo de AHF na linha de circulação do AHF	Não restringir o fluxo de AHF na linha de circulação do AHF	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Perda de eficiência no resfriamento do AHF	6	2	1	12
32	Válvula de bloqueio (12/13/15/16/25/26)	Bloquear o fluxo do líquido refrigerante	Não bloquear o fluxo do líquido refrigerante	Desgaste entre o macho e corpo da válvula	Vazar o líquido refrigerante para o meio ambiente durante a manutenção do trocador de calor de HF	4	2	1	8

continuação

Subsistema: Secagem do ar

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 10/23			
		Subsistema: Secagem do ar		USEXA		Rev.: 0			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
1	Válvula de controle automática (AV-1/2)	Liberar a passagem do ar do tanque de contenção quando a umidade relativa estiver acima de 0,05 %	Não liberar a passagem do ar do tanque de contenção quando a umidade relativa estiver acima de 0,05 %	Atuador travado	Danificar o secador de ar	6	3	3	54
		Bloquear a passagem do ar quando a umidade relativa estiver abaixo de 0,05 %	Não bloquear a passagem do ar quando a umidade relativa estiver abaixo de 0,05 %	Atuador travado	Aumentar a umidade relativa do ar no interior do tanque de contenção	5	3	3	45
		Bloquear a passagem do tanque de estocagem quando o sensor de HF indicar um teor de acima de 3 PPM	Não bloquear a passagem do tanque de estocagem quando o sensor de HF indicar um teor de acima de 3 PPM	Atuador travado	Vazar HF para o meio ambiente	10	4	3	120
2	Transmissor e indicador de umidade (MIT-1)	Transmitir o sinal elétrico do sensor de umidade para indicador e registrador de umidade do painel	Não transmitir o sinal elétrico	Falha do circuito elétrico do instrumento	Não envia o sinal para o indicador e registrador de umidade MRI-1	6	3	3	54
		Indicar no painel a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	Não indicar no painel a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	Falha do circuito elétrico do instrumento	O operador fica sem a informação local do teor de umidade relativa do tanque de contenção T-4	6	3	3	54

continuação

Subsistema: Secagem do ar

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe				Pág.: 11/23	
		Subsistema: Secagem do ar		USEXA				Rev.: 0	
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
3	Indicador e registrador de umidade (MRI-1)	Indicar no painel a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	Não indicar no painel a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	Falha do circuito elétrico do instrumento	O operador fica sem a informação no painel do teor de umidade relativa do tanque de contenção T-4	6	3	3	54
		Registrar no painel a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	Não registrar no painel a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	Falha do circuito elétrico do instrumento	O operador fica sem registro no painel de controle da umidade do tanque de contenção T-4	6	3	3	54
4	Chave manual de comando (MHS-1)	Ligar manualmente o secador de umidade	Não ligar manualmente o secador de umidade	Falha de conexão nos bornes	Não reduz a umidade relativa do ar do tanque de contenção T-4	4	2	1	8
5	Chave de intertravamento de alta e baixa de umidade (MSHL-1)	Enviar o sinal de intertravamento de umidade alta	Não enviar o sinal de intertravamento de umidade alta	Falha dos contatos do rele	Não regenera a sílica gel do secador A-2	4	2	1	8
		Enviar o sinal de intertravamento de umidade baixa	Não enviar o sinal de intertravamento de umidade baixa	Falha dos contatos do rele	Degrada termicamente a sílica do secador A-2	4	2	1	8
6	Alarme de umidade muito alta (MAHH-1)	Alarmar no painel de controle a umidade muito alta do tanque de contenção	Não alarmar a umidade muito alta	Falha de conexão nos bornes	Não evidência o secador A-1/2 em falha	5	3	2	30
				Falha de conexão nos bornes	Corrosão no exterior dos tanques de estocagem	5	2	1	10
				Falha de conexão nos bornes	Corrosão no interior do tanque de contenção	4	2	1	8

