



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
DEPARTAMENTO DE INDÚSTRIA, SEGURANÇA E PRODUÇÃO CULTURAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

THAÍS SPÍNDOLA GARCÊZ

**PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VÁLVULAS PNEUMÁTICAS
APLICADAS EM PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA
DO RAMO DE BEBIDAS**

TERESINA-PI

2021

THAIS SPINDOLA GARCÊZ

**PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VÁLVULAS PNEUMÁTICAS
APLICADAS EM PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA
DO RAMO DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica pelo curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus Teresina-Central.

Orientador: Edivaldo Feitosa Pereira

Co-orientador: Edivaldo Feitosa Pereira Filho

TERESINA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Garcêz, Thaís Spíndola

G215p Plano de manutenção preventiva de válvulas pneumáticas aplicadas em processo produtivo de uma indústria do ramo de bebidas / Thaís Spíndola
Garcêz. - 2021.
48 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2021.

Orientador : Prof. Edivaldo Feitosa Pereira.

1. MCC. 2. Válvulas. 3. Plano de manutenção. I. Título.

CDD - 620

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

THAIS SPINDOLA GARCÊZ

**PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VÁLVULAS PNEUMÁTICAS
APLICADAS EM PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA DO RAMO DE
BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica pelo curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus Teresina-Central.

Orientador: Edivaldo Feitosa Pereira

Co-orientador: Edivaldo Feitosa Pereira Filho

Data de aprovação: 07/07/2021.

BANCA EXAMINADORA

Edivaldo Feitosa Pereira (IFPI)
(Presidente/Orientador)

Nome (Instituição)
(Membro)

Nome (Instituição)
(Membro)

TERESINA (PI)

2021

Aos meus pais, Luiz e Carmem, por todos os anos de dedicação e trabalho duro para que nunca nos faltasse nada; aos meus irmãos, Lais e Bruno, pelo companheirismo em toda

minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Foram muitos anos de dedicação, aprendizado, alegrias e frustrações também para finalização dessa jornada acadêmica.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos os professores que direta e indiretamente participaram da minha formação como profissional e ao Instituto Federal do Piauí pelas oportunidades ao longo desses anos.

À minha família, por toda confiança e incentivo durante o caminho.

Aos meus amigos, dentro e fora do IFPI que trilharam este caminho comigo.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

O trabalho tem como objetivo o estudo da aplicação dos conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), com o intuito de diminuir o número de falhas em sistema de válvulas pneumáticas em uma indústria de bebidas. Para isso será analisado o histórico de falhas extraído do *Systems, Applications and Products in Data Processing* (SAP) a partir da abertura de ordens de serviço para manutenções emergenciais, na safra 2019/2020, o estudo utilizara também a ferramenta de Análise dos Modos de Efeito e Falha (FMEA) para a análise de falhas potenciais e suas respectivas causas, onde a mesma auxilia na tomada de decisões com informações de ações recomendadas para diminuir o número de falhas do equipamento mantendo o mesmo em condições normais de operação por mais tempo. A utilização dos conceitos relacionados a Manutenção Centrada na Confiabilidade, é capaz de aumentar os índices de disponibilidade dos equipamentos de um parque fabril, fator que é decisivo no mercado competitivo atual, onde a busca pela otimização dos recursos é cada dia maior. Portanto, a proposta do trabalho é a implantação de planos de manutenção baseados na matriz de criticidade e análise FMEA em uma linha de produção com o intuito de aumentar a confiabilidade do processo e a redução do custo com manutenção.

Palavras-Chave: MCC. Válvulas. Planos de Manutenção.

ABSTRACT

The work aims to study the application of the concepts of Reliability Centered Maintenance(RCM), in order to reduce the number of failures in pneumatic valve systems in a beverage industry. For this, the history of failures extracted from Systems, Applications and Products in Data Processing (SAP) will be analyzed from the opening of service orders for emergency maintenance, in the 2019/2020 harvest, the study will also use the Analysis of Effect and Failure Modes (FMEA) tool for the analysis of potential failures and their respective causes, where it helps in decision making with information on recommended actions to reduce the number of equipment failures keeping it in normal operating conditions for longer. The use of concepts related to Reliability Centered Maintenance is capable of increasing the availability of equipment in a manufacturing park, a factor that is decisive in today's competitive market, where the search for resource optimization is increasing every day. Therefore, the work proposal is the implementation of maintenance plans based on the criticality matrix and FMEA analysis in a production line in order to increase process reliability and reduce maintenance costs.

Keywords: MCC. Valves. Maintenance Plan

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Critérios do Sistema de Classificação A, B, C.....	18
Figura 2 – Fluxo Decisional do Sistema de Classificação A, B e C.....	19
Figura 3 – Curva PF x Custo para reparo.....	21
Figura 4 – Classificação de Severidade.....	23
Figura 5 – Classificação de Ocorrência.....	24
Figura 6 – Classificação de Detecção.....	25
Figura 7 – Descrição do Sistema.....	29
Figura 8 – Matriz de Criticidade.....	30
Figura 9 – Atribuição das Funções de cada equipamento.....	31
Figura 10 – Análise dos Modos de Falha e Efeitos de Falha.....	33
Figura 11 – Seleção das atividades de manutenção.....	34
Figura 12 – Definição da Periodicidade das atividades de manutenção.....	35
Figura 13 – Padronização dos procedimentos de manutenção.....	36
Figura 14 – Cenário de Emergenciais entre 2019 e 2020.....	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas

FMEA – Análise dos Modos de Efeito e Falha

JIPM – *Japan Institute of Plant Maintenance*

MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

RPN – *Risk Priority Number*

SAP – *Systems Applications and Products*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 MANUNTENÇÃO CORRETIVA.....	13
2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	15
2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	16
2.4 MATRIZ DE CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS.....	17
2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.....	19
2.5.1 Funções e Padrões de Desempenho.....	20
2.5.2 Falhas funcionais.....	20
2.5.3 Efeitos e Modos de Falhas (FMEA).....	21
2.5.4 Modos de Falha.....	22
2.5.5 Efeitos da Falha.....	22
2.5.6 Cálculo do Risk Priority Number (RPN).....	22
2.5.7 Consequências da Falha.....	25
2. 6 PLANOS DE MANUTENÇÃO.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	28
3.2 DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS.....	29
3.3 DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES.....	30
3.4 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA).....	31
3.5 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO.....	33
3.6 DEFINIÇÃO DA PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES.....	34
4 RESULTADOS.....	36
5 CONCLUSÃO.....	38

1 INTRODUÇÃO

No passado, a manutenção industrial foi considerada como fator gerador de custos, muitas vezes desnecessários. Mais recentemente, a função manutenção passou a ser mais considerada no cenário de negócios industriais, pois a estratégia de manutenção do parque fabril pode influenciar positiva ou negativamente prioridades competitivas da manufatura, tais como custo, qualidade e flexibilidade (PINJALA et al., 2006).

Com desenvolvimento tecnológico e necessidade de produzir sempre mais e mais, a manutenção aumentou de importância na estratégia de produção: rupturas de fluxos produtivos podem rapidamente causar grande dano econômico a indústria.

Com um mercado cada vez mais competitivo, sistemas produtivos devem falhar cada vez menos, já que a busca por altos índices de produtividade a cada dia é mais presente no mundo industrial. A evolução da tecnologia chega cada vez mais rápido às organizações produtivas, através de técnicas e projetos cada dia mais modernos e complexos. Porém, é necessária muita atenção por parte das equipes responsáveis, já que muitas vezes a busca desenfreada por altos índices de produtividade dos equipamentos pode comprometer todo sistema produtivo se os mesmos passarem a operar além de suas especificações técnicas.

Segundo Moubray (2000), o papel da manutenção é manter os ativos em condições que permitam continuar fazendo o que são esperados pelos seus usuários. Dessa forma, os setores de planejamento e controle da manutenção passam a ter uma responsabilidade ainda maior. A utilização dos conceitos relacionados à Manutenção Centrada na Confiabilidade, é capaz de aumentar os índices de disponibilidade dos equipamentos de um setor fabril, onde a busca pela otimização dos recursos é cada dia maior. Pois os custos de material e mão de obra envolvidos na manutenção corretiva são os mais elevados no setor industrial. Além disso, trabalhando apenas de forma corretiva existe a possibilidade de o defeito se agravar e acabar comprometendo outras partes do equipamento. Por exemplo, a troca de uma sede de uma válvula, que seria uma operação simples, pode se tornar um problema muito maior em razão das consequências da falha desses itens.

As situações emergenciais sempre vão existir, mas elas podem ser reduzidas com uma gestão ativa de manutenção e um programa de monitoramento e prevenção de falhas. Quando isso é feito, a empresa tem muito ganhar em termos de redução de custos, confiabilidade e produtividade.

Conforme Nagao (1999) a manutenção tem cada vez mais ação de destaque como área

fundamental para o sucesso das empresas. Pois, o impacto de uma manutenção mal gerenciada, inadequada e/ou ineficiente pode definir a rentabilidade do negócio e a sobrevivência do empreendimento.

Slack et al. (2002) elencam uma série de benefícios atingidos quando a manutenção é atuante, entre eles: a melhoria na segurança, maior confiabilidade, maior qualidade, custos de operação mais baixos, maior tempo de vida de ativos e maior valor agregado do ativo.

Por esses motivos, esse trabalho propõe a análise de uma linha de produção de cerveja utilizando conceitos derivados do processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para propor planos de manutenção otimizados para minimização das falhas e perdas no processo, focando no conjunto de mais de cinquenta válvulas pneumáticas interligadas que formam o sistema e que atualmente tem o maior impacto nas paradas ocorridas no processo produtivo. A utilização dos conceitos relacionados à Manutenção Centrada na Confiabilidade é capaz de aumentar os índices de disponibilidade dos equipamentos de um parque fabril, fator que é decisivo no mercado competitivo atual, onde a busca pela otimização dos recursos é cada dia maior.

