

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
MBA EM GESTÃO DE ATIVOS**

**FLÁVIO LUIZ MARTIM**

**APLICAÇÃO DA METOLOGIA DE ANÁLISE DE FALHAS COM BASE  
NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: UM ESTUDO  
DE CASO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA  
2019**

**FLÁVIO LUIZ MARTIM**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE FALHAS COM BASE  
NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: UM ESTUDO  
DE CASO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista - MBA em Gestão de Ativos - do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Wanderson Stael Paris

**CURITIBA**

**2019**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
MBA em Gestão de Ativos



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

# **APLICAÇÃO DA METOLOGIA DE ANÁLISE DE FALHAS COM BASE NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO**

por

**FLÁVIO LUIZ MARTIM**

Esta monografia foi apresentada em 23 de dezembro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista - MBA em Gestão de Ativos - outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado

---

Prof. Wanderson Stael Paris  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Neste momento agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

A Deus sem o qual não seria possível essa conquista, fornecendo a proteção, sabedoria e ânimo necessário para vencer esta jornada.

Aos docentes do Departamento de Pós-Graduação em MBA de Gestão de Ativos.

A minha mãe que acreditou nesse sonho e não mediu esforços para que eu pudesse concretizá-lo, estando sempre ao meu lado com todo o apoio necessário.

A minha esposa Ana Clarice Rodrigues Alves, por todo apoio, amor e companheirismo demonstrados nesse período que foi fundamental não só na conclusão deste trabalho, mas também nos passos mais importantes da minha vida.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Wanderson Stael Paris e Prof. Dr. Emerson Rigoni, pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

À Secretaria do Curso, pela cooperação.

À Brado Logística S/A por permitir e apoiar a realização deste estudo dentro de suas unidades.

A todos os meus amigos por contribuírem, cada um à sua maneira, com a realização deste trabalho.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

MARTIM, Flávio Luiz. **Aplicação da Metodologia de Análise de Falhas com Base na Manutenção Centrada em Confiabilidade – um Estudo de Caso**. 2019. 92 fls. Monografia (MBA em Gestão de Ativos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A logística intermodal contemporânea, principalmente na etapa ferroviária, é obrigada a operar dentro de limites, parâmetros e metas pré-estabelecidas, a fim de manter baixos custos para viabilizar o negócio e, ainda, garantir a disponibilidade e confiabilidade dos ativos da companhia para que consiga atingir a alta agilidade e complexidade que é demandada nessa operação. A Análise de Falhas com Base na Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma técnica que pode auxiliar as organizações a desenvolverem um programa de melhorias sistemáticas, atingindo os objetivos em relação ao custo-benefício de forma eficaz. No presente estudo de caso tem-se como principal premissa utilizar conceitos e ferramentas de implementação da MCC, especialmente das etapas de Análises de Falhas, para iniciar a implementação deste tipo de metodologia em uma empresa do ramo supracitado, mais especificamente em um equipamento conhecido como Pórtico Sobre Trilhos (RMG), utilizado na movimentação e empilhamento de contêineres, localizado em uma planta de terminal ferroviário. Dentre as etapas do estudo, tem-se: i) a formação do grupo de projeto; ii) a seleção do sistema em que será aplicado o método e a definição de seus subsistemas; iii) a análise das funções do sistema e de suas falhas funcionais; iv) a definição dos itens críticos e; v) a análise dos modos de falha e efeitos (aplicação de FMEA). Com estas análises, objetiva-se ter um mapeamento com alto nível de detalhamento que possa ser utilizado futuramente para desenvolver avaliações de risco do equipamento, além da elaboração de planos de manutenção mais robustos e eficientes e estudos da confiabilidade bem embasados (até então não existentes na companhia retratada no estudo de caso).

**Palavras-chave:** Manutenção. Confiabilidade. Análise de Falhas. MCC.

## ABSTRACT

MARTIM, Flávio Luiz. **Application of Failure Analysis Methodology based on Reliability Centered Maintenance – a Case Study**. 2020. 92 sheets. Monograph (MBA on Assets Management) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The contemporary intermodal logistics, especially at the railway phase, needs to operate within pre-established limits, parameters and targets, in order to maintain low costs to make the business viable, and also to ensure the availability and reliability of the company's assets to achieve the high agility and complexity that is demanded for this operation. The Failure Analysis, based on the Reliability-Centered Maintenance (RCM), is a technique that can help organizations to develop a systematic improvement program, effectively achieving cost-effectiveness goals. The main purpose of the present case study is to use RCM implementation concepts and tools, particularly from the Failure Analysis steps, to initiate the implementation of this type of methodology in a company of the aforementioned branch, more specifically in an equipment known as Rail Mounted Gantry (RMG), used to move and stack containers, which is located in a rail terminal plant. Among the stages of the study, is had: i) the formation of the project group; ii) the selection of the system in which the method and its subsystems will be applied; iii) the analysis of the functions of the system and its functional failures; iv) the definition of critical items and; v) the analysis of failure modes and effects (FMEA application). With these analyzes, is aimed a high level of detail mapping that can be used in the future to develop equipment risk assessments, in addition to developing more robust and efficient maintenance plans, and well-funded reliability studies (not available until then in the company portrayed in the case study).

**Keyword:** Maintenance. Reliability. Failure Analysis. RCM.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Vista superior do Terminal Brado em Araraquara – SP. ....	22
Figura 2.2 - Foto do pórtico sobre rodas (RMG) situado na unidade de Araraquara.	23
Figura 2.3 - Disponibilidade Inerente do Pórtico RMG do Terminal de Araraquara...	30
Figura 4.1 - Modelo da planilha MCC00-1 de definição da equipe de Projeto .....	43
Figura 4.2 - Modelo da Planilha MCC00-2 da Matriz de Comunicação .....	45
Figura 4.3 - Separação do equipamento entre seus Sistemas e Subsistemas. ....	47
Figura 4.4 - Esquema ilustrativo da divisão de sistemas definidos para o Pórtico. ...	48
Figura 4.5 - Modelo planilha MCC01 de definição das fronteiras do sistema.....	49
Figura 4.6 - Exemplo de planilha MCC01 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação. ....	50
Figura 4.7 - Modelo planilha MCC02 de descrição dos sistemas.....	51
Figura 4.8 - Exemplo de planilha MCC02 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação. ....	51
Figura 4.9 - Fluxograma de processo do sistema de Elevação (sintetizado). ....	53
Figura 4.10 - Planilha MCC03 de diagrama de blocos funcionais preenchida. ....	54
Figura 4.11 - Planilha MCC04 das interfaces de entrada e saída preenchida.....	55
Figura 4.12 - Modelo planilha MCC05 de descrição dos itens físicos. ....	56
Figura 4.13 - Exemplo de planilha MCC05 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação. ....	57
Figura 4-14 - Planilha MCC06 de identificação do histórico de falhas dos itens físicos preenchida.....	58
Figura 4.15 - Modelo planilha MCC07 de correlação das funções com suas falhas funcionais. ....	59
Figura 4.16 - Exemplo de planilha MCC07 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação. ....	60
Figura 4.17 - Exemplo de planilha MCC08 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação. ....	62
Figura 4.18 - Gráfico de Pareto listando os itens físicos e seus respectivos Índices de Criticidade Econômica.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Componentes do NPR - Análise FMEA.....	39
Quadro 4.1 - Etapas e Fases do projeto de execução da MCC na Brado.....	42
Quadro 4.2 - Planilha FMEA de análise do item físico <i>spreader</i> . ....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classes de Funcionamento de um equipamento de levantamento e movimentação de cargas. ....	24
Tabela 2.2 - Estado de solicitação de um equipamento de levantamento e movimentação de cargas. ....	25
Tabela 2.3 - Grupos dos mecanismos de levantamento e movimentação de cargas.....	26

## LISTA DE SIGLAS

MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise de Modo de Falha e Efeito)
RMG	<i>Rail Mounted Gantry</i> (Pórtico Sobre Trilhos)
TEUs	<i>Twenty-foot Equivalent Units</i> (Unidades Equivalentes a 20 pés)
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i> (Tempo Médio para Reparos)
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i> (Tempo Médio entre Falhas)
NPR	Número de Prioridade de Risco
IHM	Interface Homem-Máquina
ICE	Índice de Criticidade Econômica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
1.3	OBJETIVOS .....	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos .....	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>OBJETO DE PESQUISA .....</b>	<b>19</b>
2.1	APRESENTAÇÃO BRADO LOGÍSTICA .....	19
2.2	DETALHES DA OPERAÇÃO DE CONTÊINERES.....	21
2.3	EQUIPAMENTO PÓRTICO SOBRE RODAS (RMG).....	23
2.3.1	Grupo de serviço: classificação do mecanismo conforme NBR 8400 ....	24
2.3.2	Características atuais de Manutenção .....	27
2.3.3	Estatísticas atuais do equipamento .....	27
2.3.3.1	Tempo Médio para Reparos (TMPR ou MTTR) .....	28
2.3.3.2	Tempo Médio entre Falhas (TMEF ou MTBF).....	28
2.3.3.3	Disponibilidade .....	29
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	30
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>31</b>
3.1	CONCEITOS DE MANUTENÇÃO.....	31
3.2	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE .....	33
3.3	FMEA .....	36
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>41</b>
4.1	PREPARAÇÃO DO ESTUDO .....	42
4.1.1	Determinação do grupo de estudos.....	42
4.1.2	Método de comunicação durante o projeto .....	44
4.1.3	Definição dos objetivos e escopo do projeto .....	46
4.1.4	Seleção e determinação do sistema.....	46

4.1.5	Análise das Funções e Falhas Funcionais .....	49
4.1.5.1	MCC01 – Definição das fronteiras de sistema .....	49
4.1.5.2	MCC02 – Descrição dos sistemas.....	50
4.1.5.3	MCC03 – Diagramas de Blocos .....	52
4.1.5.4	MCC04 – Interfaces de Entrada e Saída .....	55
4.1.5.5	MCC05 – Descrição dos Itens Físicos.....	56
4.1.5.6	MCC06 – Histórico de Falhas dos Itens Físicos.....	57
4.1.5.7	MCC07 – Correlação das Funções com as Falhas Funcionais.....	59
4.1.5.8	MCC08 – Correlação entre itens e falhas.....	60
4.1.5.9	MCC09 – Seleção dos itens críticos.....	63
4.1.5.10	MCC10 – Análise de Modos de Falhas e Efeitos .....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE A – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC01.....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE B – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC02.....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE C – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC05.....</b>	<b>82</b>
	<b>APÊNDICE D – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC07.....</b>	<b>86</b>
	<b>APÊNDICE E – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC08.....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Através da visualização do ambiente econômico e produtivo contemporâneo, em que a produção de bens e a execução de serviços vêm se tornando cada vez mais mecanizadas e automatizadas, fica evidente a necessidade de que se mude o cenário no qual o papel da manutenção é vista dentro das instituições, não sendo apenas uma despesa necessária, para ser destacada como uma atividade estratégica cujo intuito é manter a integridade dos ativos de uma companhia e o sucesso de suas operações.

A primeira indústria a confrontar a necessidade desta mudança foi a indústria de aviação civil, em que era essencial que se garantisse o funcionamento dos equipamentos da forma como os usuários esperavam que operassem e com toda a confiabilidade presumível. A partir disto se tratou a manutenção como uma atividade imprescindível desta operação e criou-se o conceito da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), expressão do Inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), que é um processo usado para manter e assegurar que qualquer ativo físico continue a desempenhar a função que lhe foi concebida. Atualmente, entende-se que o monitoramento da confiabilidade também é uma condição essencial para implementação de um novo modelo de gestão da manutenção e, conseqüentemente, dos ativos pois esta sistemática aponta quando e qual a forma utilizar o melhor meio de manutenção (ZAIONS, 2003).

Neste trabalho será implementado um estudo de caso em que será esmiuçado o início das etapas de desenvolvimento da MCC, que se referem às análises de falhas, com o intuito futuro de aumento da confiabilidade do ativo estudado para garantir sua operação com segurança, produtividade, qualidade e baixo custo. O tema estudado é importante para os operadores logísticos envolvidos na cadeia, pois denotará os riscos de não se ter um o mapeamento completo do equipamento e a ciência de suas possíveis falhas, comparando sua condição atual com as especificações de fabricação do equipamento. Não será aplicada a MCC como um todo, pois entende-se que deve se dar enfoque total na etapa de análise de falhas para que seja um processo bem elaborado, sustentável e possa ser implementado a curto prazo na empresa.

A empresa analisada também possui interesse no estudo para que possa atender ao crescimento estimado no seu plano estratégico plurianual, pois entende-se que aumentando a confiabilidade deste equipamento, essencial à movimentação logística das cargas, o equipamento irá possuir um melhor desempenho, levando a ganhos para a companhia, a serem descritos nos capítulos a seguir.

## 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O equipamento estipulado para a análise durante o estudo de caso, o pórtico sobre trilhos (RMG), trata-se de um ativo essencial para o funcionamento da operação do terminal ferroviário cuja parceria foi estabelecida no presente trabalho. A parada deste equipamento pode representar centenas de milhares de reais de prejuízo para a organização e atualmente apenas se tem indicadores em que se observa a disponibilidade do equipamento, os respectivos tempos de execução da manutenção (MTTR) e tempo entre falhas (MTBF). As premissas de manutenção atuais baseiam-se apenas na redução dos tempos de manutenção.