continuação

Subsistema: Secagem do ar

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 12/23			
		Subsistema: Secagem do ar		USEXA		Rev.: 0			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
7	Sensor de HF (AIT-1)	Transmitir o sinal do sensor de HF para indicador e registrador de HF do painel	Não transmitir o sinal elétrico relativo ao teor de HF	Falha do circuito elétrico do instrumento	Não é emitido o sinal para o indicador e registrador do teor de HF ARI-1	10	6	4	240
8	Indicador e registrador do teor de HF (ARI-1)	Indicar no painel o teor de HF no tanque de contenção T-4	Não indicar no painel o teor de HF no tanque de contenção T-4	Falha do circuito elétrico do instrumento	A atmosfera interna do tanque T-4 pode estar contaminada com HF sem que o operador esteja ciente	10	6	4	240
9	Chave manual de comando (ASH-1)	Enviar o sinal de intertravamento de alto teor de HF fecha as válvulas AV-1/2	Não registrar no painel o teor de HF no tanque de contenção T-4	Falha do circuito elétrico do instrumento	A operação não registra o histórico do teor de AHF no interior do tanque de contenção	10	6	4	240
10	Alarme de teor de HF muito alta (MAHH-1)	Alarmar no painel de controle o teor muito alto de HF do tanque de contenção	Não fechar o contato elétrico.	Falha do circuito elétrico do instrumento	Não fecha automaticamente as válvulas de controle AV-1/2	10	4	3	120
			Não alarmar o teor muito alto	Falha dos contatos do rele	O operador não fecha pela HS-24 as válvulas AV-1/2	10	6	4	240

continuação

Subsistema: Secagem do ar (conclusão)

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe				Pág.: 13/23	
		Subsistema: Secagem do ar		USEXA				Rev.: 0	
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
11	Botoeira (HS-24)	Enviar o sinal de intertravamento para fechar as válvulas AV-1/2	Não enviar o sinal de intertravamento para fechar as válvulas AV-1/2	1- Ruptura ou fadiga da mola	Não bloqueia o ar do tanque de contenção em situação de emergência	10	6	4	240
		Enviar o sinal de intertravamento para desligar os motores M-3/4/5	Não enviar o sinal de intertravamento para desligar os motores M-3/4/5	Quebra da haste	Vaza AHF para o meio ambiente	10	6	3	180
		Enviar o sinal de desligar o aquecedor A-1	Não enviar o sinal de desligar o aquecedor A-1	Corrosão no contato elétrico	Danifica o aquecedor A-1	10	4	3	120
12	Válvula de bloqueio (V-30)	Bloquear a linha de secagem do ar com o ar da atmosfera	Não bloquear a linha de secagem do ar com o ar da atmosfera	Desgaste entre o macho e o corpo da válvula	Contaminar o meio ambiente com AHF	6	2	3	36
		Quebrar o vácuo no tanque de contenção manualmente	Não quebrar o vácuo no tanque de contenção manualmente	Válvula travada na posição fechada	Retorno de umidade pela linha do selo hidráulico	6	2	3	36

continuação

Subsistema: Controle de pressão dos tanques

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe				Pág.: 14/23	
		Subsistema: Controle de pressão dos tanques		USEXA				Rev.: 0	
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
1	Orifício de restrição (RP-6)	Restringir a vazão dos gases provenientes da linha de ventilação do tanque de contenção T-4	Obstruir a vazão	Deposição de resíduos no orifício	Aumentar a pressão na linha de ventilação do tanque de contenção T-4	4	2	7	56
2	Válvula redutora de pressão (PCV-3)	Reduzir e a pressão do ar de instrumento para 1 bar	Não reduzir a pressão do ar de instrumento	Embolo emperrado	Atuar a válvula de segurança SV-1	4	3	3	36
3	Válvula de segurança SV-3	Aliviar a sobre pressão da linha de pressurização de ar de instrumento para 1 bar	Não aliviar a pressão da linha de instrumento para pressão de 1 bar	Travamento da haste e obturador	Aumentar a pressão nos tanques	8	5	4	160
4	Válvula controladora de pressão (PV-1)	Aliviar a pressão alta do tanque de contenção T-4 para o lavador de gás	Não aliviar a pressão alta do tanque de contenção T-4 para o lavador de gás	Travamento da haste da válvula	Abrir a válvula de bloqueio V-32	10	4	1	40
				Falha do controlador registrador de pressão PIRC-1	A sobre pressão é aliviada a 150 mm CA pelo selo hidráulico T-5	8	4	1	32
5	Válvula controladora de pressão (PV-2)	Aliviar a pressão alta dos tanques de estocagem T-1/2/3 para o lavador de gás	Não aliviar a pressão alta dos tanques de contenção T-1/2/3 para o lavador de gás	Travamento da haste da válvula	Acionar a válvula de controle HV-23 para alívio da pressão dos tanques para o lavador de gases	10	4	1	40
				Falha do controlador registrador de pressão PIRC-2	Acionar a válvula de controle HV-23 para alívio da pressão dos tanques para o lavador de gases	8	4	1	32