Na empresa analisada percebe-se um grande número de paradas devido ao sistema de válvulas o que provoca queda nos seus índices de produção. Sistema que também não possui plano de manutenção e todas as manutenções são feitas corretivamente. Com a realização desse estudo, pretende-se melhorar os indicadores de manutenção e consequentemente aumentar a confiabilidade do sistema.

O trabalho tem como objetivo, em geral, a aplicação dos conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade, na criação de planos de manutenção para válvulas de uma indústria de bebidas com o intuito aumentar a confiabilidade do sistema e diminuir o número de paradas em uma linha de produção. Para isso será analisado o histórico de falhas extraído do *Systems, Applications and Products in Data Processing* (SAP) a partir da abertura de ordens de serviço para manutenções corretivas, o estudo utilizará também a ferramenta Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA) para a análise de falhas potenciais e suas respectivas causas, onde a mesma auxilia na tomada de decisões com informações de ações recomendadas para diminuir o número de falhas do equipamento mantendo o mesmo em condições normais de operação por mais tempo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ABNT (1994) em sua norma NBR 5462 indica a manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

De acordo com a norma NBR-5462 convencionada em 1994, os três principais tipos de manutenção são a manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

Em resumo, pode-se dizer que:

Manutenção Corretiva é aquela realizada para corrigir e eliminar a causa da falha. Seja potencial ou funcional. Manutenção Preventiva é aquela que é realizada para reduzir a probabilidade de falha potencial. Manutenção Preditiva é aquela realizada para monitorar as condições de funcionamento do equipamento e encontrar a falha potencial ainda em estágio inicial.

Dentro de cada tipo de manutenção, derivam-se outras categorias. Tais categorias são chamadas de “Estratégias de Manutenção”. Essas estratégias que deverão ser alinhadas aos objetivos de médio e longo prazo da empresa.

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) em sua norma NBR-5462 elenca três tipos de manutenção: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva. O que irá definir qual tipo usar e quando usar é a estratégia de manutenção adotada para manter a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Segundo a Norma NBR-5462, a Manutenção Corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma falha (ou pane), destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. A Manutenção Corretiva é o tipo de manutenção mais caro, que toma mais tempo e traz mais prejuízo para a empresa. Chegando a ser, no mínimo, sete vezes mais cara que os demais tipos de manutenção.

A manutenção corretiva deve ser evitada ao máximo, mas podemos aplicá-la de forma estratégica quando for conveniente. Quando se trata de estratégias de manutenção, todo tipo é válido. Inclusive a manutenção corretiva. A questão é o quanto você irá aplicá-la e em quais equipamentos. A manutenção corretiva é uma saída para se aplicar em equipamentos de criticidade C. Os equipamentos de criticidade C são aqueles que:

- Quando falham não causam problemas de segurança e/ou meio-ambiente;
- Quando falham não interrompem o processo de produção;
- Quando falham não causam problemas de qualidade;
- Quando falham o seu reparo custa menos que 10% do custo mensal da manutenção;
- Existem equipamentos reserva.

Manutenção corretiva é aquela de atendimento imediato à produção. Esse tipo de manutenção baseia-se na seguinte filosofia: “equipamento parou, manutenção conserta imediatamente”. Esta se configura como a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que esperado e pode ser dividida em manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não planejada.

A Manutenção Corretiva não programada tem como característica principal, a intervenção somente após a falha. Esse é provavelmente o tipo mais antigo, já que deu origem as práticas de manutenção pouco antes da Segunda Guerra Mundial. Essas práticas são também conhecidas como a Primeira Geração (KARDEC; NASCIF; 2009). Infelizmente, esse tipo de manutenção ainda é muito mais presente nos parques fabris do que deveria. Sua característica de reação apenas após a falha pode causar grandes quedas, tanto na produção quanto nos índices de qualidade do produto, pois as paradas inesperadas de produção, não são adequadas ao mundo competitivo atual.

A Manutenção Corretiva Programada tem o mesmo princípio da anterior, ou seja, a intervenção também só ocorre após a falha. Porém, a potencial falha é conhecida antes de acontecer, através de um acompanhamento do equipamento, o que permite um certo planejamento para a realização da mesma (KARDEC; NASCIF; 2009). Isso é feito comumente através da compra de peças sobressalentes, ou até mesmo a substituição do equipamento após a falha. Essa prática costuma ser mais barata do que a anterior, além de proporcionar um maior índice de qualidade no processo e consequentemente ao produto final.

Segundo Viana (2002) o papel da manutenção corretiva é a intervenção necessária imediata a fim de evitar graves consequências à produção, à segurança do trabalhador, ao meio ambiente e a qualidade estrutural das máquinas e equipamentos. Configurando como uma estratégia de manutenção cuja intervenção é aleatória. Já Burgardt (2002) define manutenção corretiva como sendo todos os trabalhos de manutenção realizados após a falha do equipamento, com o objetivo de restabelecer a condição de disponibilidade, eliminando com isso, a causa e a consequência da falha.

Segundo Almeida (2019), a análise dos custos da manutenção corretiva não planejada

indica, em média, um custo três vezes maior em comparação as práticas preventivas ou programadas. Estes custos estão ligados, principalmente, a duas situações: o alto valor de estoque de peças sobressalentes, pois como não existem práticas para prever qual componente irá falhar a companhia, então, deve dispor das peças principais do equipamento; e a necessidade de trabalho extra, uma vez que as falhas que ocorrem nessa estratégia de manutenção são mais graves e complexas, exige-se um maior tempo para reparo, consequentemente, maior indisponibilidade do equipamento (ALMEIDA, 2019).

A escolha desse tipo de manutenção acarreta no aumento da probabilidade de acidentes do trabalho, impactos ambientais, perda do produto e insumos, além da queda gradativa da vida útil de ativos devido as suas inúmeras interferências. Porém essa prática torna-se aceitável em produções pequenas, onde não há demanda de alta qualidade, além de ser o modo mais barato de conduzir uma manutenção de ativos.

2. 2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção Preventiva Segundo a norma NBR-5462, Manutenção Preventiva é a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Viana (2002) define a manutenção preventiva como os serviços realizados em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios estabelecidos, com o intuito de reduzir a probabilidade de falhas. Esses intervalos são definidos através das especificação com relação a vida útil dos componentes, ou até mesmo de estudos relacionados ao histórico de quebra dos equipamentos. Também segundo Viana (2002), o plano de manutenção preventiva é um documento que contém um conjunto de tarefas executadas regularmente e pode ser dividido em: conteúdo e forma. Quanto ao conteúdo, devem ser listados os procedimentos do que fazer e como fazer. De acordo com Almeida (2019), alguns planos mais simples consistem em lubrificação e ajustes menores. Os planos mais abrangentes, no entanto, contêm instruções para reparos, lubrificação, ajustes e recondiçionamentos em máquinas críticas.

A manutenção preventiva, é a técnica que proporciona maior qualidade aos parques fabris, além de proporcionar um impacto positivo considerável com relação a produtividade. Porém, a utilização da mesma deve ser muito bem avaliada, pois pode exigir altos custos, que por vezes acabam tornando inviável a aplicação da mesma.

As maiores consequências desse modelo de manutenção se mostram no custo, devido

sua máxima algumas peças ao serem trocadas não apresentam sinais de não conformidades, sendo uma troca e parada do ativo desnecessária. Por isso, o estudo da periodicidade do ativo deve ser analisado e estudado minuciosamente, de modo a não haver paradas e trocas desnecessárias ou em vão. (TELES, 2019).

O método preventivo proporciona um determinado ritmo de trabalho, assegurando o equilíbrio necessário ao bom andamento das atividades. O controle das peças de reposição é um problema que atinge todos os tipos de indústria. Uma das metas a que se propõe o órgão de manutenção preventiva é a diminuição sensível dos estoques. Isso se consegue com a organização dos prazos para reposição de peças. Assim, ajustam-se os investimentos para o setor. Se uma peça de um conjunto que constitui um mecanismo estiver executando seu trabalho de forma irregular, ela estabelecerá, fatalmente, uma sobrecarga nas demais peças que estão interagindo com ela. Como consequência, a sobrecarga provocará a diminuição da vida útil das demais peças do conjunto. O problema só pode ser resolvido com a troca da peça problemática, com antecedência, para preservar as demais peças.

O planejamento e a organização, fornecidos pelo método preventivo, são uma garantia aos homens da produção que podem controlar, dentro de uma faixa de erro mínimo, a entrada de novas encomendas. Com o tempo, os industriais foram se conscientizando de que a máquina que funcionava ininterruptamente até quebrar acarretava vários problemas que poderiam ser evitados com simples paradas preventivas para lubrificação, troca de peças gastas e ajustes.

2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva também é conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento. É baseada, segundo a norma NBR-5462, na tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio dos dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento. Esses dados coletados, por meio de medições em campo como temperatura, vibração, análise físico-química de óleos, ultrassom e termografia, permitem um diagnóstico preciso. Esse tipo de manutenção caracteriza-se pela previsibilidade da deterioração do equipamento, identificando e quantificando a criticidade das falhas, ainda em estágio inicial, por meio do monitoramento dos parâmetros principais, com o equipamento em funcionamento.

Segundo Almeida (2019), como a manutenção preventiva, a manutenção preditiva tem muitas definições. Para os mecânicos, a manutenção preditiva monitora a vibração da maquinaria rotativa numa tentativa de detectar problemas incipientes e evitar falha catastrófica. Para os eletricistas, é o monitoramento das imagens infravermelhas de circuitos, de chaves elétricas, motores, e outros equipamentos elétricos para detectar problemas em desenvolvimento. A premissa comum da manutenção preditiva é que o monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional, e outros indicadores da condição operativa das máquinas e sistemas de processo fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos. Ela também minimizaria o número e os custos de paradas não-programadas criadas por falhas da máquina.