Contudo, ainda não é possível estimar o nível de confiabilidade deste equipamento. Hipoteticamente, pode-se dizer que não se trata de um nível alto de confiabilidade, pois o equipamento ainda apresenta falhas que levam muitas horas ou, até mesmo, dias de manutenção o que afeta a operação de maneira muito negativa e gera custos elevados.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho é justificado devido à necessidade que se tem em reduzir a quantidade de falhas, sua probabilidade de ocorrência e o tempo em manutenção no equipamento estudado, em que não se tem um plano de manutenção bem estruturado, por meio do aumento da confiabilidade do mesmo, o que até então não era o foco do planejamento da manutenção. Para que seja elaborado este plano de manutenção robusto, acredita-se – devido às leituras realizadas e à grande disseminação que o estudo da confiabilidade vem tendo – que seja

possível trazer um novo viés de gestão da manutenção à companhia através da MCC e a etapa inicial para que isto ocorra seria a análise de falhas.

### 1.3 OBJETIVOS

No tópico abaixo temos o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é elaborar um estudo de caso em que é aplicada a metodologia de Análise de Falhas a fim de criar uma base sólida de informações sobre o pórtico (RMG) e preparar a empresa analisada para aplicar futuramente a metodologia MCC de maneira completa.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

1. Mapear o sistema de funcionamento de um Pórtico Sobre Trilhos para Contêineres (RMG).
2. Realizar a Análise de Causa-Efeito (FMEA) no equipamento.
3. Elaborar material de apoio para consultas dos operadores e/ou manutentores em caso de necessidade de manutenções e ocorrência de defeitos ou falhas.
4. Utilizar as etapas 1 a 5 de implementação da MCC, conforme proposto no estudo de Zaions (2003).

### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme colocado por Ventura (2007), toda pesquisa científica necessita definir seu objeto de estudo e, a partir daí, construir um processo de investigação, delimitando o universo que será estudado. De forma mais abrangente, Köche (2015) define que pesquisa é a produção de um novo conhecimento, que seja significativa

para o contexto teórico e social, a fim de preencher uma importante lacuna em uma determinada área de conhecimento.

Gil (2017) destaca que a pesquisa é uma atividade racional e sistemática, exigindo que as ações por ela produzidas sejam planejadas em todas suas etapas. Um método de pesquisa constitui-se de um conjunto de etapas ordenadas, que aliadas ao conhecimento, propiciam a investigação de um fenômeno científico e, para este trabalho, selecionou-se o método de estudo de caso para análise completa da aplicação das etapas introdutórias da metodologia MCC em um equipamento, pois conforme cita Gil (2017, p. 106) “a utilização do estudo de caso delimita a descrição de um fenômeno dentro do seu real contexto”.

Segundo este autor, o estudo de caso não aceita um roteiro rígido para a sua delimitação, mas pode-se definir quatro fases que mostram o seu delineamento: a) delimitação da unidade-caso; b) coleta de dados; c) seleção, análise e interpretação dos dados e; d) elaboração do relatório.

Conforme elencado por Ventura (2007, p. 385) em seu artigo, a primeira fase consiste em “delimitar a unidade que constitui o caso, o que exige habilidades do pesquisador para perceber quais dados são suficientes para se chegar à compreensão do objeto como um todo”. Como nem sempre os casos são selecionados mediante critérios estatísticos, algumas recomendações devem ser seguidas: buscar casos típicos (em função da informação prévia aparentam ser o tipo ideal da categoria); selecionar casos extremos (para fornecer uma ideia dos limites dentro dos quais as variáveis podem oscilar); encontrar casos atípicos (por oposição, pode-se conhecer as pautas dos casos típicos e as possíveis causas dos desvios).

A segunda fase é a coleta de dados que geralmente é feita com vários procedimentos quantitativos e qualitativos: observação, análise de documentos, entrevista formal ou informal, história de vida, aplicação de questionário com perguntas fechadas, levantamentos de dados, análise de conteúdo, etc (VENTURA, 2007).

A terceira fase é conjunta, representada pela seleção, análise e interpretação dos dados. A seleção dos dados deve considerar os objetivos da

investigação, seus limites e um sistema de referências para avaliar quais dados serão úteis ou não. Somente aqueles selecionados deverão ser analisados, o pesquisador deve definir antecipadamente seu plano de análise e considerar as limitações dos dados obtidos, sobretudo no referente à qualidade da amostra, pois se a amostra é boa, há uma base racional para fazer generalizações a partir dos dados. Do contrário, deve-se apresentar os resultados em termos de probabilidade (VENTURA, 2007).

De acordo com Ventura (2007, p. 385) a quarta fase é “representada pela elaboração dos relatórios parciais e finais”. Deve ficar especificado como foram coletados os dados; que teoria embasou a categorização dos mesmos e a demonstração da validade e da fidedignidade dos dados obtidos. Segundo a autora “o relatório deve ser conciso, embora, em algumas situações seja solicitado o registro detalhado”.

Estas etapas para desenvolvimento de um estudo de caso, vão em direção da sistemática proposta para dar início à implementação da MCC em um equipamento localizado em um terminal ferroviário de cargas. Segundo Zaions (2003), a MCC é um método que permite estabelecer sensatamente o que deve ser feito para assegurar que um equipamento continue a cumprir suas funções em seu contexto operacional, determinando tarefas de manutenção, necessárias para manter o sistema funcionando, ao invés de restaurar o equipamento a uma condição ideal. Para a aplicação deste método, pode-se utilizar de oito etapas (elucidadas em seu estudo após análise de diversos casos de implementação da MCC) que vão desde a montagem do grupo de discussão do projeto, passando pela análise de falhas, até a elaboração do plano de manutenção do equipamento com o fim de se atingir a ótima confiabilidade do mesmo, sendo este processo similar ao que propõe Ventura (2007) sobre as etapas supracitadas para o desenvolvimento de um estudo de caso.

As fases que permeiam este trabalho são somente aquelas que remetem à Análise de Falhas, com o objetivo de identificar os sistemas do maquinário, as falhas possíveis e suas consequências. Por isto, as etapas propostas por Zaions (2003) aplicadas serão somente: i) a formação do grupo de projeto; ii) a seleção do

sistema em que será aplicado o método e seus subsistemas; iii) a análise das funções do sistema e de suas falhas funcionais; iv) a definição dos itens críticos e; v) a análise dos modos de falha e efeitos (aplicação de FMEA).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se estruturado de acordo com os seguintes capítulos:

Capítulo 1) os comentários iniciais, o problema a ser discutido e a justificativa de sua escolha, os objetivos, a metodologia de pesquisa e a presente estrutura do trabalho;

Capítulo 2) apresentação do objeto de pesquisa, introdução ao processo da operação logística de contêineres e dados sobre o equipamento em que será aplicado o estudo de caso;

Capítulo 3) referencial e fundamentação teórica para desenvolvimento do trabalho, em que é descrita a importância do estudo da Manutenção, apresentando seu contexto histórico e evolução dos seus métodos e técnicas, seguindo para a apresentação dos conceitos básicos da MCC e de cada uma de suas etapas, dando ênfase às etapas que serão aplicadas e suas ferramentas de apoio, mais especificamente a FMEA que será utilizada no decorrer do trabalho;

Capítulo 4) aplicação do referencial teórico ao estudo de caso em que se aplica a metodologia de Análise de Falhas ao pórtico (RMG) de uma empresa de logística intermodal, descrição operacional de cada etapa executada e dos recursos envolvidos;

Capítulo 5) apresentação dos resultados da aplicação do referencial teórico, dificuldades encontradas, soluções para as dificuldades encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 OBJETO DE PESQUISA

A fim de contextualizar o cenário em que se desenvolve o presente trabalho, e permitir ao leitor um maior entendimento do objeto analisado, neste capítulo são apresentados mais detalhes do equipamento, do processo de manutenção, da operação e da empresa em que foi realizado o estudo de caso.

### 2.1 APRESENTAÇÃO BRADO LOGÍSTICA

Criada em 2011, unindo estrutura ferroviária e terminais de armazenagem, a Brado Logística é atualmente um dos grandes players brasileiros da área de transportes e foi fundada para atuar como provedora de inteligência logística de movimentação de contêineres para pequenos, médios e grandes embarcadores (BRADO, 2019). Oferecendo soluções para o transporte de cargas aos principais polos de produção e consumo do Brasil, a empresa planeja e realiza operações que buscam combinar de forma otimizada diferentes modais (ferroviário, rodoviário e hidroviário) com a rede nacional de terminais, armazéns e portos. Desde 2014, suas operações são acompanhadas por meio do Centro de Controle de Operações criado em Curitiba (PR), onde deste então fica sua sede corporativa e é controlado todo o ritmo da circulação das cargas da companhia. Na sede corporativa também se situam as demais atividades de gestão da empresa controladas pelos diversos setores, dentre eles, por exemplo, a área de Gestão da Manutenção, a ser explanada em um tópico a seguir.

Em 2015 a empresa passa a fazer parte da Cosan Logística, um dos mais importantes grupos econômicos do Brasil, e desenvolve um plano de expansão de longo prazo em que a estratégia se centra na elaboração e implantação de soluções customizadas que combinem diferentes modais, terminais multimodais e armazéns. Com isto, a empresa passa a adquirir novos sistemas integrados que permitem mais transparência e confiança no relacionamento com seus clientes, que têm acesso em tempo real ao andamento das suas operações e, conseqüentemente, possuem ciência caso haja contratempos durante o processo. Contratempos como uma máquina de operação de contêineres que esteja parada e possa atrasar o carregamento das demais cargas nos trens (BRADO, 2019).

Assim sendo, a Brado vem investindo cada vez mais em formas de gestão e tecnologias que permitam que suas operações fluam de forma adequada e com o menor número possível de perdas de transportes. Por meio desta política, ações como o estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade – que prevê o aumento da confiabilidade nas máquinas que efetuam o carregamento de contêineres e a consequente redução de suas quebras –, em um de seus terminais foi permitido e incentivado (BRADO, 2019).

Para que se tenha conhecimento, atualmente a necessidade de parada de uma máquina durante a operação de carregamento de um trem pode impactar no carregamento de até 100 contêineres – que necessitam aguardar o trem ser carregado por completo – para poder seguir viagem e conseguir cumprir com o tempo de trânsito esperado e chegar aos portos brasileiros sem impacto de multas por atraso ou perdas de agendamento nos navios (*bookings*). Além deste risco, em casos urgentes de quebra de máquina, faz-se necessário providenciar a locação de equipamentos substitutos, a um custo altíssimo, ou, ainda, o envio das cargas por meio de frete SPOT<sup>1</sup> rodoviário. Ou seja, a parada de equipamentos de carregamento ocasiona um alto prejuízo para a organização em diversos âmbitos.

A empresa conta atualmente com escritórios, armazéns de carga e terminais ferroviários nos estados de Mato Grosso, São Paulo e Paraná. A unidade sugerida para aplicação do estudo trata-se do Terminal Intermodal de Araraquara pois atualmente esta planta de operação é diretamente dependente de uma única máquina de carregamento, o pórtico RMG, máquina cuja manutenção deve ser mais precisa possível para evitar quebras inesperadas.

Este terminal atende as regiões de Araraquara, Américo Brasiliense, São José do Rio Preto, Ribeirão Preto, Barretos, a região sul de Minas Gerais e Goiás, com operações de cargas de açúcar, carne, papel, cítricos e peças automotivas, que são escoadas para o Porto de Santos – em São Paulo –, atuando tanto nos fluxos de exportação quanto no de importação nestes mercados. Já no âmbito do mercado doméstico brasileiro, fluxo chamado de “mercado interno”, o terminal

---

<sup>1</sup> O significado do termo SPOT refere-se a “local”, outras vezes a “imediato”, em tradução livre do inglês para o português, e está relacionado a uma situação de mercado que envolve o pagamento à vista, com entrega imediata do produto ou serviço. Por isso, quando se fala em SPOT para logística, entende-se que é preciso envolver outra transportadora no serviço de entrega para atender a demanda. (M&O Sistemas, 2017).

recebe cargas vindas de Rondonópolis – no Mato Grosso –, envia os contêineres para desova nos clientes e retorna-os para o MT, cheios de cargas ou vazios para que sejam estufados<sup>2</sup> novamente na origem.

A planta possui 242.000 m<sup>2</sup> de área total; 3 ramais ferroviários, 60 tomadas para contêineres refrigerados e capacidade de operação de 1200 TEUs (*Twenty-foot Equivalent Units* ou Unidades Equivalentes a 20 pés) por mês.

## 2.2 DETALHES DA OPERAÇÃO DE CONTÊINERES

Diariamente, o terminal recebe ao menos um trem com quantidade de vagões que varia de 29 (Mercado externo) a 49 vagões (mercado interno) que são posicionados ao longo dos 3 ramais ferroviários presentes na unidade. Desde setembro de 2018, a planta opera em três turnos (24h diretamente) e efetua cerca de 160 movimentações, entre carga e descarga, ao longo de um dia com um único equipamento. Ou seja, aproximadamente um posicionamento de contêiner a cada 09 minutos.

Quando o terminal está operando um trem de mercado externo, os vagões são divididos em quantidades iguais em cada linha de modo a evitar que o pórtico RMG necessite transladar carregado (ou seja, transportando um contêiner, seja este cheio de produtos ou vazio), pela curva situada no terminal entre os 400m e 500m de linha, conforme pode ser visualizado na Figura 2.1 Contudo, para os carregamentos de mercado interno, faz-se necessário que o equipamento translate na região de curva transportando contêineres para que possa posicionar as unidades adequadamente ao longo da linha em local próximo à área de estufagem. Esta informação é um dos indícios de que particularidades desta operação podem causar impactos diferentes dos previstos em projeto ao equipamento.