continuação

Subsistema: Controle de pressão dos tanques

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 15/23			
		Subsistema: Controle de pressão dos tanques		USEXA		Rev.: 0			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
6	Válvula controladora de pressão (PV-3)	Quebrar o vácuo no interior do tanque de contenção T-4 via ar de instrumento	Não quebrar o vácuo no interior do tanque T-4 via ar de instrumento	Travamento da haste da válvula	Quebrar o vácuo pela PCV-2 da linha de ar de instrumento pelo dreno do tanque	8	4	1	32
				Falha do controlador registrador de pressão PIRC-1	Quebrar o vácuo pela PCV-2 da linha de ar de instrumento pelo dreno do tanque	8	4	1	32
7	Válvula controladora de pressão (PV-4)	Quebrar o vácuo no interior dos tanques de estocagem T-1/2/3 via ar de instrumento	Não quebrar o vácuo no interior dos tanques T-1/2/3 via ar de instrumento	Travamento da haste da válvula	Acionar a válvula de controle HV-1 para quebra o vácuo dos tanques	8	4	3	96
				Falha do controlador registrador de pressão PIRC-2	Se a falha ocorrer durante transferência do AHF para consumo parar o bombeamento	8	6	4	192
8	Válvula ON-OFF (HV-23)	Aliviar pressão alta dos tanques de estocagem T-1/2/3 para o lavador de gás	Travar na posição fechada	Travamento do eixo da válvula	Aliviar a pressão pela PV-2	10	7	1	70
		Bloquear a linha para quebrar o vácuo dos tanques de estocagem	Travar na posição aberta	Travamento do eixo da válvula	Bloquear a linha pela válvula V-41	8	7	1	56

continuação

Subsistema: Controle de pressão dos tanques

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe USEXA				Pág.: 16/23	
		Subsistema: Controle de pressão dos tanques						Rev.: 0	
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
9	Controlador, registrador, indicador de pressão (PIRC-1)	Controlar a pressão no tanque de contenção T-4 atuando nas válvulas PV-1/3	Não controlar a pressão no tanque de contenção T-4 atuando nas válvulas PV-1/3	Falha no circuito elétrico do instrumento	Pressão no tanque de contenção fora dos limites de -12 a 15 mbar	7	4	1	28
		Registrar a pressão do tanque de contenção T-4	Não registrar a pressão do tanque de contenção T-4	Falha no circuito elétrico do instrumento	Não registra o histórico da pressão no tanque de contenção T-4	5	4	1	20
		Indicar no painel a pressão do tanque de contenção T-4	Não indicar no painel a pressão do tanque de contenção T-4	Falha no circuito elétrico do instrumento	Não envia o sinal de pressão alta PAH-1	7	4	1	28
10	Alarme de pressão alta (PAH-1)	Alarmar no painel de controle a pressão alta acima de 12 mbar no tanque de contenção T-4.	Não alarmar a pressão alta	PIRC-1 em falha	Aliviar a pressão pelo selo hidráulico T-5	10	3	5	150
11	Alarme de pressão baixa (PAL-1)	Alarmar no painel de controle a pressão baixa inferior a -10 mbar no tanque de contenção T-4.	Não alarmar a pressão baixa	PIRC-1 em falha	O intertravamento não abre a válvula do ar de instrumento PV-3 para o tanque T-4	10	3	4	120