Existem cinco técnicas não-destrutivas que são usadas normalmente para gerência de manutenção preditiva: monitoramento de vibração (com espectros de corrente elétrica) , monitoramento de parâmetro de processo, termografia, tribologia, e inspeção visual. Cada técnica tem um conjunto único de dados que assistirá o gerente de manutenção na determinação da necessidade real de manutenção.

Para Almeida (2019) a manutenção preditiva que utiliza análise da assinatura de vibração é predicada em dois fatos básicos: (1) todos os modos de falha comuns possuem componentes distintos de frequência de vibração que podem ser isolados e identificados, e (2) a amplitude de cada componente distinto de vibração permanecerá constante a menos que haja uma mudança na dinâmica operacional da máquina. A manutenção preditiva que utiliza rendimento de processo, perda de calor, ou outras técnicas não-destrutivas, pode quantificar o rendimento operacional de equipamentos ou sistemas não-mecânicos da planta industrial. Estas técnicas, usadas em conjunto com a análise de vibração podem fornecer ao gerente de manutenção ou engenheiro da planta industrial informações fatuais que os habilitarão a obter confiabilidade ótima e disponibilidade a partir de sua planta.

2.4 MATRIZ DE CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS

O *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM, 1995) recomenda a utilização da classificação ABC, como uma ferramenta para avaliar a criticidade de uma máquina ou sistema dentro de um processo industrial, mediante a utilização de um fluxograma decisional apresentado na figura 2. No fluxo o sistema é avaliado mediante os critérios escolhidos pelos responsáveis pela análise, através de perguntas que direcionam a avaliação do sistema, sendo

ao final, classificado em alguma das três classes (A, B ou C). Ao final da análise, a manutenção a manutenção será orientada a cada sistema ou equipamento com base na sua classificação, sendo (JIPM, 1995):

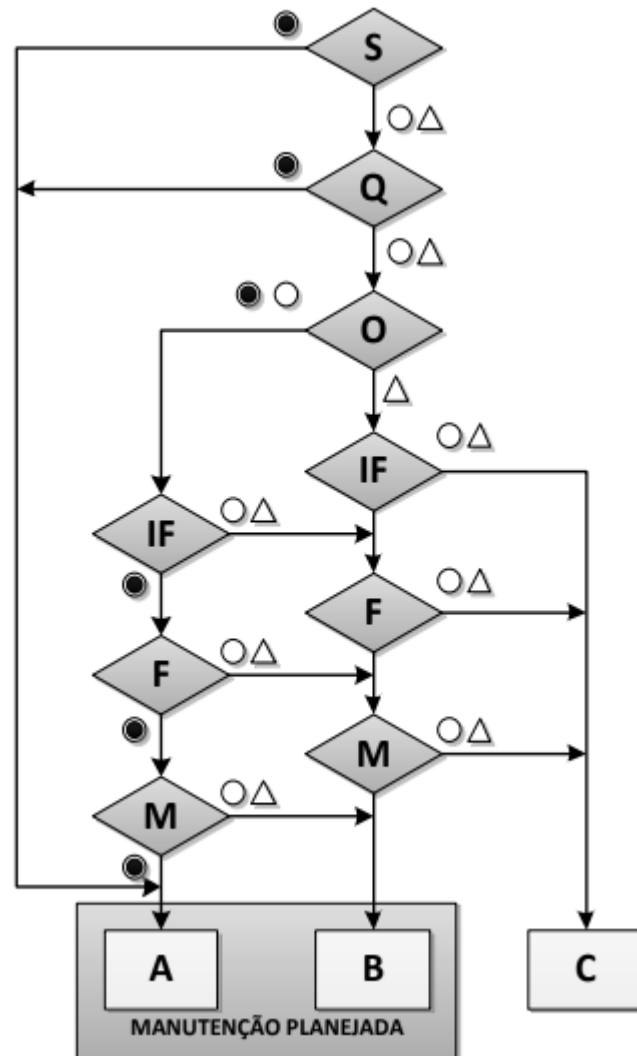
- Classe A: Equipamentos altamente críticos para o processo, sendo fundamental uma política preventiva com: preditiva e preventiva, análise das falhas manutenção e operação, equipes de melhoria focada, equipes focadas na redução de falhas, aplicação de metodologias *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ou Análise dos Modos de Efeito e Falha (FMEA).
- Classe B: Equipamentos importantes para o processo, sendo aceitável aplicação de alguma das seguintes técnicas: preventiva ou preditiva, equipes e times de melhoria, análise das falhas pela manutenção.
- Classe C: Equipamentos com baixo impacto no processo, com as seguintes políticas de manutenção: corretiva, preditiva e/ou preventiva em equipamentos utilitários, monitoramento de falhas para evitar recorrências.

Figura 1 – Critérios do Sistema de Classificação A, B, C

		CLASSE		
				
S	Risco potencial de um acidente quando ocorre uma falha	Risco Alto	Risco médio ou baixo	Risco descartado
Q	Risco de Perdas, reclamações, retrabalhos.	Risco alto para perdas e retrabalhos	Risco médio para perdas e retrabalhos	Risco baixo ou descartado
O	Tempo de operação do equipamento	24h/dia	8 a 24h/dia	< = 8h/dia
IF	Impacto no processo durante falha do equipamento	Interrompe todo processo de produção	Não interrompe processo, mas gera perdas	Não há impacto significativo
F	Frequência de falha do equipamento	Maior que 01 falha / 02 meses	1 falha / 02 e 06 meses	Menor que 01 falha / 06 meses
M	Tempo médio de reparo (MTTR)	MTTR>2h	0,5h<MTTR<2h	MTTR<0,5h

Fonte – JIPM (1995).

Figura 2 – Fluxo Decisional do Sistema de Classificação A, B e C



Fonte – JIPM (1995).

2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Segundo Moubray (2000) é um processo para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente. E para o desenvolvimento dessa metodologia, são avaliadas sete perguntas sobre os itens em estudo:

- quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
- de que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
- o que causa cada falha funcional?
- o que acontece quando cada falha ocorre?

- e) de que forma cada falha interessa?
- f) o que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
- g) o que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade proativa pertinente?

2.5.1 Funções e Padrões de Desempenho

O primeiro passo no processo MCC é definir as funções de cada ativo que faz parte do equipamento no seu contexto operacional, segundo Moubray (2000), temos duas categorias:

- a) *Funções primarias*: as quais sumarizam o porque os ativos foram adquiridos em primeiro lugar.
- b) *Funções secundarias*: as quais reconhecem que é esperado todo ativo fazer mais que simplesmente preencher as suas funções primarias. São quesitos como segurança, controle, contenção, conforto, integridade estrutural, economia, proteção, conformidade ambiental e até aparência do item.

Segundo Moubray (2000) para definir claramente os objetivos da manutenção em termos das exigências do usuário, devemos ter um claro entendimento das funções de cada ativo, juntamente com os padrões de desempenho. Isto é porque o processo do RCM começa perguntando: quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?

2.5.2 Falhas funcionais

Antes de entrarmos na definição de falha funcional, é interessante conhecer a curva PF que é uma ferramenta analítica essencial para um plano de manutenção que seja baseado em confiabilidade e esteja seguindo os padrões *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

A Curva PF, representada na Figura 3, é um gráfico que conflita em um plano cartesiano simples a performance do equipamento sobre o seu tempo de funcionamento. Com o objetivo principal de identificar o intervalo PF, que seria o tempo entre a falha potencial e falha funcional.

Figura 3 – Curva PF x Custo para reparo



Fonte: TELES (2019).

Segundo Teles (2019), falha potencial é a forma que a falha se apresenta no equipamento. Podemos dizer que falha potencial é a mesma coisa que Modo de Falha. E falha funcional é a incapacidade de um sistema para atender a um padrão de desempenho especificado em projeto.

Moubray (2000) comenta que em MCC, é utilizado o termo falha funcional para descrever os estados de falha sendo o término da capacidade de um ativo realizar uma função para um padrão de desempenho aceitável. Outros aspectos observados durante o processo de implantação da MCC são os eventos que levaram a ocorrência da falha, conhecido como modos de falha, e as consequências da falha. (MOUBRAY, 2000).

2.5.3 Efeitos e Modos de Falhas (FMEA)

Como propõe Kardec e Nascif (2009) na determinação da taxa de risco de falha de um componente particular de um equipamento, o grupo deve adotar a seguinte sequência:

- Isolar e descrever o modo da falha potencial: Sob que condições o equipamento falha?
- Descrever o efeito potencial da falha: Ocorre parada ou redução de produção? A qualidade do produto é afetada? Quais os prejuízos?
- Determinar a frequência, a gravidade e a detectabilidade da falha: Qual a frequência de ocorrência da falha? Qual o grau de gravidade da falha? Qual a facilidade da falha ser detectada?

2.5.4 Modos de Falha

Uma vez que cada falha funcional tenha sido identificada, o próximo passo é tentar identificar todos os eventos que são razoavelmente prováveis de causar cada estado de falha. Estes eventos são conhecidos como modos de falha. Modos de falhas "razoavelmente prováveis" incluem aquelas que ocorreram no mesmo equipamento ou em similar operando no mesmo contexto, as falhas que estão sendo atualmente prevenidas por um regime de manutenção existente, e as falhas que não aconteceram ainda mas que são consideradas ser uma possibilidade real no contexto em questão. (MOUBRAY, 2000).

Moubray (2000) também especifica que a maioria das listas de modos de falha incorporam falhas causadas por deterioração ou desgaste normal. Entretanto, a lista deve incluir falhas causadas por erros humanos (da parte de operadores e de mantenedores) e falhas de projeto assim como todas as prováveis causas de falhas do equipamento podem ser identificadas e tratadas apropriadamente. Também é importante identificar a causa de cada falha em suficiente detalhe para assegurar que tempo e esforço não jogados fora tentando tratar sintomas ao invés das causas, Por outro lado, é igualmente importante assegurar que tempo não é jogado fora na análise em si por excesso de detalhes.