---

<sup>2</sup> O processo de “estufar”, ou “estufagem”, de um contêiner é o nome dado ao processo de carregar mercadorias para preparar este, ou outro tipo de transporte, para embarque (WOOLLARD, 2014). Também se utiliza os termos “ova” ou “carga”. Analogamente, o termo “desova” é utilizado para o descarregamento da unidade.

Figura 2.1 - Vista superior do Terminal Brado em Araraquara – SP.



Fonte: Google Maps (Obtido em: Julho/2019).

Outro dado importante acerca da operação neste terminal é que as cargas e descargas de trens são feitas integralmente por meio desta única máquina e, por isto, para o posicionamento dos contêineres no pátio, em certos casos faz-se necessário que o pórtico translade por alguns metros transportando peso, situação que não é recomendada no manual do equipamento. Porém, até o momento não se possui ciência de qual é o impacto estrutural que este movimento pode estar causando no equipamento e, devido aos dados imprecisos quanto a este impacto e ao alto custo para se manter uma máquina auxiliar, não é justificável a aquisição de um equipamento auxiliar para evitar esta ação. Nota-se então, novamente, uma ação possivelmente causadora de falha que requer um estudo aprofundado para que se tenha conhecimento dos impactos na estrutura do pórtico.

O Terminal atualmente conta com 32 funcionários, destes há 04 operadores de pórtico que se revezam entre os três turnos e estão constantemente junto ao equipamento. O suporte de manutenção é dado em campo por um eletricitista e um mecânico em horário comercial e análises mais elaboradas são efetuadas por um time de analistas e especialistas, da área de Gestão da Manutenção na unidade corporativa localizada em Curitiba - PR.

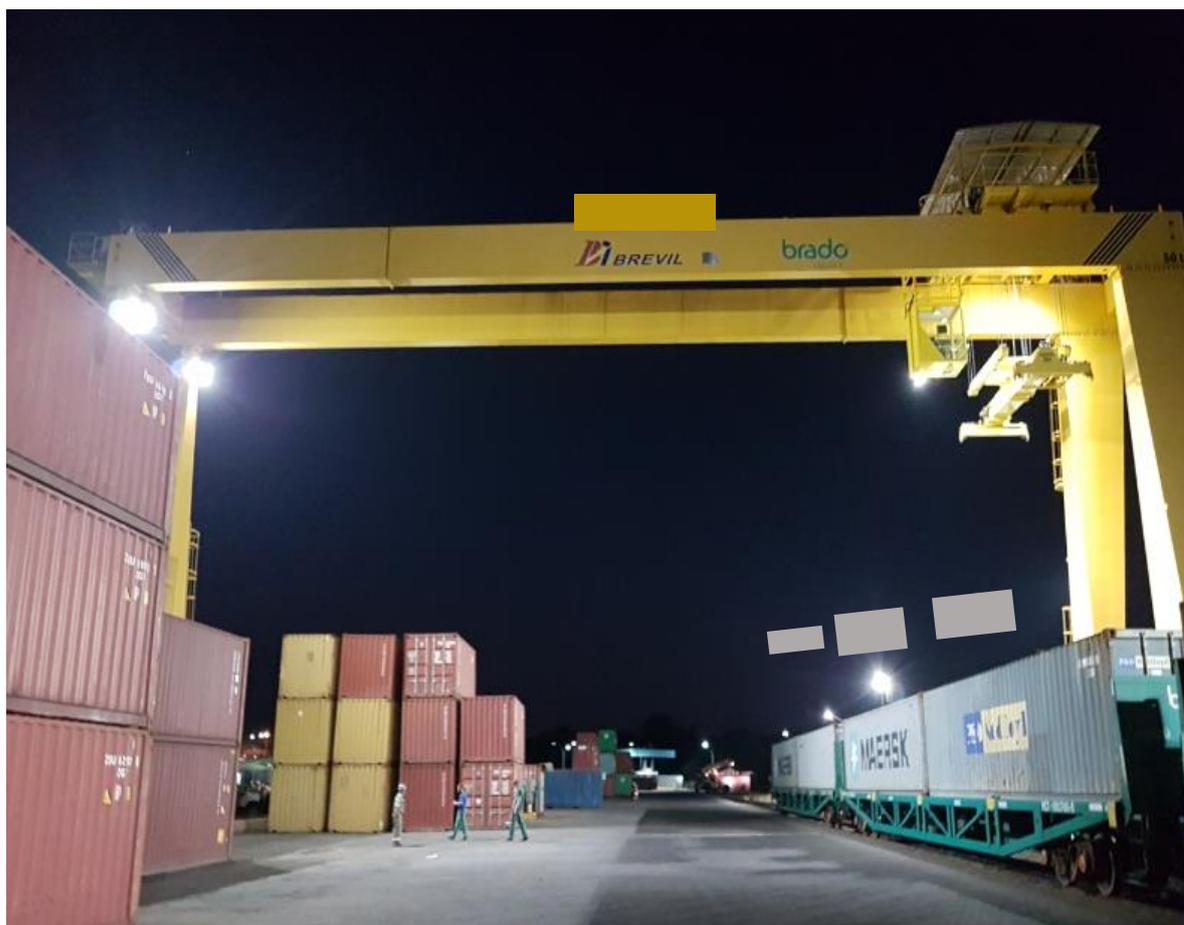
Em resumo, nesta operação o equipamento Pórtico é responsável por fazer as operações de carga, descarga e posicionamento para estufagem dos contêineres (carregamento com produto que chega ao terminal de caminhão) e as peculiaridades desta operação podem impactar na estrutura do maquinário.

### 2.3 EQUIPAMENTO PÓRTICO SOBRE RODAS (RMG)

A seguir, são informadas especificações técnicas do equipamento (foto ilustrativa na Figura 2.2), conforme consta em manual de instruções, e dados adicionais de suporte que possam contribuir com as análises do presente estudo.

- Descrição: PÓRTICO ROLANTE BIVIGA 50 TONELADAS;
- Ano de fabricação: 2015;
- Marca: BREVIL – Bremer & Marcovil Metalomecânica Ltda.;
- Peso: 103452 kgf;
- Grupo de serviço: Estrutura = 3M; Mecanismo de Elevação Principal = 3M; Mecanismo de Translação do Pórtico = 3M.

Figura 2.2 - Foto do pórtico sobre rodas (RMG) situado na unidade de Araraquara.



Fonte: Divulgação Brado (Obtido em: Junho/2019).

### 2.3.1 Grupo de serviço: classificação do mecanismo conforme NBR 8400

Os mecanismos de levantamento e movimentação de cargas, de acordo com a norma ABNT NBR 8400, específica para este tipo de equipamento e que determina os critérios mínimos para sua operação, são classificados em diferentes grupos conforme o serviço que efetuam a fim de que se projete adequadamente suas estruturas e seja possível padronizar os fatores de produção ao maquinário, além de se obter melhor conhecimento da vida útil do equipamento.

Os aspectos tomados em conta para a escolha do grupo a que pertence um determinado mecanismo são:

- a) **Classe de funcionamento**: que caracteriza o tempo médio, estimado em número de horas, de funcionamento diário do mecanismo. Vide Tabela 2.1 para as definições de norma das classes de funcionamento. Um mecanismo somente é considerado em funcionamento quando está em movimento. A noção de tempo médio define-se para os mecanismos regularmente utilizados durante o ano, considerando somente os dias de trabalho normal (exclusão dos dias de descanso);
- b) **O estado de solicitação**: que caracteriza em que proporção um mecanismo, ou um elemento de mecanismo, é submetido à sua solicitação máxima ou somente a solicitações reduzidas. Vide Tabela 2.2 para a classificação de estados de solicitação conforme norma.

A partir das classes de funcionamento e dos estados de solicitação, classificam-se os mecanismos em grupos de serviço conforme a Tabela 2.3. Pode-se observar que o pórtico avaliado no estudo de caso em questão, tem suas estruturas classificadas na categoria “3M”.

Tabela 2.1 - Classes de Funcionamento de um equipamento de levantamento e movimentação de cargas.

Classe de Funcionamento	Tempo Médio de Funcionamento diário estimado (h)	Duração total teórica da utilização (h)
-------------------------	--	---

V0,25	$t_m \leq 0,5$	$\leq 800$
V0,5	$0,5 < t_m \leq 1$	1600
V1	$1 < t_m \leq 2$	3200
V2	$2 < t_m \leq 4$	6300
V3	$4 < t_m \leq 8$	12500
V4	$8 < t_m \leq 16$	25000
V5	$t_m > 16$	50000

Notas: a) Os tempos diários de funcionamento são considerados para uma utilização na velocidade nominal do mecanismo; b) As classes V1 a V5 referem-se a mecanismos utilizados de modo regular; c) A classe V0,5 refere-se principalmente a movimentos para trazer o equipamento a uma posição determinada e a partir da qual uma série de operações se efetua sem utilização deste movimento (por exemplo: translações de grua portuária); d) A classe V0,25 se refere a movimentos de utilização casual; e) As durações de uso da terceira coluna devem ser consideradas como valores convencionais, servindo de base ao cálculo de elementos de mecanismos, para os quais o tempo de utilização serve de critério para a escolha do elemento (rolamentos, engrenagens em certos métodos); f) A duração total de utilização não pode em caso algum ser considerada como garantia de vida útil.

Fonte: NBR 8400 (1984).

Tabela 2.2 - Estado de solicitação de um equipamento de levantamento e movimentação de cargas.

Estados de Solicitação	Definição	Fração da Solicitação Máxima
1	Mecanismos ou elementos de mecanismos sujeitos a solicitações reduzidas e raras vezes a solicitações máximas.	$P = 0$
2	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos, durante tempos sensivelmente iguais, a solicitações reduzidas, médias e máximas	$P = 1/3$
3	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos na maioria das vezes a solicitações próximas à solicitação máxima	$P = 2/3$

Fonte: NBR 8400 (1984).

Tabela 2.3 - Grupos dos mecanismos de levantamento e movimentação de cargas.

Estados de Solicitação	Classes de Funcionamento						
	V 0,25	V 0,5	V1	V2	V3	V4	V5
1	1Bm	1Bm	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m
2	1Bm	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m
3	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m	5 m

Fonte: NBR 8400 (1984).

De acordo com o manual de utilização do Pórtico RMG, elaborado pelo fabricante, há que se destacar alguns pontos de atenção quanto ao seu grupo de serviço:

- a) O equipamento para utilização geral é uma estrutura que foi projetada para realizar as operações comuns de levantamento, transporte e descida dentro dos limites estabelecidos pelo grupo de serviço do equipamento. A talha de elevação para utilização geral não deve ser modificada ou utilizada para qualquer outro fim sem autorização por escrito do fabricante.
- b) A talha de elevação para utilização geral é adequada apenas para utilização na indústria geral, não é adequada para utilização em ambientes agressivos.
- c) O equipamento deve ser posicionado perpendicularmente acima da carga, de forma que não haja forças de tração lateral.
- d) Quando o produto foi concebido e adquirido, a vida útil prevista do produto foi acordada com base no uso esperado do produto (ou “Grupo de Serviço”), conforme determina a norma.
- e) A talha de elevação (também chamada de “*spreader*”) que é usada constantemente para levantar cargas pesadas foi projetada para estar num grupo de serviço muito diferente de um produto do mesmo tamanho que é usado ocasionalmente apenas para levantar cargas leves. Caso o equipamento seja utilizado de acordo com o grupo de serviço concebido, a vida útil esperada deve ser alcançada (MANUAL SAUR, 2015, p.06).

O grupo de serviço baseia-se em vários fatores, incluindo o hardware, o tempo de vida previsto, o número de turnos e elevações, as distâncias percorridas, a proporção de itens pesados e leves levantados e as condições ambientais onde o produto é usado. Por exemplo, caso seja alterado o formato de operação de turno único de trabalho para um trabalho de três turnos, terá de se reduzir as cargas ou as distâncias levantadas e/ou transportadas para permanecer dentro das

exigências do grupo de serviço. Contudo, atualmente estes tipo de análise ainda não é considerada nas programações da manutenção do equipamento estudado.

### 2.3.2 Características atuais de Manutenção

As manutenções são programadas pelo time corporativo de Gestão de Manutenção e executadas, periodicamente, em campo pelo eletricitista e mecânico residentes no terminal. Posteriormente, os dados da manutenção e indicadores são avaliados pela equipe corporativa.

Conforme dados coletados com os responsáveis pelo equipamento, verificou-se que atualmente as manutenções programadas realizadas no equipamento são em sua totalidade aquelas recomendadas pelo fabricante do pórtico – de acordo com o horímetro do equipamento – e pelos fabricantes das peças componentes (como motores, rolamentos, eixos, etc) – de acordo com a vida útil e horímetro dos itens (se aplicável).

Em geral, são realizadas manutenções: a) preventivas, como a lubrificação das partes móveis, reaperto de fixações e conexões, troca de peças conforme ciclo de vida e limpeza geral; b) preditivas, como inspeções, análises de trincas e análises de fadiga de componentes; c) corretivas programadas, que são consertos com datas agendadas que ocorrem se identificada a necessidade através das inspeções realizadas nas manutenções preventivas e preditivas e; d) corretivas, quando há necessidade de parada de máquina sem agendamento prévio devido quebra ou mal funcionamento de componente.

### 2.3.3 Estatísticas atuais do equipamento

Para acompanhamento da performance do equipamento e das manutenções que são realizadas no maquinário, alguns indicadores são acompanhados mensalmente pelo terminal e pelo time de gestão. Abaixo segue dados dos principais parâmetros observados, para o desempenho de janeiro a junho de 2019.