continuação

Subsistema: Controle de pressão dos tanques

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		USEXA		Pág.: 17/23	
		Subsistema: Controle de pressão dos tanques						Rev.: 0	
		Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência
12	Controlador, registrador, indicador de pressão (PIRC-2)	Controlar a pressão nos tanques de estocagem T-1/2/3 atuando nas válvulas PV-1/3	Não controlar pelas válvulas PV-2 e PV-4 a pressão nos tanques de estocagem T-1/2/3	Falha no circuito elétrico do instrumento	Pressão nos tanques de estocagem fora dos limites de -30 a 30 mbar	9	5	3	135
		Registrar a pressão dos tanques de estocagem T-1/2/3	Não registra no painel a pressão nos tanques de estocagem T-1/2/3	Falha no circuito elétrico do instrumento	Não registra o histórico da pressão nos tanques de estocagem T-1/2/3	6	5	2	60
		Indicar no painel a pressão dos tanques de estocagem T-1/2/3	Não indicar no painel a pressão nos tanques de estocagem T-1/2/3	Falha no circuito elétrico do instrumento	Não envia o sinal de pressão muito alta PAHH-2	9	5	3	135
13	Chave de intertravamento de pressão alta (PSH-2)	Enviar o sinal para abrir a válvula HV-23	Não enviar o sinal para abrir a válvula HV-23	PIRC-2 em falha	Não enviar o sinal de pressão baixa PALL-2	8	5	3	120
					O operador alivia a pressão manualmente abrindo as válvulas de bloqueio V-41 e V-43	10	4	3	120

continuação

Subsistema: Controle de pressão dos tanques

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe USEXA		Severidade	Ocorrência	Detecção	Pág.: 18/23
		Subsistema: Controle de pressão dos tanques							Rev.: 0
		Nº	Item	Função	Modos de falha				Causas da falha
14	Dispositivo de alarme de pressão muito alta (PAHH-2)	Alarmar no painel de controle a pressão acima de 10 mbar	Não alarmar no painel de controle a pressão acima de 10 mbar	PIRC-2 em falha	Não abre a HV-23 com a pressão nos tanques acima de 6 mbar	10	4	1	40
15	Chave de intertravamento de pressão baixa (PSL-2)	Enviar o sinal para fechar a válvula HV-23	Não fechar a válvula HV-23	PIRC-2 em falha	Não alarma para o operador a pressão no tanque acima de 10 mbar	10	4	1	40
16	Dispositivo de alarme de pressão muito baixa (PALL-2)	Alarmar no painel de controle a pressão inferior a -30 mbar nos tanques de estocagem T-1/2/3	Não alarmar no painel de controle a pressão inferior a -30 mbar	PIRC-2 em falha	1- Não abre a HV-23 com a pressão nos tanques abaixo de -26 mbar.	10	3	1	30
17	Manômetro (PI-7)	Indicar a pressão na linha de ar de instrumento	Não Indicar a pressão	Diafragma rompido	Aumenta a pressão nos tanques T-1/2/3 acima das pressões de alarme	6	4	3	72
18	Manômetro (PI-8/9)	Indicar a pressão nas linhas de ventilação dos tanques	Não indicar a pressão	Diafragma rompido	1- Não indica a pressão da linha pela PCV-3.	8	4	6	192
19	Válvula de retenção (RV-3)	Reter o contra fluxo nas linhas de ar de instrumento	Não reter o contra fluxo nas linhas de ar de instrumento.	Resíduos sólidos depositado na esfera e sede da válvula	1- Entrar vapor de HF na linha de ar de instrumento.	6	6	2	72

continuação

Subsistema: Controle de pressão dos tanques (conclusão)

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF				Equipe USEXA		Pág.: 19/23	Rev.: 0
		Subsistema: Controle de pressão dos tanques							
		Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha		
20	Válvula de retenção (RV-4)	Reter o contra fluxo de gases proveniente da linha de ventilação dos tanques T-1/2/3 para a linha de ventilação do tanque T-4	Não reter o contra fluxo dos gases	Resíduos sólidos depositado na esfera e sede da válvula	Atuar o sensor de AHF, AIT-1	8	6	2	96
21	Válvula de bloqueio (V-32)	Aliviar manualmente a pressão do tanque de contenção	Não aliviar manualmente a pressão do tanque de contenção	Válvula emperrada na posição fechada	Entrar vapor de AHF na linha de ventilação do tanque de contenção	10	2	1	20
22	Válvula de bloqueio (V-33/34/37/39/41/42/43/44)	Isolar as válvulas de controle de pressão das linhas de ventilação dos tanques	Não isolar as válvulas de controle de pressão das linhas de ventilação dos tanques	Válvula emperrada na posição aberta	Vazamento de AHF	8	2	1	16
23	Válvula de bloqueio (V-35/36/43/40)	Isolar os instrumentos instalados nas linhas de ventilação dos tanques	Não isolar as instrumentos nas linhas de ventilação dos tanques	Válvula emperrada na posição aberta	Vazamento de AHF	8	2	1	16