2.5.5 Efeitos da Falha

O quarto passo no processo RCM, de acordo com Moubray (2000) implica em listar os efeitos da falha, os quais descrevem o que acontece quando cada modo de falha ocorre. Estas descrições devem incluir todas as informações necessárias para suportar a avaliação de conseqüências da falha, tais como:

- a) Qual a evidência (se há alguma) de que a falha ocorreu
- b) De que modo (se há algum) ela coloca uma ameaça à segurança ou ao meio-ambiente
- c) De que modo (se há algum) ela afeta a produção ou operação
- d) Qual o dano físico (se há algum) é causado pela falha
- e) O que deve ser feito para reparar a falha

2.5.6 Cálculo do Risk Priority Number (RPN)

Segundo Teles (2019) esse indicador é uma maneira de sabermos qual modo de falha

oferece o maior risco para o sistema e, por consequência, maior prioridade na prevenção. Esse cálculo é a multiplicação dos valores de ocorrência, severidade e detecção.

$$\text{RPN} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}.$$

Lembrando que um alto RPN pode ser provocado por três situações:

1. Altas chances de ocorrência de uma determinada falha;
2. Alta severidade de uma determinada falha, caso ela ocorra;
3. Dificuldade na detecção da falha. De posse do número de RPN dos equipamentos que compõem os sistemas levantados na primeira etapa, já é possível saber quais sistemas são significantes e quais são insignificantes para entrarem na política de RCM.

A classificação de Severidade, como sugere Flogiatto e Ribeiro (2009) é feita através de uma avaliação qualitativa da severidade do efeito listado. Vale observar que, uma vez que a FMEA utiliza avaliações qualitativas, o estudo pode ser realizado mesmo na ausência de medições ou análises matemáticas mais aprofundadas. Esse é um dos motivos da ampla utilização da FMEA em diferentes segmentos industriais. A severidade é medida por uma escala de 1 a 10, onde:

1 – significa efeito pouco severo

10 – significa efeito muito severo.

A severidade aplica-se exclusivamente ao efeito.

Figura 4 – Classificação de Severidade

Severidade do efeito		Escala
Muito alta	Quando compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	10
		9
Alta	Quando provoca alta insatisfação do cliente, por exemplo, um veículo ou aparelho que não opera, sem comprometer a segurança ou implicar infração	8
		7
Moderada	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda do desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema	6
		5
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda no desempenho	4
		3
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes talvez nem mesmo note sua ocorrência	2
		1

Fonte: Flogiatto e Ribeiro (2009).

A ocorrência relaciona-se com a probabilidade que uma causa ou mecanismo listado anteriormente venha a ocorrer. A avaliação da ocorrência também é feita usando-se uma escala qualitativa de 1 a 10. O critério usado na definição da escala deve ser consistente, para assegurar continuidade nos estudos. A escala relaciona-se com a taxa de falha, mas não é diretamente proporcional a esta última. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Figura 5 – Classificação de Ocorrência

Ocorrência de falha	Taxa de falha	Escala
Muito alta	Falhas quase inevitáveis	100/1000 10
		50/1000 9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	20/1000 8
		10/1000 7
Moderada	Falhas ocasionais	5/1000 6
		2/1000 5
		1/1000 4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	0,5/1000 3
		0,1/1000 2
Mínima	Falhas muito improváveis	0,01/1000 1

Fonte: Flogiatto e Ribeiro (2009)

A detecção refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema ser liberado para produção. Também, segundo Flogiatto e Ribeiro (2009), é usada uma escala qualitativa de 1 a 10, onde:

1 – representa uma situação favorável (modo de falha será detectado)

10 – representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado).

Figura 6 – Classificação de Detecção

Possibilidade de detecção		Escala
Muito Remota	Os controles não irão detectar esse modo de falha, ou não existem controles	10
Remota	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo de falha	9 8
Baixa	Há uma baixa probabilidade de os controles detectarem esse modo de falha	7 6
Moderada	Os controles podem detectar o modo de falha	5 4
Alta	Há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo de falha	3 2
Muito Alta	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha	1

Fonte: FLOGIATTO E RIBEIRO (2009)

2.5.7 Consequências da Falha

Segundo Moubray (2000) uma análise detalhada de um empreendimento industrial médio é provável gerar entre três a dez mil modos de falha possíveis. Cada falha afeta a organização de alguma forma, mas, em cada caso, os efeitos são diferentes. Eles podem afetar as operações. Também podem afetar a qualidade do produto, serviço ao cliente, segurança e meio-ambiente. Todos irão levar tempo e dinheiro para reparar.

São essas consequências que mais fortemente influenciam o quanto nós tentamos prevenir cada falha. Em outras palavras, se uma falha tem consequências sérias, provavelmente iremos até muito longe para tentar evitá-la. Por outro lado, se ela tem pequeno ou nenhum efeito, então podemos decidir não realizar rotina de manutenção além de limpeza e lubrificação básicas. Uma grande força do RCM é que ele reconhece que as consequências das falhas são muito mais importantes que suas características técnicas.

De fato, Moubray (2000) reconhece que o único motivo para se fazer qualquer tipo de manutenção proativa não é prevenir cada falha, mas prevenir, ou pelo menos diminuir, as consequências da falha. O processo RCM classifica essas consequências em quatro grupos, como segue:

Consequências de Falhas Ocultas: As falhas ocultas não têm um impacto direto, mas expõem

a empresa a falhas múltiplas com consequências sérias, frequentemente catastróficas. (A maioria dessas falhas estão associadas com dispositivos de proteção que não são falha segura.)

Consequências sobre segurança e meio-ambiente: Uma falha tem consequências sobre a segurança se ela puder ferir ou matar alguém. Ela tem consequências sobre o meio-ambiente, se ela puder violar qualquer padrão ambiental, da empresa, regional ou federal.

Consequências Operacionais: Uma falha tem consequências operacionais se ela afeta a produção (quantidade, qualidade do produto, serviço ao cliente ou custos operacionais, além do custo direto do reparo).

Consequências não Operacionais: Falhas evidentes que se enquadram nesta categoria não afetam a segurança nem a produção, portanto, envolvem apenas o custo direto do reparo.

2.6 PLANOS DE MANUTENÇÃO

Segundo Viana (2002) os Planos de Manutenção são o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Os mesmos representam, na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. A sua disposição no tempo e no espaço, e a qualidade das suas instruções, determinam o tratamento dado pelo organismo mantenedor para com sua ação preventiva. Segundo Corrêa (2015), para a elaboração dos planos de manutenção são utilizados como base: o histórico de falhas, as orientações dos fabricantes, inspeções de campo e projetos de melhorias.

Viana (2002) sugere a distribuição dos planos de manutenção nas seguintes categorias, como vemos abaixo:

1. **Plano de inspeções visuais e Monitoramento de características dos equipamentos:**
as inspeções visuais rotineiras dos equipamentos. Através deste tipo de exame simples, podemos detectar, através dos cinco sentidos do mantenedor, falhas em equipamentos de fácil resolução no estágio de gravidade em que se encontra. Na prática a inspeção consiste na observação de certas características dos equipamentos, tais como: ruído, temperatura, condições de conservação, vibração, etc. Esta observação deve ser periódica, e a sua eficácia consiste nesta constância na observação, pois tal como um médico de família atua diante de uma mudança mínima de uma característica de seu paciente, a qual na última visita não existia, a

manutenção também o fará ante seus equipamentos visitados;

2. **Roteiros de lubrificação:** a lubrificação em uma planta industrial assume um papel de suma importância, devido a sua necessidade para a conservação de elementos mecânicos, e, por conseguinte, máquinas e equipamentos. O objetivo em se lubrificar é reduzir o atrito entre superfícies ajustadas entre si, fazendo com que haja o mínimo possível de atrito interno, com isso evitando desgastes e temperaturas indesejáveis de trabalho, através da inclusão de uma substância (lubrificante), entre tais superfícies. Os elementos mecânicos passíveis de lubrificação são engrenagens, mancais, cilindros, superfícies planas deslizantes, etc. Observa-se que tais elementos não fazem parte de uma mesma família, com características comuns, sendo esta discordância um dos pontos a serem levados em consideração, ao se formular um roteiro de lubrificação;
3. **Manutenção de troca de itens de desgaste:** em quase todas as máquinas, existem itens de sacrifício, que são componentes feitos para desgastarem-se em prol do bom funcionamento do conjunto. Não é compensatória a sua recuperação, ou seja, após eles cumprirem seu objetivo, são descartados sem mais delongas, como, por exemplo, gaxetas, escovas em um motor, correias de transmissão, tulipas em uma enchedora, lonas de embreagem, etc
4. **Plano de intervenção preventiva:** um plano de manutenção preventivo consiste em um conjunto de atividades (tarefas), regularmente executadas com o objetivo de manter o equipamento em seu melhor estado operacional.

Contudo, segundo Almeida (2019), a implementação da manutenção preventiva real varia bastante. Isso se deve ao fato de que como o denominador comum desses planos é o planejamento pelo tempo, assume-se que as máquinas de uma certa classificação obedecerão a um quadro particular de degradação. O problema está no fato que as condições de operação, local de instalação e outras variáveis da planta industrial afetam diretamente na vida útil dos componentes e da máquina (ALMEIDA, 2019). Ou seja, mesmo que haja em uma planta industrial linhas de produção com maquinários iguais, os resultados da manutenção preventiva não serão os mesmos e, ainda, podem levar a resultados indesejáveis. Uma das consequências, que Almeida (2019) apresenta, é o caso de uma das máquinas falhar antes do tempo previsto pelo plano, forçando uma manutenção corretiva não planejada que traz consigo seus inconvenientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma política de manutenção que deve ser implantada de maneira estruturada, seguindo os padrões propostos pelas normas NBR-5462, IEC60300-3-11 e SAE JA1012. A implantação do RCM consiste em construir uma política que definirá como as falhas serão gerenciadas dentro do contexto operacional, visando sempre garantir a disponibilidade, confiabilidade e segurança da operação, de forma lucrativa para o processo.