### 2.3.3.1 Tempo Médio para Reparos (TMPR ou MTTR)

O Tempo Médio para Reparos, mais conhecido como MTTR (*Mean Time to Repair*), segundo Kardec e Nascif (2009, p. 36), “é um indicador que leva em conta apenas as manutenções corretivas, medindo o tempo médio de realização de reparos (ou tempo em que o equipamento está em conserto)”.

Para Kardec e Nascif (2009), o MTTR é um importantíssimo indicador para a Manutenção, pois permite visualizar a sua performance visto que depende de fatores como: 1) da facilidade de o equipamento ser mantido; 2) da capacitação profissional de quem faz as intervenções e; 3) da característica de organização e planejamento da manutenção.

Tal indicador pode ser calculado como:

$$\text{MTTR} = \text{Tempo total de parada} / \text{Total de paradas}$$

Para o Pórtico RMG do Terminal de Araraquara, no período de janeiro a junho de 2019, tem-se que o MTTR é igual a 44 horas, ou seja, as manutenções duram em média 44 horas. Contudo, no ano de 2019, houve apenas 02 paradas para manutenções corretivas (uma durando 33 horas e outra durando 55 horas), levando a uma baixa amostragem para um indicador mais apurado. De qualquer forma, é um bom indício de que ações deveriam ser tomadas para dar maior agilidade à execução de manutenções. Com base neste número, por exemplo, identificou-se a necessidade de um estoque de segurança de peças no terminal, a fim de acelerar a conclusão da manutenção que até então dependia da compra e chegada de peças para conserto.

### 2.3.3.2 Tempo Médio entre Falhas (TMEF ou MTBF)

Ainda no livro de Kardec e Nascif (2009), pode-se obter também o conceito do Tempo Médio entre Falhas ou *Mean Time Between Failure* (MTBF) que é um dos indicadores que é utilizado para se calcular a confiabilidade de um equipamento.

Pode-se dizer que este indicador é o inverso da taxa de falhas ou, mais simplificada, ele pode ser calculado como:

$$\text{MTBF} = (\text{Tempo total de operação} - \text{tempo total em quebra}) / \text{N}^\circ \text{ de incidentes}$$

Para o equipamento objeto do presente estudo, tem-se um MTBF de 1366,78 horas. Ou seja, em média há uma parada por falha a cada 56 dias de operação.

### 2.3.3.3 Disponibilidade

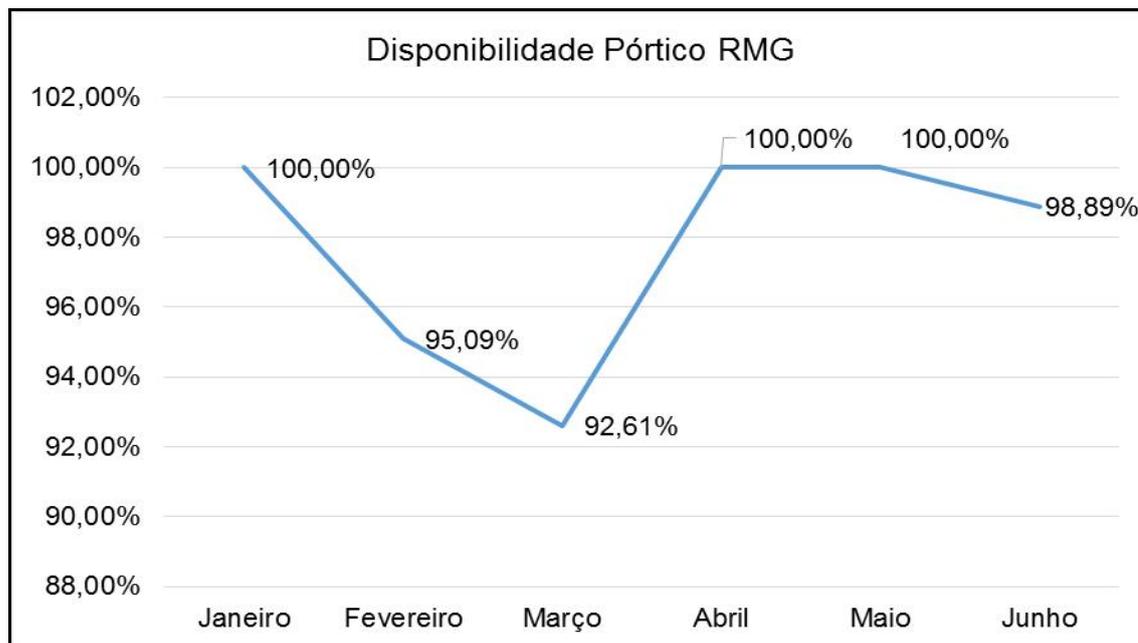
O indicador chamado de “Disponibilidade” que é utilizado para análise deste equipamento, devido aos parâmetros utilizados para cálculo, pode ser descrito por Kardec e Nascif (2009) como sendo, especificamente, a “Disponibilidade Inerente” do equipamento, que é a forma mais simplificada de cálculo da Disponibilidade. Sendo:

$$\text{Disponibilidade Inerente (\%)} = [\text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})] \times 100$$

Esta disponibilidade inerente apenas leva em conta o tempo de reparo excluindo do tempo de máquina parada outros tempos como tempos de logística, tempos de espera de peças, deslocamentos, dentre outros. Este indicador reflete o percentual de tempo que o equipamento estaria disponível se não ocorressem outras perdas de tempo ou atrasos no processo produtivo. Para cálculos mais apurados, deve-se buscar pela Disponibilidade Técnica (que passa a observar tanto manutenções corretivas quanto preventivas) ou a Disponibilidade Operacional (considera todos os tipos de parada, sendo a avaliação mais real da disponibilidade).

Para o equipamento em questão, elaborou-se, com base nos dados fornecidos pela empresa, um gráfico demonstrando a Disponibilidade Inerente de forma simplificada a seguir (Figura 2.3).

Figura 2.3 - Disponibilidade Inerente do Pórtico RMG do Terminal de Araraquara.



Fonte: o autor (2019).

## 2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordadas as principais informações acerca da empresa e equipamento em que se desenvolveu o estudo de caso. É importante ressaltar que o plano otimista de expansão da companhia estudada favorece a entrada e implementação de tecnologias ou análises – como o estudo em questão – a fim de que se obtenha maior confiabilidade nos processos e ativos e, conseqüentemente, um melhor nível de atendimento aos clientes. A necessidade de um bom funcionamento do equipamento, em tempo integral, se torna ainda maior quando se sabe que é o único maquinário disponível para efetuar os carregamentos de contêineres.

Ao avaliar os indicadores e formato de operação do pórtico, nota-se que há margem para atuação em busca de melhorias. Para isto, uma análise completa do sistema de funcionamento do equipamento e a proposição de soluções pode ser executada a partir de um estudo focado de mapeamento do equipamento, com o intuito de posteriormente executar a análise de falhas, usando-se a MCC. No próximo capítulo são abordados os conceitos da MCC e o procedimento escolhido para seu desenvolvimento no presente trabalho.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, coloca-se com mais detalhes as ideias expostas no item introdutório do presente trabalho acerca da metodologia conhecida como Manutenção Centrada em Confiabilidade e da ferramenta de qualidade chamada de Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA).

#### 3.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO

Conforme cita a literatura, pode-se dizer que “manutenção”, em seu conceito original, é um conjunto de atividades desenvolvidas com o objetivo de manter a função original de um equipamento e evitar sua degradação causada pelo desgaste natural ou pelo uso constante (XENOS, 1998).

Um conceito mais atual e aprofundado é colocado por Kardec e Nascif (2009, p. 69) em seu livro e cita que:

A missão atual da Manutenção é: garantir a Confiabilidade e a Disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

As tarefas de manutenção permitem, em geral, e se respeitadas as características acima, o retorno de um equipamento às suas condições originais, mas em um sentido mais abrangente, essas tarefas também permitem modificações nas condições originais do equipamento, método que atualmente é conhecido “*retrofit*”, que tem por finalidade evitar a ocorrência ou recorrência de falhas, reduzir o custo e aumentar a produtividade (XENOS, 1998).

Acrescentando ao tema, pode-se expor que, segundo Barrientos (2004), “*retrofit* é a conjunção dos termos ‘retro’, oriundo do latim, cujo significado é ‘movimentar-se para trás’, e ‘fit’ do inglês, que significa adaptação, ajuste”. Ou seja, *retrofit* é o processo de modernização para fazer com que determinado objeto volte a ter as características para a qual foi projetado ou que passe a ter características melhoradas por meio de modificações ou implementos. As atividades intrínsecas à Manutenção Centrada em Confiabilidade, a ser descrita com detalhes a seguir, permitem que se tome decisões acerca da possibilidade, ou

necessidade, de utilizar-se de *retrofit* na máquina, em detrimento de apenas continuar com as manutenções convencionais. Tal conceito é trazido à tona por permitir continuidade a um estudo como este de análise de falhas de um equipamento a fim de permitir melhorias em um equipamento específico.

Conforme colocado por Kardec e Nascif (2009), a atividade de manutenção vem passando por mais mudanças nas empresas do que quaisquer outras atividades. Isso se dá em decorrência de uma série de fatores que podem ser exemplificados como sendo:

- a) Um aumento rápido da quantidade e da diversidade dos itens físicos e estruturas a que se deve manter (instalações, equipamentos e edificações);
- b) Projetos muito mais complexos (cada vez mais recorrente com o rápido avanço da tecnologia e redução de seus custos);
- c) Novas técnicas de manutenção (pode-se citar, por exemplo, as técnicas de manutenção proativa – em que os esforços são voltados à busca da causa raiz de uma falha – e a manutenção regenerativa – em que se tem máquinas capazes de realizar suas próprias tarefas de manutenção – que são bastante atrativas, mas que não serão detalhadas neste escopo);
- d) Novos enfoques sobre a organização da manutenção, suas responsabilidades e suas funções (para com a gestão de custos, gestão de recursos, segurança dos colaboradores e proteção do meio ambiente, por exemplo, conforme citado também por Kardec e Nascif (2009);
- e) Importância da manutenção como função estratégica para melhoria dos resultados do negócio e aumento da competitividade das organizações (pois, com linhas produtivas e equipamentos mais disponíveis e confiáveis, tem-se menos perdas de tempo de produção, menores custos, maior qualidade, melhores entregas, dentre outros fatores chave para um bom desempenho das empresas).

Segundo Souza (2004), os tipos de manutenção indicam de que maneira a intervenção nos equipamentos é realizada. Dentre as diversas maneiras de classificá-los, um dos mais usuais separa a manutenção não-planejada e a manutenção planejada. A manutenção não-planejada consiste na correção da falha após a sua ocorrência, proveniente de uma interrupção de funcionamento. Nesse caso, a interrupção do equipamento pode impactar em perda de produtividade e na

qualidade do produto, além de que elevando os custos de manutenção. A manutenção planejada, por sua vez, tem como objetivo a realização de ações que visam reduzir ou eliminar impactos no ciclo produtivo, mitigando custos e tempo de reparo (ZAIONS, 2003).

Zaions (2003, p. 43), coloca que a manutenção planejada pode ser subdividida em:

(a) Manutenção Corretiva; (b) Manutenção Preventiva; (c) Manutenção por Melhorias. Enquanto a manutenção preventiva divide-se em: (i) Manutenção de Rotina, (ii) Manutenção Periódica e (iii) Manutenção Preditiva.

Dentre os diversos métodos que buscam melhorar o desempenho da manutenção, destaca-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

### 3.2 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Segundo Lafraia (2001), a consideração da possibilidade do risco de falha de um sistema ou equipamento indica como aspecto fundamental da análise de confiabilidade conduzida pela MCC. O autor ressalta que a MCC tem como objetivo de manter a performance estimada com índice restrito de falha de um sistema. O objetivo da MCC é manter a função do sistema, e não recompor o item físico para uma condição ideal. Com a constatação de modos de falhas a manutenção se foca nas aplicabilidades fundamentais do equipamento, contribuindo para a redução de custos.

Segundo Zaions (2003), em síntese, a MCC é um mecanismo que possibilita de forma racional estabelecer o que deve ser feito para garantir que um equipamento siga a realizar em sua conjuntura operacional, estabelecendo rotinas de manutenção, fundamentais para assegurar o sistema operando, ao contrário de restaurar o equipamento a um estado ideal.

O emprego da MCC garante o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos itens físicos, além de aumentar a produtividade, a segurança operacional e ambiental e a redução de custos de uma empresa. Também, assegura

que novos equipamentos sejam colocados em serviço efetivo com agilidade, confiança e precisão (ZAIIONS, 2003).

Lafraia (2001) define a confiabilidade como a probabilidade de um item desempenhar adequadamente seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas. A confiabilidade de um componente pode ser retratada matematicamente como a probabilidade do mesmo executar sua função com sucesso, conseguindo acatar valores entre zero e um, e conseguindo ser calculada por axiomas da probabilidade, tornando-se um indicador percentual, contrário à probabilidade de falha.

Segundo Moubray (2001), a MCC constitui em um método empregado para apontar o que deve ser realizado em um sistema industrial a fim de garantir que itens físicos desempenhem suas funções. Na década de 1960 comprimida pela necessidade aprimorar a confiabilidade dos equipamentos e, simultaneamente, estabilizar os custos de manutenção a indústria aérea americana aperfeiçoou as técnicas que compõem o MCC.