continuação

Subsistema: Contenção

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 20/23			
		Subsistema: Contenção		USEXA		Rev.: 0			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
1	Tubulação	Conduzir o HF	Perfurar o tubo	Corrosão na parede do tubo	Vazar HF	10	7	5	350
			Romper o tubo	Sobre pressão na linha	Perir o operador com queimaduras	10	8	5	400
		Conduzir o ar do instrumento	Perfurar o tubo	Corrosão na parede do tubo	Vazar ar	5	7	5	175
			Romper o tubo	Sobre pressão na linha	Danos nas instalações	5	7	5	175
2	Conexões (flanges , juntas e estojos)	Manter a estanquidade nos pontos de descontinuidade da tubulação	Perder a estanquidade pelo flange ou conexão	Flanges desalinhados	Danos nas instalações	10	5	5	250
				Junta não posicionada corretamente	Vazar o AHF	10	8	5	400
				Torque acima ou abaixo do especificado nos estojos	Danificar a junta	10	7	5	350
				Material do estojo inadequado	Vazar o AHF	10	8	5	400

continuação

Subsistema: Contenção

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)						Data: 2009	
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 21/23		Rev.: 0	
		Subsistema: Contenção		USEXA					
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
3	Mangueira	Conectar a linha de transferência de HF na Carreta	Vazar pela mangueira	Mangueira trincada	Vazão de HF	10	8	6	480
				Engate inadequado à tubulação	Vazão de HF	10	8	5	400
				Sobrecarga da linha	Vazão de HF	10	7	5	350
				Movimento de caminhada durante o descarregamento	Vazão de HF	10	4	6	240
		Conectar a linha de ar de Instrumento na Carreta	Vazar pela mangueira	Mangueira trincada	Vaza ar de Instrumento	9	5	6	270
				Engate inadequado à tubulação	Vaza ar de Instrumento	8	8	4	208
				Sobrecarga da linha	Vaza ar de Instrumento	8	7	5	315
				Movimento de caminhada durante o descarregamento	Interrompe o carregamento do HF	9	4	6	216

continuação

Subsistema: Contenção

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)					Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF		Equipe		Pág.: 22/23			
		Subsistema: Contenção		USEXA		Rev.: 0			
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	Nº Prioridade de Risco (NPR)
4	Isolante térmico	Conservar a temperatura do ácido	Trincar nas regiões dos flanges	Dilatação térmica	Corrosão na tubulação devido a infiltração de umidade entre o isolante térmico e a tubulação	8	3	7	168
		Proteger a tubulação das intempéries	Folgar nas regiões dos flanges	Montagem inadequada	Infiltrar umidade ente o isolante térmico e a tubulação	8	4	8	256
5	Estrutura dos tanques de estocagem (T-1/2/3)	Conter o HF no tanque	Vazar o HF pela estrutura do vaso	Corrosão na superfície do vaso	Vazar AHF para o interior do vaso de contenção	10	3	7	210
				Corrosão no interior do vaso (causada por pH)	Vazar AHF para o interior do vaso de contenção	10	3	7	210
				Áreas com concentração de tensão	Trincar na região de solda	10	2	8	160
				Unidade na superfície externa do tanque de contenção	Diminuição da espessura da parede do vaso	10	5	7	350
				Junta não posicionada corretamente	Danos nas instalações	10	3	7	210

continuação

Subsistema: Contenção (conclusão)

MCC - CTMSP		Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)							Data: 2009		
Área: C10.49		Sistema: Tancagem de AHF				Equipe			Pág.: 23/23		
		Subsistema: Contenção				USEXA			Rev.: 0		
Nº	Item	Função	Modos de falha	Causas da falha	Efeitos da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Nº Prioridade de Risco (NPR)		
6	Estrutura do tanque de contenção (T-4)	Proteger fisicamente os tanques de estocagem de AHF	Não proteger fisicamente os tanques de estocagem de AHF	Umidade no interior do tanque de contenção	Aumentar a taxa de corrosão	8	3	8	192		
		Proteger termicamente os tanques de estocagem	Não proteger termicamente os tanques de estocagem	Pintura externa degradada	Temperatura média no interior do tanque mais elevada	9	3	8	216		
		Conter o AHF no caso de vazamento dos tanques	Não conter o AHF no caso de vazamento dos tanques	Trincas entre a tubulação e costado do tanque	Vazar AHF para o meio ambiente	10	5	7	350		

conclusão