No livro *Reliability Centered Maintenance III* (RCM) de John Moubray (2000), o autor define sete passos práticos para a implantação da política. Sendo eles:

1. Seleção dos Sistemas e Coleta de Informações;
2. FMEA Analise dos Modos e Efeitos de Falha;
3. Seleção das Funções Significantes;
4. Seleção das Atividades Aplicáveis;
5. Avaliação da Efetividade das Atividades;
6. Seleção das Atividades Definitivas;
7. Definição da Periodicidade das Atividades.

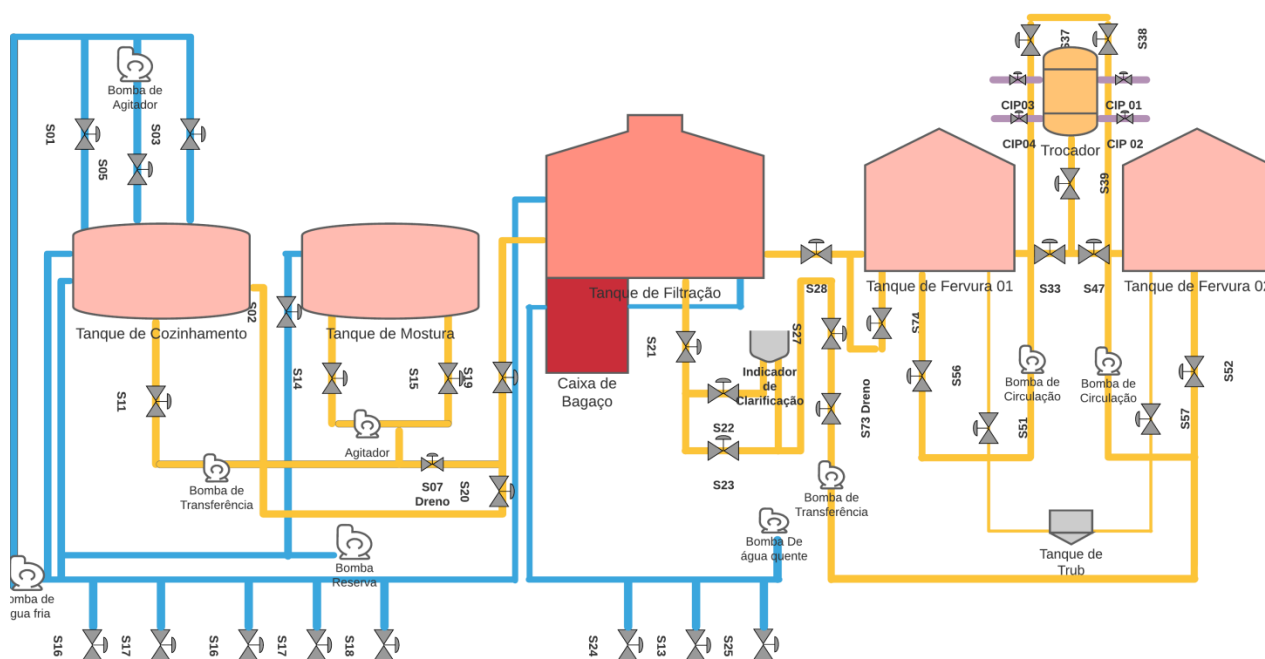
3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

O sistema de produção estudado neste trabalho, representado na figura 07, é constituído por cinco tanques de produção e um trocador de calor, interligados por um sistema de válvulas pneumáticas. Válvulas estas que desempenham funções diversas no sistema, como transferir o produto entre um tanque e outro, circular o produto dentro dos tanques, drenar resíduos da linha, dosar água e outros componentes que fazem parte da receita do produto, dosar solução química para limpeza.

Cada tanque opera a uma determinada temperatura que pode variar entre 55°C e 105°C, o que gera contextos operacionais diferentes em cada ponto do sistema.

O processo é iniciado no tanque de adjunto e finaliza no tanque de fervura. É um sistema bastante extenso que depende do bom funcionamento do sistema de válvulas para garantir a qualidade do produto acabado.

Figura 7 – Descrição do Sistema



Fonte: GARCÊZ (2021).

Na figura estão representados os componentes necessários para o entendimento do funcionamento do sistema. Algumas válvulas não estão representadas por serem internas aos tanques. Em azul são as linhas de água, em amarelo são as linhas que transportam produto e em roxo são linhas que transportam produtos químicos para limpeza do Trocador de Calor. A imagem do sistema ampliada para consulta se encontra no Apêndice A deste trabalho.

3.2 DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Para a avaliação de criticidade, todo contexto operacional ao qual as válvulas estão expostas e o histórico de manutenção do sistema foi levado em consideração.

Levando em consideração a Classificação ABC proposta pela JIMP (1995), detalhada anteriormente, o sistema em análise apresentou a seguinte configuração: Dezesesseis válvulas crítico “A”, doze válvulas crítico “B” e vinte e uma válvulas crítico “C”.

Válvulas de limpeza do sistema, que transferem soda caustica diluida e aquecida, apesar do baixo regime de operação, são acionadas seis vezes no dia, foram classificadas como equipamentos críticos “A” pois qualquer falha nestas representa risco emimente de segurança.

A análise FMEA foi aplicada para todos os equipamentos classificados como críticos “A” e “B”.

A tratativa para os equipamentos críticos C foi disponibilizar o material necessário para uma eventual manutenção corretiva na oficina da área, agilizando a manutenção mesmo esse equipamento não impactando na produção.

Figura 8 – Matriz de Criticidade

CRITICIDADE DE VÁLVULAS - PROCESSO									
Área	Equipamento	Local de Instalação	SEGURANÇA Análise cada peça do equipamento e determine quando cada equipamento falha, cada peça do equipamento causa consequências físicas que podem afetar na saúde e	QUALIDADE Análise cada peça do equipamento e determine quando o equipamento falha, existe alguma peça que pode afetar diretamente na qualidade do	REGIME DE OPERAÇÃO Análise o tempo de operação do equipamento	EFEITO EM PRODUÇÃO Análise cada peça do equipamento e determine quando o equipamento falha, essas peças do equipamento causam perda de capacidade de produção. Assumindo que não existe um equipamento back up ou stand by.	FREQUENCIA DE FALHA Análise frequência da falha do equipamento	MTTR Análise cada peça do equipamento, existe subconjunto reserva?	Criticidade
Processo	Válvula S01 (Lavador de Adjunto)	TE-03110-LAVADOR ADJUNTO 01-VP311001	Risco Descartado	Risco Médio	<8	Não há impacto Significativo	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S11 (Fundo do cozinador de Adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311004	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S13 (Cozinador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311010	Risco Descartado	Risco Baixo	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311019	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311024	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311025	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B

Fonte: GARCÊZ (2021).

A matriz completa de criticidade se encontra no Apêndice B desta monografia.

3.3 DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES

A definição com relação às funções dos sistemas em questão serviu como parâmetro para a etapa seguinte de identificação dos modos de falhas potenciais, uma vez que a falha é caracterizada a partir do momento em que determinado sistema ou componente passa a não cumprir de forma corretamente suas funções.

No que concerne à descrição da função, Flogiatto e Ribeiro (2009) cita que é importante

ser tão concisa quanto possível. Se um item tem mais de uma função, que provavelmente estarão associadas com diferentes modos de falha, então devem ser listadas cada uma dessas funções separadamente. A descrição correta das funções do item auxilia nas etapas subsequentes de identificação de falha, uma vez que as falhas estão associadas ao não cumprimento das funções específicas.

Uma das estruturas adotadas para definição de uma função consiste de um verbo, um objeto e um padrão de desempenho.

O sistema analisado apresenta válvulas com diferentes funções, entre elas: Rinsar água à temperatura ambiente, transferir o produto para o próximo tanque a uma vazão pré determinada, circular o produto a uma temperatura de 105°C, dosar solução química para a limpeza do tanque.

Figura 9 – Atribuição das Funções de cada equipamento.

Área	Equipamento	Local de Instalação	Função
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinhador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Abrir para permitir a rinsagem da Tina, à temperatura ambiente.
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 VP311019	Transferir o produto para a tina de filtração.
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP 311024	Rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto.
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP311025	Rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto.
Processo	Válvula S26 (Circular produto dentro da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP311026	Agitar o produto, facilitando a separação entre líquido e bagaço.

Fonte: Garcêz (2021).

3.4 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Conforme Flogiatto e Ribeiro (2009) o FMEA se trata de uma ferramenta de confiabilidade que possui os seguintes objetivos: reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e documentar o estudo, criando um referencial técnico.

A análise dos potenciais modos de falhas e efeitos de falha foi realizada para todos os equipamentos classificados como crítico A e crítico B.

Um fator de grande relevância, foi a utilização do histórico de falhas registradas no sistema SAP e também o conhecimento operacional sobre o sistema, pois apesar da ferramenta FMEA identificar falhas potenciais, as informações referentes a falhas que já ocorreram não foram ignoradas, já que um dos objetivos da utilização da metodologia foi a identificação de informações que auxiliem na tomada de decisão para ações preventivas.

Os modos de falha comuns a quase todo o sistema foram vazamentos, relacionados ao desgase ou ressecamento, e travamento, pois as válvulas operam em um regime intermitente e a uma temperatura que varia entre 50°C e 105°C dependendo da localização da válvula no processo.

Após a etapa de identificação das falhas, começamos a identificar os seus respectivos efeitos. Dentre eles, “Não realizar a transfêrencia do produto para próxima tina” e “Não realizar a rinsagem” são os de maior impacto, pois implicam diretamente em parada de produção e na qualidade do produto, respectivamente.