Segundo Lafraia (2001), como principais ganhos previstos com a efetivação da MCC cita a potencialização das atividades da manutenção, através de um diagnóstico das consequências das falhas. Outrossim, espera-se uma redução nas atividades da manutenção. Segundo Zaions (2003), notou-se que a partir da MCC avanços na segurança humana e proteção ambiental e também no aumento da performance operacional no quesito volume, qualidade do produto e serviço ao cliente. Em consequência, deseja-se um aumento no ciclo produtivo dos itens mais dispendiosos, criação de um histórico de dados completo das manutenções realizadas e melhoria no trabalho em equipe, elevando o clima motivacional de todos envolvidos.

No que tange as etapas do trabalho, foi usada a sistemática estudada por Zaions (2003) para aplicação da MCC, baseada nas metodologias propostas por Moubray (2000), Smith (1993), Rausand e Eirnasson (1998), método que também pode ser visualizado em Lafraia (2001). A sistemática sugerida pelos primeiros autores compreende oito etapas associadas ao item físico ou sistema sob manutenção, todas englobadas pelos cinco passos propostos por Lafraia (2001) a

fim de implementar a MCC. A etapa 1 envolve a preparação do estudo. Compreende a definição do grupo que trabalhará no processo de implementação da MCC. Nessa etapa do processo, são definidos os objetivos e o escopo da análise (ZAIONS, 2003).

A segunda etapa contempla a seleção do sistema. Nessa etapa, deve-se determinar o que vai ser avaliado e em que nível. Deve-se decidir se a análise será realizada na planta industrial, em um sistema, em itens físicos ou em componentes (RAUSAND; EINARSSON, 1998).

Segundo Lafraia (2001), o objetivo da análise funcional é traduzir a estrutura física de um item em palavras. Por isso, a Análise das Funções e Falhas Funcionais é uma das primeiras etapas da operacionalização da MCC, constituindo a terceira etapa do método. Nesta etapa, são identificadas as extremas do sistema, executa-se um detalhamento do sistema e de suas especificações e é feito um levantamento de funções e falhas funcionais (RAUSAND; EINARSSON, 1998). A quarta etapa está relacionada à apuração dos pontos críticos: são detectados os pontos possivelmente críticos com relação às falhas funcionais listadas anteriormente (ZAIONS, 2003).

Ainda que os dados sobre manutenção já viessem sendo agrupados desde o princípio do estudo, somente depois da compreensão do contexto e dos equipamentos é que esses dados são utilizados. Sellitto (2005) destaca que se deve observar com ênfase para os dados de tempo entre falhas de equipamentos, sendo que através do desmembramento dessas informações é possível indicar tempos ótimos entre manutenções. Deste modo, a quinta etapa está relacionada especialmente ao estudo dos dados, consistindo em segregar informações suficientes para contribuir nas decisões nas demais etapas. Envolve também os cálculos de confiabilidade dos componentes (ZAIONS, 2003).

Segundo Siqueira (2005), a MCC recomenda a documentação sistemática das falhas possíveis em um sistema, de forma permanente e auditável. Então a Análise de modos e efeitos de falha (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) é uma das técnicas mais utilizadas, assim como a Análise da Árvore de Falhas (FTA – Fault Tree Analysis), recomendada por Rausand e Einarsson (1998). A aplicação dessas ferramentas constitui a sexta etapa da aplicação da MCC (LAFRAIA, 2001; ZAIONS, 2003). As duas etapas restantes à aplicação da MCC dizem respeito ao estabelecimento de um Plano de Manutenção para os itens analisados. A sétima

etapa contempla a seleção de tarefas preventivas. Uma vez que os modos de falha estão identificados, serão selecionadas as ações viáveis para sua prevenção, através da aplicação de uma árvore lógica de decisão de tarefas e de um diagrama de decisão do tipo de tarefa, tendo em vista o efeito potencial da falha associada. Na oitava etapa, é definida a frequência das tarefas de manutenção preventiva relacionadas na etapa anterior (RAUSAND; EINARSSON, 1998).

Conforme citado previamente, para o trabalho em questão, apenas serão estudadas as etapas 1 a 5 de introdução à MCC, concluindo-se o estudo com a aplicação de FMEA no equipamento abordado.

### 3.3 FMEA

O sucesso na utilização das ferramentas gerenciais está inevitavelmente ligado à disponibilidade, acesso, registro, informações de qualidade e comprometimento de todas as áreas (KARDEC; NASCIF, 2009). A utilização de dados para administração e levantamento das apurações na finalização de cada processo, afiliado à autonomia cedida aos integrantes da equipe da manutenção para deliberarem, com base na utilização de recursos gerenciais, proporciona velocidade na produção através decifrações ágeis de problemas e confrontação de resultados, sendo capaz de alterar ou confirmar as finalidades e os meios aplicados no decorrer do processo.

Desta forma, os recursos gerenciais, associadas ao conhecimento, passam a ser parte integrante do processo de gestão estratégica e do processo produtivo (PONGELUPPE, 2002).

Entre os recursos gerenciais, salienta-se o método FMEA, elaborado em 1949 por militares americanos, com a finalidade de indicar as consequências da ocorrência de falha em sistemas e em equipamentos. A partir de 1988, com a finalidade de aumentar a produtividade iniciou-se a utilização em empresas automotivas como parte dos chamados programas avançados de planejamento da qualidade em projetos e processos.

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 83), especialistas destacam que a “aplicação do FMEA é importante na redução da probabilidade de ocorrência de falhas e na promoção de melhoria da qualidade de produtos e serviços”. Os autores

ainda informam que “essa técnica é utilizada na engenharia com a finalidade de encontrar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos” e que pode ser executado em três níveis:

- a) Na etapa de projeto: eliminando a causa de falhas, reduzindo, assim, os custos de correções futuras, considerando todos os aspectos, desde manutenibilidade até aspectos ligados à segurança;
- b) Na etapa de processo: focalizando a manutenção e operação do equipamento;
- c) No sistema como um todo: preocupando-se com falhas potenciais e gargalos no processo global, como uma linha de produção. Buscando assim a confiabilidade elevada.

Kardec e Nascif (2009) colocam ainda que o FMEA é um mecanismo de análise, uniformizado utilizado para identificar e eliminar anomalias potenciais de forma meticulosa e integral. O FMEA pode ser retratado substancialmente como a “medida do risco de falha”. Consiste no apontamento de todos os prováveis modos potenciais de falha e estabelece o desvio de cada uma sobre a performance de um sistema, seja este um produto, seja um processo, gerando, com base nisto, um indicador para avaliar em escala este risco.

É um método de estudo das causas fundamentais das anomalias de produtos e de processos e tem como foco principal apontar e estruturar as falhas críticas, identificando o potencial de risco cada uma e contribuindo para a composição de um plano de ação para o impedimento das falhas detectadas (HELMAN; ANDERI, 1995).

Stamatis (1995) ressaltou que o foco principal do método é destacar a redução da possibilidade de incidência da falha e de seu efeito e enfatizou como ganhos de sua utilização: melhoria da qualidade; segurança dos produtos e serviços; melhoria da imagem da empresa e sua competitividade; ajuda a aumentar a satisfação do cliente; reduz custo e tempo de desenvolvimento de produto; auxilia o diagnóstico de processos; e estabelece prioridades para implantação de ações corretivas. Essas ações contribuem para otimização do processo, tornando o produto (ou o serviço, como no caso do estudo em questão) mais competitivo no mercado. Considerando tal importância socioeconômica e as dificuldades

gerenciais que podem ser minimizadas através de tal ferramenta, a elaboração de uma FMEA foi escolhida como objetivo final deste trabalho.

Para que se possa determinar a taxa de risco de falha de um componente particular de um equipamento adequadamente, o grupo de estudos deve, como sugerem Kardec e Nascif (2009), adotar o seguinte procedimento:

- a) Isolar e descrever o modo de falha potencial;
- b) Descrever o efeito potencial de falha;
- c) Determinar a frequência, a gravidade e a detectabilidade das falhas;

Para melhor entendimento do método, Kardec e Nascif (2009), listam alguns conceitos importantes necessários para sua análise listados a seguir:

- a) CAUSA: é o meio pelo qual um elemento particular do projeto ou processo resulta em um Modo de Falha;
- b) EFEITO: é uma consequência adversa para a manutenção, operação ou operador do equipamento.
- c) MODOS DE FALHA: são categorias de falha que são normalmente determinadas e descritas (em geral, pela literatura tradicional) pelo analista da FMEA com, no máximo, 04 palavras. Para Lafraia (2001), não se deve listar todos os modos de falhas possíveis, mas sim levar em consideração a sua probabilidade de ocorrência.
- d) FREQUÊNCIA: é a probabilidade de ocorrência de falha.
- e) GRAVIDADE DA FALHA: indica como a falha afeta o usuário ou cliente.
- f) DETECTABILIDADE: indica o grau de facilidade da detecção da falha.
- g) ÍNDICE DE RISCO OU NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO (NPR): é o apuramento do produto da Frequência pela Gravidade da Falha pela DETECTABILIDADE (facilidade de detecção). Esse índice dá a prioridade do risco da falha, permitindo, então, que ações sejam tomadas – algumas vezes, emergencialmente – com base na listagem prioritárias de falhas com alto risco. Ou, ainda, permitindo que um plano de manutenção mais ajustado aos riscos seja gerado.

Assim sendo, a FMEA permite gerar o indicador NPR (Número de Prioridade de Risco) que é o produto dos seguintes fatores:

$$\text{NPR} = \text{Frequência} \times \text{Gravidade} \times \text{Detectabilidade}$$

Estas etapas acima descritas devem ser aliadas a uma escala, previamente estabelecida, de entendimento claro e mútuo entre o grupo que pode variar de empresa para empresa. A seguir, no Quadro 3.1, pode-se visualizar um exemplo de escala, conforme sugerido pelo autor, escolhida para elaboração deste trabalho.

Quadro 3.1 - Componentes do NPR - Análise FMEA.

<b>Componente do NPR</b>	<b>Classificação</b>	<b>Peso</b>
<b>FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA F</b>	Improvável	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
<b>GRAVIDADE DA FALHA G</b>	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
<b>DETECTABILIDADE D</b>	Alta	1
	Moderadamente grave	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
<b>ÍNDICE DE RISCO NPR - Número de Prioridade de Risco</b>	Baixo	1 A 50
	Médio	50 A 100
	Alto	100 A 200
	Muito alto	200 A 1000

Fonte: Kardec e Nascif (2009)

As análises e quantificação dos riscos devem então ser colocadas em uma tabela para registro e acompanhamento dos dados e ações, elaborando um plano de ação para trazer melhorias ao processo.

Como colocam Kardec e Nascif (2009, p. 97), na Manutenção, a análise de “FMEA mais aplicada é aquela sobre falhas já ocorridas. Contudo, deve-se avaliar que no caso de falhas potenciais mais importantes, a grande economia está em se evitar sua ocorrência”. Com base nesta necessidade, criou-se o conceito de dois tipos diferentes de metodologias para aplicação da FMEA, descritas a seguir conforme foi citado nos estudos de Zaions (2003) e Fundão *et al.* (2016):

- Metodologia *Bottom-Up*: abordagem que inicia a análise no nível do componente, partindo de um modo de falha (geralmente já ocorrido) e investiga os efeitos que a ocorrência pode gerar no sistema.
- Metodologia *Top-Down*: a análise parte do nível de sistema requer a avaliação do sistema como um todo, para identificar um evento ou efeito indesejado (evento de topo) e investigar a associação lógica das causas que resultam no evento ou efeito indesejável, descendo até o nível de seus componentes.

Utilizando desta ferramenta para tratar falhas potenciais e suas causas, pode-se tomar ações visando evitar ou amenizar problemas futuros e prejuízos antes que aconteçam. Ambas as abordagens foram utilizadas no presente estudo, a ser discutido no próximo capítulo. Este ato de agir diretamente na raiz dos problemas (causa) caracteriza a execução da Manutenção Proativa, conceito que vem se tornando mais comumente utilizado com a chegada da Indústria 4.0.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nos próximos tópicos, expõe-se como a metodologia da MCC, com posterior aplicação de FMEA, foi iniciada e introduzida na prática na empresa Brado Logística S. A., conforme colocado no Capítulo 2, cujo principal produto é o serviço de transporte e logística intermodal (rodoviária e ferroviária) de contêineres.

Para que este transporte seja possível, utiliza-se para içamento dos contêineres o equipamento Pórtico RMG, objeto do estudo. Mais especificamente, na filial da empresa localizada em Araraquara, 100% dos contêineres são carregados e descarregados das unidades de transporte (caminhões e vagões), tornando assim imprescindível que se tenha um equipamento com alta taxa de Disponibilidade e Confiabilidade.

O trabalho foi desenvolvido ao longo de seis meses, envolvendo diversos setores e membros na equipe de projeto, para abordar as cinco primeiras ações sugeridas por Zaions (2003, p. 72) para aplicação da MCC:

- i. a formação do grupo de projeto;
- ii. a seleção do sistema em que será aplicado o método e seus subsistemas;
- iii. a análise das funções do sistema e de suas falhas funcionais;
- iv. a definição dos itens críticos;
- v. a análise dos modos de falha e efeitos (aplicação de FMEA).

Para melhor compreensão dos envolvidos no projeto dividiu-se estas 05 ações sugeridas acima em 02 etapas de projeto conforme mostrado no

### Quadro 4.1.

A etapa 01 e suas fases tratam-se do objeto de estudo do presente trabalho, já a etapa 02 trata-se da continuidade do trabalho prevista de execução a partir do próximo ano. O detalhamento de cada etapa e fase executadas até o presente momento se dá nos tópicos a seguir.