E então, tendo definido os modos e efeitos de falhas, calculamos o RPN e para estabelecer critérios para priorização das falhas através da determinação dos três índices: Severidade, Ocorrência e Detecção. Sendo este calculado através da seguinte multiplicação:

$$\text{RPN} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}$$

Baseado nesse número as falhas foram priorizadas de acordo com o impacto que elas apresentam para o processo.

Analisando os modos de falhas apresentados, desgates e vazamentos resultaram com um alto RPN devido a sua alta ocorrência. No que diz respeito ao segundo modo de falha analisado, travamentos dos Atuadores/Cilindros Pneumáticos são classificados com baixa possibilidade de detecção, mas também com baixa ocorrência, gerando um RPN baixo.

Figura 10 – Análise dos Modos de Falha e Efeitos de Falha

Área	Equipamento	Local de Instalação	Função	Modo de Falha	Efeito	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinhador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Abrir para permitir a rinsagem da Tina, à temperatura ambiente.	Desgaste da sede/Vazamento	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	5	4	120
				Travamento do Cilindro Pneumático	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	1	6	36
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 - VP311019	Transferir o produto para a tina de filtração.	Desgaste da sede/Vazamento	Não transferir o produto para a tina de filtração e perda direta de volume de produção.	5	7	4	140
				Travamento do Atuador Pneumático	Não transferir o produto para a tina de filtração e interromper o processo.	6	2	5	60
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP 311024	Rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto.	Desgaste da sede/Vazamento	Não rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	6	6	4	144
				Travamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto	6	2	5	60
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311025	Rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto.	Ressecamento/Vazamento	Não rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	5	6	4	120
				Travamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto	5	2	5	50
Processo	Válvula S26 (Circular produto dentro da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311026	Agitar o produto, facilitando a separação entre líquido e bagaço.	Desgaste da sede/Vazamento	Prejudicar a qualidade do Produto sendo Filtrado	6	6	4	144
				Travamento do Atuador Pneumático	Não circular o produto no Tanque de Filtração	6	2	5	60

Fonte: GARCÊZ (2021).

3.5 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Uma vez que os modos de falha tenham sido priorizados através do risco, as ações recomendadas foram dirigidas aos itens com maior risco. A intenção das ações recomendadas visa reduzir a severidade, ocorrência ou aumentar a possibilidade de detecção das falhas.

De acordo com a classificação feita, os modos de falhas com maiores riscos são os relacionados a Desgates e Vazamentos devido a sua alta ocorrência, com isso se observou a necessidade de definir um plano de manutenção preventivo com tarefas de inspeção preventiva e troca de itens de desgaste natural para estes.

O plano de manutenção ficou definido como “Troca mandatória da sede da válvula”. Este plano evitará os problemas relacionados ao desgaste natural das sedes destas válvulas.

No que diz respeito ao segundo modo de falha analisado, Travamentos dos Atuadores/Cilindros Pneumáticos são classificados com baixa possibilidade de detecção mas

também com baixa ocorrência. Por esta razão, se optou por um monitoramento das condições do componente como atividade de manutenção. Atividade que não gerará impacto nos custos de manutenção do sistema.

Figura 11 – Seleção das atividades de manutenção

Área	Equipamento	Local de Instalação	Função	Modo de Falha	Efeito	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN	Ação
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Abrir para permitir a rinsagem da Tina, à temperatura ambiente.	Desgaste da sede/Vazamento	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	5	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.
				Travamento do Cilindro Pneumático	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	1	6	36	Realizar check no cilindro pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 VP311019	Transferir o produto para a tina de filtração.	Desgaste da sede/Vazamento	Não transferir o produto para a tina de filtração e perda direta de volume de produção.	5	7	4	140	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.
				Travamento do Atuador Pneumático	Não transferir o produto para a tina de filtração e interromper o processo.	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP 311024	Rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto.	Desgaste da sede/Vazamento	Não rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.
				Travamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP311025	Rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto.	Ressecamento/Vazamento	Não rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.
				Travamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.
Processo	Válvula S26 (Circular produto dentro da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP311026	Agitar o produto, facilitando a separação entre líquido e bagaço.	Desgaste da sede/Vazamento	Prejudicar a qualidade do Produto sendo Filtrado	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.
				Travamento do Atuador Pneumático	Não circular o produto no Tanque de Filtração	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.

Fonte: GARCÊZ (2021).

3.6 DEFINIÇÃO DA PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES

Vale ressaltar que toda classificação FMEA, incluindo a seleção das atividades de manutenção e periodicidade foi feita levando em consideração também o histórico de manutenção desse sistema de produção e o conhecimento e experiência operacional dos técnicos do sistema, além do contexto operacional ao qual aquela válvula está submetido.

Válvulas de limpeza do sistema, apesar do menor regime de trabalho, apresentam um maior desgaste em relação ao tempo do que as válvulas que operam sob temperaturas de 105°C.

Foram selecionadas tarefas de manutenção com periodicidade de um ano, seis meses e três meses para o sistema em questão.

Figura 12 – Definição da Periodicidade das atividades de manutenção

Área	Equipamento	Local de Instalação	Função	Modo de Falha	Efeito	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN	Ação	Periodicidade
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinhador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Abrir para permitir a rinsagem da Tina, à temperatura ambiente.	Desgaste da sede/Vazamento	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	5	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M
				Travamento do Cilindro Pneumático	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	1	6	36	Realizar check no cilindro pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	6M
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 VP311019	Transferir o produto para a tina de filtração.	Desgaste da sede/Vazamento	Não transferir o produto para a tina de filtração e perda direta de volume de produção.	5	7	4	140	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M
				Travamento do Atuador Pneumático	Não transferir o produto para a tina de filtração e interromper o processo.	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	6M
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP 311024	Rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto.	Desgaste da sede/Vazamento	Não rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M
				Travamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	6M
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP311025	Rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto.	Ressecamento/Vazamento	Não rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M
				Travamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	6M
Processo	Válvula S26 (Circular produto dentro da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 VP311026	Agitar o produto, facilitando a separação entre líquido e bagaço.	Desgaste da sede/Vazamento	Prejudicar a qualidade do Produto sendo Filtrado	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M
				Travamento do Atuador Pneumático	Não circular o produto no Tanque de Filtração	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	6M

Fonte: Garcêz (2021).

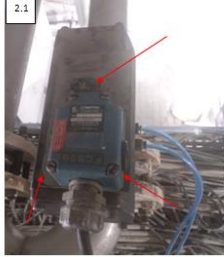
4 RESULTADOS

Com base nas saídas da análise FMEA, as atividades de manutenção preventiva foram padronizadas no sistema SAP, com a inclusão do procedimento de manutenção referente a atividade descrito pelos técnicos do setor. A figura 13 representa um exemplo de procedimento criado, onde está detalhado desde as ferramentas de manutenção necessárias para realizar a tarefa de manutenção até passo a passo para abertura, revisão e fechamento da válvula.

Figura 13 – Padronização dos procedimentos de manutenção

1. Ferramentas/Materiais Especiais			
01	Luvas de <u>manutenção</u>	02	Chave combinada 33mm
04	Chave de fenda	05	Chave allen 8mm
07		08	
		09	

2. Passo a Passo	
DESCRIÇÃO DETALHADA	PONTOS DE ATENÇÃO
PREPARAÇÃO	
Observação de Qualidade/Meio Ambiente	Após a tarefa de manutenção verificar que: 1- Ferramentas e restos de materiais (esponjas, panos, <u>óleo</u> não são deixados nas áreas; 2- Área livre de resíduos/sujeira proveniente da execução da tarefa.
PROCEDIMENTO	
1.0 – Antes de iniciar a desmontagem das válvulas, <u>CONFERIR</u> se todos os bloqueios estão colocados e o equipamento <u>desenergizado</u> (procedimento nº 9).	Segundo as orientações do procedimento de bloqueio de energia da atividade.
2.0 – Utilizar chave combinada <u>24mm</u> para retirada dos parafusos da flange.	2.0 

2.1 – Utilizar chave de fenda para retirada do sensor de fim de curso da válvula.	2.1 
2.2 – Retirar válvula para a desmontagem e verificação da sede, retirando os parafusos laterais da válvula com a utilização de chave <u>allen</u> 8mm e removendo a base do atuador.	2.2  Removendo os parafusos da base de fixação do atuador com a chave 13mm.
2.3 – Retirar sede da válvula.	2.3 
2.4 – Realizar a limpeza da válvula borboleta e do eixo utilizando fita 3M.	

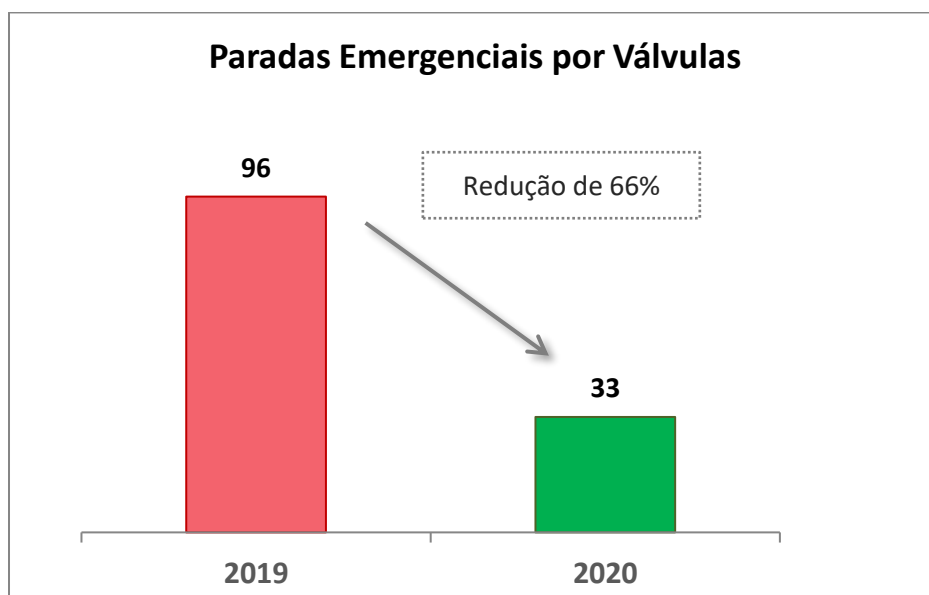
Fonte: GARCÊZ (2021).

Analisando os dados de um ano após a implementação dos novos planos de manutenção, representado na figura 14, observou-se uma redução drástica no número de paradas emergenciais relacionadas a válvulas nesse sistema de produção.

Através desses dados é possível comprovar a eficácia das atividades de manutenção preventivas sugeridas nesta análise do sistema produtivo. Obteve-se uma redução de 66% no número de paradas emergenciais, resultando no aumento da produtividade do sistema.

Além da redução dos gastos emergenciais, outro ponto de melhoria foi a pré visibilidade dos custos de manutenção do sistema, pois agora os custos se concentram em planos de manutenção com atividades preventivas programadas.

Figura 14 – Cenários Emergenciais entre 2019 e 2020



Fonte: GARCÊZ (2021).

As estratégias de manutenção propostas neste trabalho, apresentaram resultado imediato nos indicadores de manutenção e na produtividade do sistema.

5 CONCLUSÃO

O presente artigo conseguiu expor a aplicabilidade da metodologia MCC a partir do desenvolvimento da análise FMEA em um sistema de válvulas pneumáticas. A MCC se mostrou perfeitamente aplicável ao sistema de produção apresentado com base em critérios como criticidade operativa, número de falhas apresentado e detectabilidade das falhas. As análises do sistema mostraram que, dentre os componentes das válvulas, as sedes são os itens que mais sofrem desgaste devido ao regime de trabalho, portanto, os procedimentos de manutenção preventiva deram destaque a estes componentes.

Conclui-se também que com o a diminuição do número de paradas emergências, a matriz de criticidade definida neste trabalho foi assertiva e assim foi possível reduzir os custos com manutenção, pois saímos de manutenções em sua maioria emergências para manutenções preventivas, ganhando visibilidade dos custos e melhorando o planejamento e programação do setor produtivo.

Técnicas como o FMEA e MCC melhoram e fornecem uma visão mais abrangente do sistema após a sua aplicação. Um ponto que se pode observar, é que a criticidade de equipamentos envolve avaliações de aspectos subjetivos em alguns casos e objetivos em outros, levando em consideração a análise do contexto operacional e a experiência dos técnicos que trabalham com o sistema.

Nesse contexto, para trabalhos futuros, sugere-se o estudo de uma metodologia para aumentar a confiabilidade desse sistema de válvulas misto, detalhando os sistemas interligados em série e paralelo para o cálculo da confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. T. **Manutenção preditiva: confiabilidade e qualidade**. Disponível em: <https://mtaev.com.br/wpcontent/uploads/2018/02/mnt1.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- CORRÊA, R. F. Otimização de periodicidade nos planos de manutenção preventiva: uma modelagem matemática. 2015. 190 f. **Dissertação (Mestrado)**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION **60300-3-11: Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance**, 2009. 98p.
- Japan Institute for Plant Maintenance (JIPM). 600 Forms Manual*. Japan, 1995.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3 ed. Ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centred Maintenance: Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2. ed. (Edição Brasileira.) Lutterworth: Aladon Ltd, 2000. 448 p.
- NAGAO, S. K. Manutenção Industrial: análise, diagnóstico e propostas de melhoria de performance em indústrias de processo. Trabalho apresentado no 14º **Congresso Brasileiro de Manutenção**, Foz do Iguaçu, 1999.
- PINJALA, S., et al; An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. **International Journal of Production Economics**, v.104, n.3, p.214-229, 2006.

SAE JA1012. **A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) Standard**. Society of Automotive Engineers, 2002.

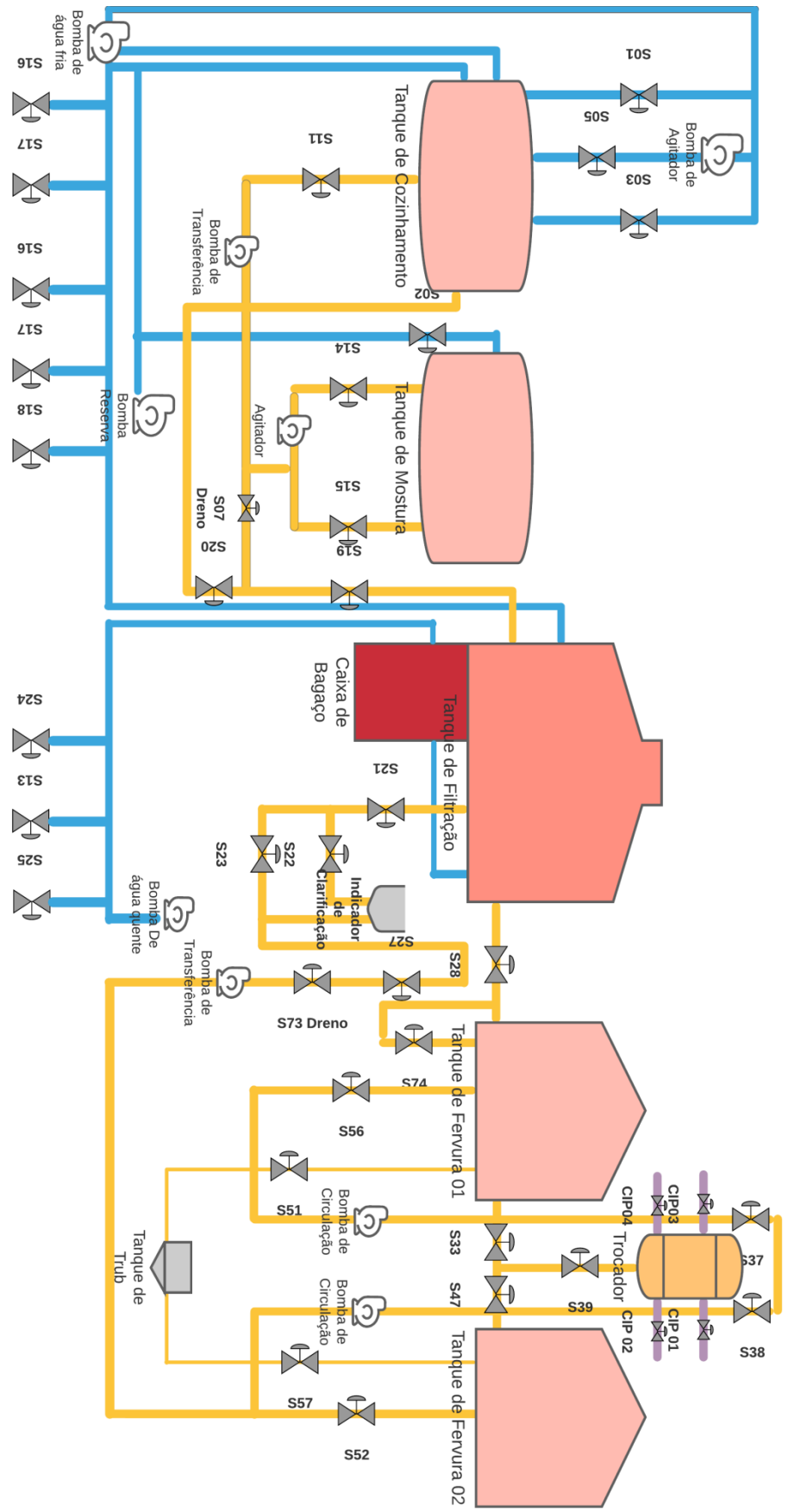
SLACK, N., et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

TELES, J. **Bíblia do RCM**: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0. Brasília: Engeteles Editora, 2019.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002.

APÊNDICES

Apêndice A – Detalhamento do Sistema de Produção



Apêndice B – Análise FMEA Completa

CRITICIDADE DE VÁLVULAS - PROCESSO

Área	Equipamento	Local de Instalação	SEGURANÇA Análise cada peça do equipamento e determine quando cada equipamento falha, cada peça do equipamento causa consequências físicas que podem afetar na saúde e	QUALIDADE Análise cada peça do equipamento e determine quando o equipamento falha, existe alguma peça que pode afetar diretamente na qualidade do	REGIME DE OPERAÇÃO Análise o tempo de operação do equipamento	EFEITO EM PRODUÇÃO Análise cada peça do equipamento e determine quando o equipamento falha, essas peças do equipamento causam perda de capacidade de produção. Assumindo que não existe um equipamento back up ou stand by.	FREQUENCIA DE FALHA Análise frequência da falha do equipamento	MTTR Análise cada peça do equipamento, existe subconjunto reserva?	Criticidade
Processo	Válvula S01 (Lavador de Adjunto)	TE-03110-LAVADOR ADJUNTO 01-VP311001	Risco Descartado	Risco Médio	<8	Não há impacto Significativo	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S11 (Fundo do cozinador de Adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311004	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S13 (Cozinador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311010	Risco Descartado	Risco Baixo	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311019	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311024	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311025	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B
Processo	Válvula S26 (Circular produto dentro da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311026	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S28 (Transferência para Fervura)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311028	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S27 (Transferência para Fervura)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311027	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S21 (Circulação de mosto Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311030	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S22 (Circulação de mosto Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311022	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S23 (Circulação de mosto Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311023	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S63 (Expulsão de bagaço Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311040	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S64 (Expulsão de bagaço Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311041	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S14 (Transferência pra Mostura)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311014	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S15 (Transferência pra Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 -VP311015	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	F>2M	0.5<H<2	B
Processo	Válvula S16 (lavador de adjunto)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311016	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S17 (Spray Ball Tina de Mostura)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311017	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S18 (Água de lastro Tina de Mostura)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311018	Risco Descartado	Risco Alto	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S20 (Retorno Auto Clave)	TE-03110-TINA MOSTURA 01 -VP311020	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S73 (Dreno Tanque de Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311073	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S56 (Fervura de mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311043	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B