Quadro 4.1 - Etapas e Fases do projeto de execução da MCC na Brado

<b>Projeto Confiabilidade Pórtico</b>
<b>Etapa 01</b>
Preparação do Estudo
Definição dos Objetivos
Definição do Escopo
Seleção e Determinação do Sistema
Análise das Funções e Falhas Funcionais
Seleção dos Itens Críticos
Coleta e Análise de Informações
Análise de Modos e Efeitos de Falhas
<b>Etapa 02</b>
Seleção das Tarefas Preventivas
Definição de Propostas Incrementais

Fonte: o autor (2019).

#### 4.1 PREPARAÇÃO DO ESTUDO

Nesta etapa inicial, determinou-se quem seriam os participantes do grupo de estudos, a forma como se daria a comunicação entre o grupo durante o andamento do projeto e qual seria o escopo do trabalho (o equipamento objeto das análises e quais seriam os objetivos do estudo).

##### 4.1.1 Determinação do grupo de estudos

Um dos riscos identificados no início do projeto foi o da não inclusão no grupo de projetos de algum membro que poderia conter informações essenciais para as análises a serem desenvolvidas (como experiência no funcionamento e

manutenção dos itens físicos, componentes e acessórios nos quais foi realizado o estudo de caso). Para mitigar este risco, optou-se por chamar todos os *stakeholders* (termo utilizado para “partes interessadas” na gestão de um projeto) à reunião de *kick-off* do estudo. Foram envolvidos representantes das áreas de Gestão da Manutenção (condutora do projeto), Manutenção de Terminais, Operação de Terminais, Qualidade e Engenharia. Dentre os membros desta área constavam gestores, líderes, analistas, especialistas, engenheiros, técnicos, manutentores e operadores.

Nesta reunião inicial, dividiu-se os membros em equipes e foram determinados os responsáveis pelas análises e participação nas reuniões semanais e reuniões periódicas. A divisão das equipes foi registrada numa planilha conforme apresentada na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Modelo da planilha MCC00-1 de definição da equipe de Projeto

<b>MCC 00-1</b>	<b>Planilha de definição da equipe de Projeto</b>		
	<b>EQUIPAMENTO:</b>	<b>TERMINAL:</b>	<b>DATA ATUALIZAÇÃO:</b>
	Pórtico RMG PEEL0001	Araraquara	05/07/2019
<b>Equipe: Manutenção</b>			<b>Nº</b>
<b>Integrantes:</b>			<b>01</b>
<b>Responsável Entregas:</b>			<b>Time de Projeto</b>
<b>Equipe: Araraquara</b>			<b>Nº</b>
<b>Integrantes:</b>			<b>02</b>
<b>Responsável Entregas:</b>			<b>Time de Projeto</b>
<b>Equipe: Rondonópolis</b>			<b>Nº</b>
<b>Integrantes:</b>			<b>03</b>
<b>Responsável Entregas:</b>			<b>Time de Projeto</b>
<b>Equipe: Engenharia</b>			<b>Nº</b>
<b>Integrantes:</b>			<b>04</b>
<b>Responsável Entregas:</b>			<b>Banca</b>

Fonte: o autor (2019).

Nesta divisão de grupos apresentada, houve a separação em 04 equipes. A equipe de Manutenção era composta pelo gerente do projeto, o analista responsável pela atualização dos controles e os especialistas em máquinas e manutenções. Foi proposto que os times de projeto dos terminais de Araraquara e Rondonópolis (onde também existem Pórticos RMG, cujos membros poderiam

contribuir com as análises do Pórtico de Araraquara), seria composto por manutentores, operadores e líderes. A equipe de Engenharia, composta também por membros da Qualidade, iria avaliar e auditar o material periodicamente para propor melhorias e ajustes.

#### 4.1.2 Método de comunicação durante o projeto

Durante esta reunião inicial, também se definiu o formato da comunicação ao longo do projeto. As comunicações propostas, conforme sugerido pela área de Qualidade da companhia, foram registradas na Matriz de Comunicações – modelo apresentado na Figura 4.2.

A gestão da comunicação pode favorecer o andamento do projeto para se obter informações sobre o andamento e alterações no projeto que precisam ser sincronizadas com outras áreas, caso contrário, poderão gerar problemas.

Através desta gestão de transmissão e sincronização de informações, ao longo de todo o projeto, com informações coesas e relevantes, permite-se que os objetivos propostos pelo projeto sejam atingidos. Desta forma, o gestor de um projeto precisa ter uma série de possibilidades comunicacionais para garantir que todos sejam envolvidos.

É necessário estabelecer, por meio da Matriz de Comunicações um processo de sincronização e rastreamento de informações, distribuindo-as a todos os envolvidos, garantindo o bom andamento do processo. Isto permite que o andamento do projeto seja analisado e redirecionado quando necessário, podendo ser feito em paralelo com a fase de execução. Desta forma, é possível identificar e gerir (conforme surgem) alguns desvios no escopo do projeto, alterações de prazo (ou tempo) e também evitar o surgimento de novos custos não previstos.

Uma boa comunicação permite ater-se ao cronograma esperado para o projeto e executar ajustes conforme necessário, isso faz com que se evite novos custos diversos e um tempo. Contudo, houve dificuldade em se ater à comunicação proposta na Matriz de Comunicações, mais especificamente aos relatórios de status do projeto, devido ao tempo restrito para execução do projeto conciliado às atividades da rotina atual da equipe. As reuniões de mapeamento e validação do processo ocorreram de acordo com o planejado, com exceções de ocasiões em que

houveram situações emergenciais como manutenções corretivas nos equipamentos, que demandavam atenção total dos envolvidos do projeto.

Figura 4.2 - Modelo da Planilha MCC00-2 da Matriz de Comunicação

<b>MCC 00-2</b>	<b>Planilha Matriz de Comunicação</b>					
	<b>EQUIPAMENTO:</b> Pórtico RMG PEEL0001		<b>TERMINAL:</b> ARARAQUARA		<b>DATA ATUALIZAÇÃO:</b> 03/07/2019	
<b>Tipo de Comunicação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Meio</b>	<b>Frequência</b>	<b>Participantes</b>	<b>Dono</b>	<b>Entregas</b>
Reunião de Início	Apresentar a equipe e o projeto. Revisar o escopo, objetivos e abordagem do projeto.	Reunião presencial Videoconferência	Uma vez	Time de Projeto Stakeholders Engenharia	Gerente do Projeto	Ata da reunião
Reuniões de Mapeamento	Revisar o status de projeto com a equipe. Discutir mapeamentos realizados. Explicar próximas etapas.	Reunião presencial Videoconferência	Semanalmente	Time de Projeto	Gerente do Projeto	Ata da reunião Planilha etapa anterior
Reuniões de Validação	Discutir mapeamentos realizados e validar com Engenharia	Reunião presencial	Quando preciso	Manutenção Engenharia	Gerente do Projeto	Ata da reunião
Apresentação do status de projeto	Relatar o status do projeto para a gestão e companhia durante a reunião trimestral de manutenção.	Reunião presencial Videoconferência	Trimestral	Time de Projeto Stakeholders	Manutenção	Apresentação ppt
Relatórios de status do projeto	Relatar status do projeto incluindo atividades, progresso, custos e problemas.	Email	Mensal	Time de Projeto Stakeholders Engenharia	Gerente do Projeto	Relatório de status e cronograma atualizado

Fonte: o autor (2019).

#### 4.1.3 Definição dos objetivos e escopo do projeto

Os objetivos definidos junto à equipe de Projetos, assemelham-se e estão alinhados com os objetivos deste estudo. Contudo, foram complementados a fim de que se tivesse continuidade no trabalho de aplicação da MCC dentro da empresa analisada. Durante esta etapa, discutida na reunião de *kick-off* que também se definiu o escopo do projeto, as etapas e fases ficaram agrupadas conforme foi apresentado no

Quadro 4.1 visto anteriormente.

Os objetivos definidos foram:

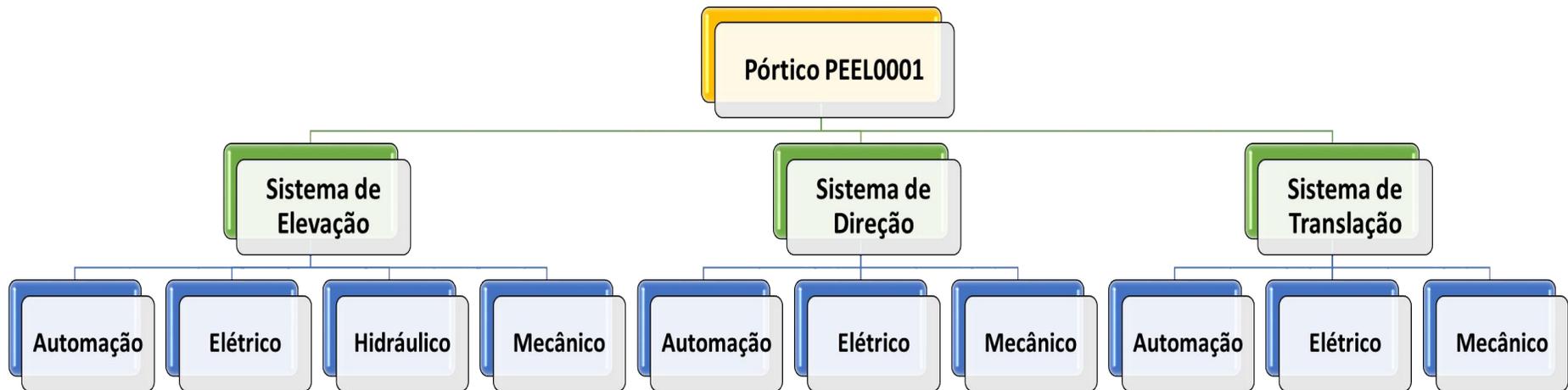
- Objetivo Geral: Criar uma base sólida de informações sobre o pórtico (RMG) e preparar a companhia para recebimento de estratégias de Gestão da Manutenção como a MCC e a MPT.
- Objetivos Específicos: Mapear o Sistema de funcionamento do Pórtico de Araraquara e Rondonópolis (RMG); Realizar a Análise de Causa-Efeito (FMEA) no equipamento; Criar material de suporte para consultas dos operadores e/ou manutentores em caso de necessidade de manutenções e incidentes de defeitos ou falhas; Criar um plano discriminado de Manutenções Preventivas para o Pórtico; Criar sugestões para aumento da Confiabilidade do Pórtico.

#### 4.1.4 Seleção e determinação do sistema

Nesta etapa o grupo discutiu de que forma seria abordado o equipamento definido para análise do projeto (Pórtico RMG do Terminal Brado de Araraquara). Para a realização desse projeto piloto, a equipe de implementação definiu como consequências mais importantes a serem avaliadas no processo aquelas associadas à segurança humana, operacional e econômica, assim conforme foi sugerido na bibliografia do método adotado.

Após isto, através de intensas discussões sobre o melhor formato de analisar o equipamento, foi definida a classificação dos sistemas e subsistemas, conforme pode ser visualizado na Figura 4.3 a seguir.

Figura 4.3 - Separação do equipamento entre seus Sistemas e Subsistemas.



Fonte: o autor (2019).

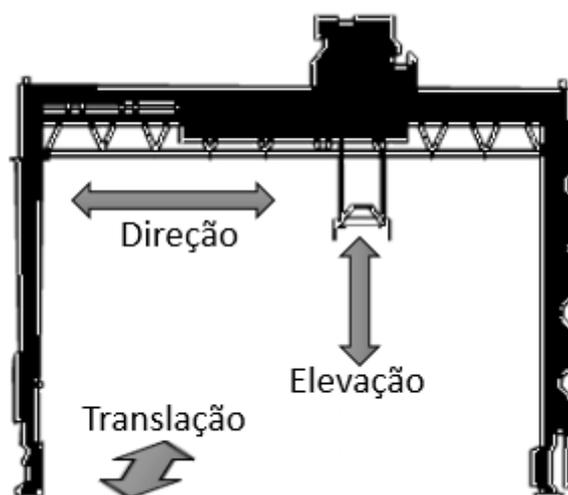
Equipamento: Pórtico PEEL0001 (Terminal Brado Araraquara);

Sistemas: Sistema de Elevação, Sistema de Direção e Sistema de Translação;

Subsistemas: Automação, Elétrico, Hidráulico (somente para o Sistema de Elevação) e Mecânico.

Para definir o formato de divisão da máquina em sistemas e subsistemas, utilizou-se o conceito de que os sistemas seriam classificados de acordo com suas funções para a operação: a) função de elevar contêineres para colocação nos meios de transporte ou colocação e remoção do piso do pátio; b) função de transladar ao longo da ferrovia o equipamento por completo e; c) função de direcionar o *spreader* e os contêineres sobre a ferrovia ou sobre o pátio (deslocamento lateral). A Figura 4.4 esquematiza as funções para melhor compreensão.

Figura 4.4 - Esquema ilustrativo da divisão de sistemas definidos para o Pórtico.



Fonte: o autor (2019).

Quanto à definição dos subsistemas, decidiu-se por utilizar a classificação por tipo de função macro do item físico, podendo o item ser de: a) função de automação (como a execução de comandos e transmissão de dados e informações); b) função elétrica (como responsáveis pelo abastecimento do equipamento com energia elétrica e proteção contra sobrecargas); c) função hidráulica (para abastecimento de motores hidráulicos) e; d) função mecânica (itens responsáveis por gerar as forças para execução do transporte de contêineres e do equipamento em si).

Conforme o trabalho teve andamento, identificou-se o grande volume de análises e informações geradas e, assim sendo, para apresentação no presente estudo, optou-se por seguir somente com as análises do sistema de Elevação em um primeiro momento. Após a finalização das análises deste sistema, pretende-se dar continuidade nos demais sistemas.

#### 4.1.5 Análise das Funções e Falhas Funcionais

De acordo com Zaions (2003, p. 49) a “análise das funções do equipamento e de suas falhas funcionais é a essência da MCC”. É nesta etapa que irá se compreender a forma como opera e a demanda de funcionamento do equipamento, ajustada à operação em que este vem sendo utilizado. Para execução destas análises, seguiu-se com o preenchimento das planilhas propostas na metodologia base do estudo, realizando pequenos ajustes no formato das mesmas a fim de que o estudo se enquadre no equipamento analisado. A seguir são apresentados os modelos de planilhas e as análises preenchidas constarão nos apêndices do trabalho.

##### 4.1.5.1 MCC01 – Definição das fronteiras de sistema

Nessa etapa separou-se os principais itens físicos de cada sistema e subsistema, além de ter se identificado as fronteiras físicas de cada subsistema, de modo a iniciar a construção de uma base de dados sólida para a implementação da MCC.

Figura 4.5 - Modelo planilha MCC01 de definição das fronteiras do sistema

<b>MCC 01</b>	Planilha de definição das fronteiras do sistema			Folha n°	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
	Pórtico RMG PEEL0001	ELEVÇÃO SUBSISTEMA:	EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ÚLT. REVISÃO:	
<b>1 – Principais itens físicos:</b>					
<b>2 – Fronteiras físicas do sistema: Inicia com:</b>					
<b>Termina com:</b>					
<b>3 – Considerações necessárias:</b>					

Fonte: o autor (2019).

A Figura 4.6 retrata uma das planilhas preenchidas, as demais encontram-se no Apêndice A.

Figura 4.6 - Exemplo de planilha MCC01 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação.

MCC 01	Planilha de definição das fronteiras do sistema			Folha n°	01
	EQUIPAMENTO:  Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVÇÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC	DATA ELABORAÇÃO: 24/07/2019	
		SUBSISTEMA: AUTOMAÇÃO	VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ÚLT. REVISÃO: 17/11/2019	
<b>1 – Principais itens físicos:</b>					
<i>CLP MESTRE (1); JOYSTICK D (1); ENCODER (4); CÉLULA DE CARGA (4); INDICADOR DE PESAGEM (4); CHAVE ROTATIVA (1); CLP ESCRAVO (1); CABO DE COMUNICAÇÃO REDECAM (1); CABO DE COMUNICAÇÃO MODBUS (1); CABO DE COMUNICAÇÃO DO ENCODER (4); CABOS DE SINAL (*); MICROSWITCH SPREADER (8); RELÉS; ANEMÓMETRO (1); IHM (1); BOTÃO BOMBA SPREADER (1); FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP MESTRE (1); FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP ESCRAVO (1); FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMANDO BINÁRIO (1)</i>					
<b>2 – Fronteiras físicas do sistema: Inicia com:</b>					
<i>1 JOYSTICK D ; 2 ENCODER; 3 IHM; 4 CÉLULA DE CARGA</i>					
<b>Termina com:</b>					
<i>1 CLP MESTRE / CLP ESCRAVO ; 2 CLP MESTRE; 3 CLP MESTRE; 4 CLP MESTRE</i>					
<b>3 – Considerações necessárias:</b>					
<i>O INCLINÔMETRO NÃO SERÁ CONSIDERADO NO SISTEMA DE ELEVÇÃO EMBORA ESTEJA ALOCADO FISICAMENTE LÁ. O JOYSTICK SERÁ CONSIDERADO NOS TRÊS SISTEMAS (ELEVÇÃO, DIREÇÃO E TRANSLAÇÃO). O MOTOR ELÉTRICO SERÁ CONSIDERADO UM ITEM MECÂNICO POR CONTA DA SUA FUNÇÃO PRIMÁRIA. RELÉS SERÃO CONSIDERADOS AUTOMAÇÃO E CONTADORES SERÃO CONSIDERADOS ELÉTRICOS.</i>					

Fonte: o autor (2019).

Ao listar os itens físicos, também se determinou a quantidade de cada unidade encontrada nos sistemas e subsistemas avaliados. Nos campos “Inicia com” e “Termina com”, correlacionou-se os inícios e términos de fluxos de funcionamento dentro de cada subsistema, enumerando-se cada fluxo de entrada e saída. Já no campo “Considerações necessárias”, foram colocados comentários acerca das discussões realizadas durante as análises, a fim de que se mantenha histórico das decisões e opções tomadas.

#### 4.1.5.2 MCC02 – Descrição dos sistemas

Em seguida à separação dos itens em cada subsistema, preencheu-se a planilha de descrição do sistema para identificar e registrar um conjunto de informações referentes às funções e aos parâmetros, às redundâncias, aos dispositivos de proteção e à instrumentação e ao controle de dados do equipamento.

O modelo desta planilha pode ser visualizado na Figura 4.7, o exemplo preenchido na Figura 4.8 e as demais planilhas preenchidas no Apêndice B.

Figura 4.7 - Modelo planilha MCC02 de descrição dos sistemas.

MCC 02	Planilha de descrição dos sistemas			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
	Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO SUBSISTEMA:	EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	19/08/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 21/11/2019
<b>1 – Funções e seus parâmetros:</b>					
<b>2 – Redundâncias:</b>					
<b>3 – Dispositivos de proteção:</b>					
<b>4 – Instrumentação e controle:</b>					

Fonte: o autor (2019).

Figura 4.8 - Exemplo de planilha MCC02 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação.

MCC 02	Planilha de descrição dos sistemas			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
	Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO SUBSISTEMA: AUTOMAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	19/08/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 21/11/2019
<b>1 – Funções e seus parâmetros:</b>					
<p><i>Função primária: Comandar, processar e controlar os mecanismos de elevação por meio de sinais de comunicação diversos.</i></p> <p><i>Funções secundárias: Registrar dados da operação; identificar fugas de parâmetros; projetar informações na IHM.</i></p> <p><i>Sua principal função é exercida através dos CLPs que processam as informações vindas (pelos cabos de comunicação) dos sistemas de controle (Joystick, IHM, indicador de pesagem, encoders, dentre outros) e comandam os acionamentos do sistema de elevação.</i></p>					
<b>2 – Redundâncias:</b>					
<p><i>O CLP Mestre processa todos os comandos de todos os sistemas; o ENCODER e o LIMITE ROTATIVO são redundantes na função de segurança; os CABOS DE COMUNICAÇÃO são redundantes na função de transporte de dados mas possuem protocolos de informação diferentes.</i></p>					
<b>3 – Dispositivos de proteção:</b>					
<p><i>ENCODER (limite de elevação); LIMITE ROTATIVO (limite de elevação); MICROSWITCH (locker aberto/fechado); RELÉS (isolamento de componentes eletrônicos); ANEMÔMETRO (excesso de vento); INDICADOR DE PESAGEM (limites de peso).</i></p>					
<b>4 – Instrumentação e controle:</b>					
<p><i>IHM (apontamento de falhas do drive, peso, velocidade do vento, deslocamento de altura, informações de ligamento das bombas) mas mede apenas no instante, não possui armazenamento de dados. Sistema externo: de Telemetria DELTACOM ( 1-indica a variação de tempo que o container fica locked, 2- horímetro, 3- contagem de containers movimentados, 4- alarme de velocidade de vento, 5-sobre carga containers). CLP Mestre (leitura e armazenamento dos dados mensais - quantidade de contêineres, tempo de operação, tipos de contêineres carregados - de elevação).</i></p>					

Fonte: o autor (2019).

Para se dar um maior detalhamento às funções de cada sistema e subsistema, optou-se por complementar as análises destas com as funções primárias e secundárias. Conforme descrito por Moubray (2001), a função primária (ou principal) de um item físico está associada, principalmente, à razão pela qual o ativo foi adquirido. O autor sugere que os itens físicos são geralmente adquiridos para executar de uma a três (no máximo) funções primárias. O principal objetivo da manutenção neste equipamento é assegurar o desempenho mínimo das funções principais.

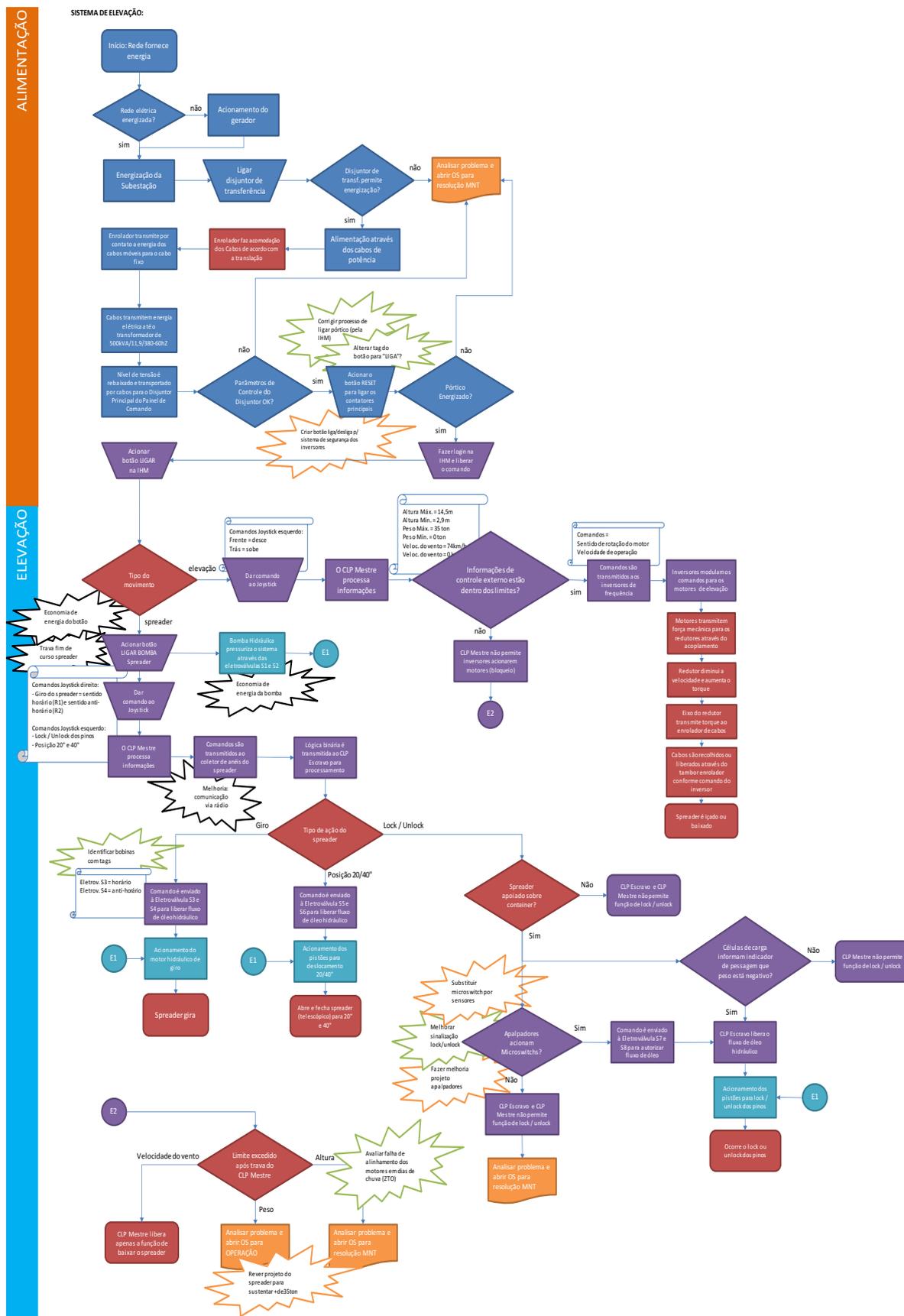
Na maioria das vezes, os itens físicos realizam outras funções além das funções primárias. Essas funções são chamadas de secundárias e podem ser divididas nas seguintes categorias (MOUBRAY, 2001): (i) integridade ambiental; (ii) segurança/integridade estrutural; (iii) controle, contenção e conforto; (iv) aparência; (v) economia e eficiência; e (vi) supérfluas. Segundo o autor, embora geralmente menos importantes que as funções principais, as funções secundárias devem ser bem analisadas, pois podem trazer graves consequências em situações específicas. Assim sendo, analisou-se de acordo com as categorias acima, a possibilidade de existência das funções secundárias.

#### 4.1.5.3 MCC03 – Diagramas de Blocos

Após a definição das funções e a descrição dos subsistemas da Elevação, a metodologia sugere a elaboração de diagramas de blocos funcionais, que definem o fluxo funcional do sistema e subsistemas do equipamento. Entretanto, para que a equipe pudesse encontrar a melhor configuração deste diagrama, anteriormente optou-se por elaborar um Fluxograma de Processo a fim de se conhecer com mais detalhes o funcionamento do sistema de Elevação do Pórtico.

Devido à extensão do fluxograma, o mesmo não pode ser apresentado com detalhamento no presente estudo. Porém, tal análise permitiu aos variados membros da equipe conhecer o funcionamento do sistema e em quais etapas cada subsistema atua (separação por cores de cada processo). A Figura 4.9 representa tal fluxograma em menor resolução.

Figura 4.9 - Fluxograma de processo do sistema de Elevação (sintetizado).