Processo	Válvula S37 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311053	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S33 (Whirpool Tanque 01)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311055	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S34 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311051	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S49 (Resfriamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311049	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	F>2M	0.5<H<2	B
Processo	Válvula S32 (Resfriamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311049	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	F>2M	0.5<H<2	B
Processo	Válvula S43 (Whirpool)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311043	Risco Descartado	Risco Médio	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S42 (linha de resto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311042	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S45 (Resfriamento TQ 02)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311045	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S51 (Dreno Tanque 02)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311051	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S31 (Resfriamento T. Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311053	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S36 (linha de final de fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311052	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S44 (linha de resto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311044	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S74 (transferência para Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311074	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S38 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311064	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S48 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311062	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	A
Processo	Válvula S52 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311059	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	0.5<H<2	B
Processo	Válvula S47 (Whirpool Tanque 02)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311056	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S35 (resfriamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311075	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	F>2M	0.5<H<2	B
Processo	Válvula S46 (resfriamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311076	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	F>2M	0.5<H<2	B
Processo	Válvula S58 (Entrada Água TQ 01)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311058	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S59 (Entrada Água TQ02)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311059	Risco Descartado	Risco Alto	8<H<24	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	2M<F<6M	0.5<H<2	A
Processo	Válvula S57 (Dreno Tanque 01 Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311057	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S50 (linha de resto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311060	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S67 (Circulação no aquecedor)	TE-03110-AQUECEDOR MOSTO 01-VP311067	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B
Processo	Válvula S40 (Dreno Aquecedor)	TE-03110-AQUECEDOR MOSTO 01-VP311066	Risco Descartado	Risco Baixo	<8	Não interrompe o Processo, mas gera Perdas	>6M	<0.5h	C
Processo	Válvula S39 (Fervura de mosto,fundo do AEM)	TE-03110-AQUECEDOR MOSTO 01-VP311065	Risco Descartado	Risco Médio	8<H<24	Interrompe o processo de Produção	2M<F<6M	>2H	B

Apêndice C – Análise FMEA Completa

Área	Equipamento	Local de Instalação	Função	Modo de Falha	Efeito	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	Ação	Periodicidade	Plano	Responsável
Processo	Válvula S12 (Rinsagem Cozinhador de adjunto)	TE-03110-COZINHADOR ADJUNTO-VP311005	Abrir para permitir a rinsagem da Tina, à temperatura ambiente.	Desgaste da sede/Vazamento	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	5	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC002-015	Thais
				Tratamento do Cilindro Pneumático	Não realizar a rinsagem, impactando na qualidade do produto.	6	1	6	36	Realizar check no cilindro pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S19 (Transferência para Tina Filtro)	TE-03110-TINA MOSTURFA 01 - VP311019	Transferir o produto para a tina de filtração.	Desgaste da sede/Vazamento	Não transferir o produto para a tina de filtração e perda direta de volume de produção.	5	7	4	140	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC004-001	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não transferir o produto para a tina de filtração e interromper o processo.	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S24 (Entrada de água da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311024	Rinsar água a temperatura ambiente durante a filtração do produto.	Desgaste da sede/Vazamento	Não rinsar água a temperatura ambiente, gerando perda de volume de produção.	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC001-001	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto.	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S25 (Entrada de água quente da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311025	Rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto.	Ressecamento/Vazanento	Não rinsar água a temperatura de 70°C durante a filtração do produto, gerando perda de volume de produção.	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC001-002	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não rinsar água, podendo gerar problemas na qualidade do produto.	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S26 (Circular produto dentro da Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311026	Agitar o produto, facilitando a separação entre líquido e bagaço.	Desgaste da sede/Vazamento	Prejudicar a qualidade do Produto sendo Filtrado	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC001-002	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não circular o produto no Tanque de Filtração	6	2	5	60	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	TEVOC001-003	Thais
Processo	Válvula S28 (Transferência para Ferreira)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311028	Abrir e fechar para permitir o envio do produto a próximo tanque.	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto ao próxima Tina	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC001-002	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não permitir o envio do produto ao próxima Tina	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	TEVOC004-004	Thais
Processo	Válvula S27 (Transferência para Ferreira)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311027	Abrir e fechar para permitir o envio do produto a próximo tanque.	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto ao próxima Tina	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC004-003	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não permitir o envio do produto ao próxima Tina	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S14 (Transferência pra Mostura)	TE-03110-TINA MOSTURFA 01 - VP311014	Abrir e fechar para permitir o envio do produto a próximo tanque.	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto ao próxima Tina	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	6M	TEVOC005-001	Thais
				Tratamento do Atuador Pneumático	Não permitir o envio do produto ao próxima Tina	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	6M	TEVOC005-001	Thais

Processo	Válvula S15 (Transferência pra Tina Filtro)	TE-03110-TINA FILTRO 01 - VP311015	Abrir e fechar para permitir o envio do produto a próximo tanque.	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto ao próxima tina	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	6M	TEVOC004-002	Thais
Processo	Válvula S18 (Água de lastro Tina de Mostura	TE-03110-TINA MOSTURA 01 - VP311018	Rinsar água a temperatura ambiente durante o processo de Mosturação.	Travamento do Atuador Pneumático	Não permitir o envio do produto ao próxima tina	5	2	5	50	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	6M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
				Desgaste da sede/Vazamento	Não rinsar água suficiente para fazer o lastrro	6	6	4	144	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	6M	TEVOC004-007	Thais
Processo	Válvula S73 (Dreno Tanque de Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311073	Drenar os resos de produto na linha entre uma fabricação e outra.	Travamento do Atuador Pneumático	Não permitir o envio do produto ao próxima tina	7	4	3	84	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro dos reparos da válvula.	12M	TEVOC004-005	Thais
Processo	Válvula S56 (Fervura de mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311043	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento do produto a 105°C.	6	5	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	3M	TEVOC002-012	Thais
				Travamento do Atuador Pneumático	Aumentar pressão interna do Trocador de Calor	6	3	2	36	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	3M	TEVOC004-007	Thais
Processo	Válvula S37 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311053	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Aumentar pressão interna do Trocador de Calor	6	3	2	36	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	3M	TEVOC002-003	Thais
Processo	Válvula S33 (Whirlpool Tanque 01)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311055	Realizar o movimento circular para decantar partes sólidas.	Desgaste da sede/Vazamento	Não decantar os resíduos sólidos.	6	5	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	3M	TEVOC002-010	Thais
				Travamento do Atuador Pneumático	Não decantar os resíduos sólidos.	6	3	2	36	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	3M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S34 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311051	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento do produto a 105°C.	6	5	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	3M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais
Processo	Válvula S49 (Resfriamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP3110490	Enviar o produto para ser resfriado.	Travamento do Atuador Pneumático	Aumentar pressão interna do Trocador de Calor	6	3	2	36	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	3M	TEVOC002-001	Thais
				Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto p/ Adesgas	6	5	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	3M	TEVOC002-009	Thais
Processo	Válvula S32 (Resfriamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 01-VP311049	Enviar o produto para ser resfriado.	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto p/ Adesgas	6	5	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	3M	TEVOC002-006	Thais
Processo	Válvula S74 (transferência para Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311074	Abrir e fechar para permitir o envio do produto a próximo tanque.	Travamento do Atuador Pneumático	Não permitir o envio do produto ao próxima tina	5	6	4	120	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	6M	TEVOC004-006	Thais
				Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento do produto a 105°C.	6	5	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca manômetro da sede da válvula.	3M	TEVOC002-004	Thais
Processo	Válvula S38 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311064	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Travamento do Atuador Pneumático	Aumentar pressão interna do Trocador de Calor	6	3	2	36	Realizar check no atuador pneumático da válvula. Inspeccionando para detectar possíveis falhas.	3M	Check incluído no Book de Atividades do Operador.	Thais

Processo	Válvula S48 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311062	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento de produto a 105°C.	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-002	Thais
Processo	Válvula SS2 (Circular mosto na Fervura)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311059	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento de produto a 105°C.	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-013	Thais
Processo	Válvula S47 (Whirlpool Tanque 02)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311056	Realizar o movimento circular para decantar partes sólidas.	Desgaste da sede/Vazamento	Não decantar os resíduos sólidos.	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-011	Thais
Processo	Válvula S35 (refreamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311075	Abrem e fecham para permitir o envio do produto para Adegas	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto p/ Adegas	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-009	Thais
Processo	Válvula S46 (refreamento de Mosto)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311076	Enviar o produto para ser resfriado.	Desgaste da sede/Vazamento	Não permitir o envio do produto p/ Adegas	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-008	Thais
Processo	Válvula SS8 (Entrada Agua TQ 01)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311058	Abrem e fecham insagem do tanque de Fervura	Desgaste da sede/Vazamento	Não realizar a insagem (GOP de Freshness)	6	3	54	Realizar check no atuador pneumático da válvula, inspecionando para detectar possíveis falhas.	12M	TEVOC002-016	Thais
Processo	Válvula SS9 (Entrada Agua TQ02)	TE-03110-TQ MOSTO INTERM 02-VP311059	Abrem e fecham insagem do tanque de Fervura	Desgaste da sede/Vazamento	Não realizar a insagem (GOP de Freshness)	6	5	90	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	12M	TEVOC002-017	Thais
Processo	SG7 Circulação no aquecedor	TE-03110-AQUECEDOR MOSTO 01-VP311067	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento de produto a 105°C.	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-014	Thais
Processo	Válvula de Fervura de mosto SS9(undo do AEM)	TE-03110-AQUECEDOR MOSTO 01-VP311065	Circular o mosto entre o Trocador de calor e o Tanque de Fervura a uma temperatura de 105°C	Desgaste da sede/Vazamento	Não aquecer o mosto de forma eficiente, risco de vazamento de produto a 105°C.	6	5	150	Aplicar plano de manutenção de troca mandatória da sede da válvula.	3M	TEVOC002-005	Thais