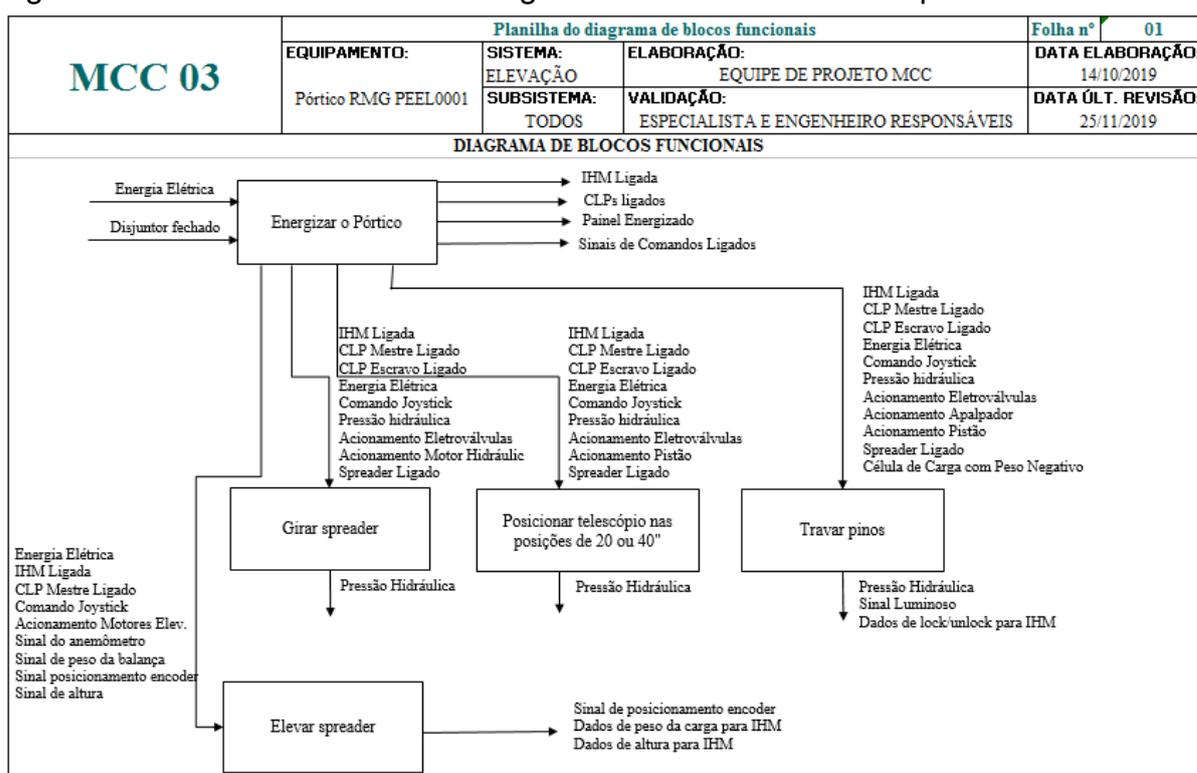


Fonte: o autor (2019).

Além de auxiliar na compreensão dos envolvidos e na elaboração do diagrama de blocos, o desenvolvimento do fluxograma permitiu à equipe de projeto a identificação de diversas melhorias, sendo quatro melhorias de processo (alterações e correções na forma como é operado o equipamento), quatro melhorias físicas (modificações nos itens físicos já existentes) e quatro modernizações (utilização de novas tecnologias, substituindo itens físicos existentes). Com o embasamento provido pelo fluxograma, pôde-se buscar orçamento para que já fossem executadas algumas melhorias que se estima trazerem maior confiabilidade ao equipamento.

A seguir, partiu-se para elaboração da planilha MCC03, identificada como Diagrama de Blocos (Figura 4.10).

Figura 4.10 - Planilha MCC03 de diagrama de blocos funcionais preenchida.



Fonte: o autor (2019).

Conforme sugere Zaions (2003), os diagramas de blocos funcionais devem ser elaborados de forma a mostrar como as diferentes partes do subsistema se interagem, facilitando o entendimento do sistema, pois permite uma melhor visualização do problema. Para sua elaboração, identificou-se as principais funções do sistema de elevação e destacou-se a interação entre elas, com os respectivos

*inputs* (também chamados de “interfaces de entrada”) e *outputs* (ou “interfaces de saída”) de cada função.

Ficou claro para a equipe de projetos que a análise deste diagrama permite identificar facilmente um problema de operação ou funcionamento de algum *input* ou *output* de cada função. Tal material já vem sendo utilizado para as análises de falhas sendo elaboradas.

#### 4.1.5.4 MCC04 – Interfaces de Entrada e Saída

Na planilha MCC04, foram descritas e detalhadas as interfaces de entrada e saída imputadas no Diagrama de Blocos.

Figura 4.11 - Planilha MCC04 das interfaces de entrada e saída preenchida.

MCC 04	Planilha de Interfaces de Entrada e Saída			Folha nº	01
	SISTEMA: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVAÇÃO SUBSISTEMA: TODOS	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ELABORAÇÃO: 15/10/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 27/11/2019
<b>1 – Interfaces de entrada:</b>					
<i>Energia elétrica: fonte de energia que permite todas as funções do equipamento (não possui outros tipos de combustível);</i> <i>Disjuntor fechado: para permitir a passagem da energia elétrica de uma forma segura e dentro dos parâmetros ajustados;</i>					
<b>2 – Interfaces de saída:</b>					
<i>IHM Ligada: permite visualização de todos os parâmetros de operação (elevação ou outros sistemas).</i> <i>CLPs Ligados: ficam aguardando comandos para operação (elevação ou outros sistemas).</i> <i>Painel Energizado: operacionaliza todos os acionamentos elétricos e de automação (elevação ou outros sistemas).</i> <i>Sinais de Comandos Ligados: confirma para CLP Mestre que todos os sistemas foram energizados adequadamente.</i> <i>Pressão Hidráulica: válvulas bidirecionais alteram o sentido do fluxo de pressão para permitir novos comandos.</i> <i>Sinal Luminoso: informa se pino lock está na posição aberto ou fechado.</i> <i>Dados de Lock/Unlock para IHM: são dados de lock/unlock retornados para IHM para análise e decisões do operador.</i> <i>Sinal de posicionamento do Encoder: são dados de referência de movimento e alinhamento do spreader transmitidos ao CLP Mestre para verificar se elevação está dentro dos parâmetros de controle.</i> <i>Dados de peso da carga para IHM: são dados de peso da carga retornados para IHM para análise e decisões do operador.</i> <i>Dados de altura para IHM: são dados de altura de posicionamento do spreader retornados para IHM para análise e decisões do operador.</i>					
<b>3 – Interfaces internas de entrada e saída:</b>					
<i>IHM Ligada: habilita os outros comandos do CLP Mestre por meio do login de acesso (somente usuário autorizado pode exercer as funções).</i> <i>CLP Mestre Ligado: processa todas as informações inputadas na IHM e transmite para os subsistemas.</i> <i>CLP Escravo Ligado: processa as informações do spreader (de acordo com os parâmetros de controle ajustados) e retorna para o CLP Mestre que, em conjunto, permitem as funções de giro, lock/unlock e mudança na posição de 20°/40° do telescópico.</i> <i>Comando Joystick: transmite as funções desejadas pelo operador para o CLP Mestre.</i> <i>Pressão Hidráulica: garante que o sistema hidráulico (bombas, motor elétrico e válvulas) está dentro dos parâmetros necessários para operação (pressão e vazão).</i> <i>Acionamento Eletroválvulas: permite fluxo do sistema hidráulico para acionamento das funções do spreader.</i> <i>Acionamento Motor Hidráulico: operacionaliza a função de giro do spreader.</i> <i>Acionamento Pistão: operacionaliza a função de posicionamento 20°/40° do telescópico do spreader.</i> <i>Acionamento Apalpador: identifica se o spreader está apoiado em contêiner e envia dados para o CLP Escravo permitir a função de lock/unlock.</i> <i>Acionamento Motores de Elevação: operacionaliza a função de elevação.</i> <i>Sinal do Anemômetro: são dados da velocidade do vento transmitidos ao CLP Mestre para permitir (ou não) as funções de elevação.</i> <i>Sinal de Peso da Balança: são dados do peso do spreader (vazio ou cheio) lidos pelas células de carga e transmitidos pelos indicadores de pesagem ao CLP Mestre para permitir (ou não) as funções de elevação.</i> <i>Sinal de Posicionamento do Encoder: são dados de referência da altura do spreader transmitidos ao CLP Mestre para permitir (ou não) as funções de elevação.</i> <i>Sinal de Altura: são dados de altura calculados pelo CLP Mestre e transmitidos à IHM para análise e decisões do operador.</i> <i>Spreader ligado: equipamento energizado em stand-by aguardando comandos. Permite que CLP Escravo e bombas sejam acionados.</i>					

Fonte: o autor (2019).



Figura 4.13 - Exemplo de planilha MCC05 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação.

MCC 05		Planilha para Descrição dos Itens Físicos			Folha nº	01
		SISTEMA: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVACÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC	DATA ELABORAÇÃO: 18/10/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 29/11/2019
ITENS FÍSICOS = IF / INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE = IC						
Nº MCC	Descrição	Tag	Quant	Características Técnicas	Local de Instalação	
IF-01	CLP MESTRE	MOVI PLC	1	Controlador Lógico Programável, fornecedor SEW, código fornecedor DHE41B/OMH41B-T2/UOH11B	No painel principal localizado sobre o passadiço.	
IF-02	JOYSTICK D	JY2	1	Modelo TER HERCULES, Marca ROME, código fornecedor PF58OC22036	Dentro da cabine do operador	
IF-03	ENCODER	ECR1/ECR2/ ECR3/ECR4	4	Encoders tipo ABSOLUTO, fornecedor SEW, código fornecedor (E) DR(AG7W)FS AMGW8(13643886)	Acoplado ao eixo, na tampa traseira defletora do motor de elevação	
IF-04	CÉLULA DE CARGA	CL1/CL2/ CB/CL4	4	Células de carga fabricante WEIGHTECH, Modelo CRSA 1-DEL-A20C(EF5505)	Fixadas entre a ancoragem e o cabo de aço nos 04 motores de elevação	
IF-05	INDICADOR PESAGEM	WT21-1/WT21-2/ WT21-3/WT21-4	4	Indicadores de pesagem fabricante WEIGHTECH, Modelo WT21 N° Série P1454A14419414/2015	No painel de acima do carro talha, próximo aos motores de elevação	
IF-06	CHAVE ROTATIVA	FCE	1	Dispositivo interruptor eletromecânico tipo rotativo (chave fim de curso). Fabricante TER FINECORSA BASE / Modelo COD:PFA9067A0255009/19PPF105547	Acoplado ao eixo do enrolador de cabos do motoredutor de elevação U3	
IF-07	CABO DE COMUNICAÇÃO DO ENCODER	não possui	4	Cabos de comunicação encoder-inversores, fabricante LAPP, modelo OLFLEX servo FD798CP, referências cabo: E63634 30V FTI LL260747 0036911 K00174187981	Liga o encoder aos inversores de frequência localizados no painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-08	CLP ESCRAVO	A1	1	Controlador Lógico Programável, fabricante IFM, Modelo IFM CR0403 ECOMOT MOBILE 10R047060	Painel elétrico, fixado na viga caixão do spreader, localizado no lado oposto ao comando hidráulico.	
IF-09	CABOS DE SINAL	não possui	*	Cabos multivía variando de 1 via (1mm) até 27 vias (1mm). Classi de isolamento 750V, fiação flexível.	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-10	CABO DE COMUNICAÇÃO REDECAM	não possui	1	Cabo de comunicação CLP-inversores(1, 2, 3, 4, 6, 7, 8), fabricante EURO CABOS, Modelo 2PX24 AWG 25485 120OHMS	No painel principal localizado sobre o passadiço.	
IF-11	CABO DE COMUNICAÇÃO MODBUS	não possui	1	Cabo de comunicação inclinômetro-IHM-CLP-inversor(5), fabricante EURO CABOS/ MODELO 2PX24 AWG 25485 120OHMS	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-12	MICROSWITCH SPREADER	FC1 / FC2 TR1 / TR2	8	Dispositivo interruptor eletromecânico tipo rolete (chave fim de curso). Fabricante SCHIMERSAL, Modelo M4V7H 007-11 Y	Nos pinos locks e apalpadores.	
IF-13	RELE	não possui		Fabricante SCHNEIDER , Modelo 24 VCC 6A-250V SCHNEIDER	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-14	ANEMÔMETRO	não possui	1	Fabricante FOX , Modelo WS-150	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-15	IHM	não possui	1	Fabricante SEW , Modelo - DOP11C-100 PART N:17974232	Dentro da cabine do operador	
IF-16	BOTÃO BOMBA SPREADER	não possui	1	Fabricante SIBRATEC , Modelo BL8325 INA+1NF	Dentro da cabine do operador	
IF-17	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP MESTRE	FT2	1	Fonte de alimentação do CLP mestre e da IHM, 220/24VCC/10A, Fabricante MURR ELEKTRONIK, Modelo M0382694	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-18	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP ESCRAVO	F1	1	Fonte de alimentação do CLP escravo, 220/24VCC/10A, Fabricante MURR ELEKTRONIK, Modelo M0382694	Painel elétrico, fixado na viga caixão do spreader, localizado no lado oposto ao comando hidráulico.	
IF-19	FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMANDO BINÁRIO	FT1	1	Fonte de alimentação do comando binário (giroflex, buzina e outros itens auxiliares), 220/24VCC/10A, Fabricante MURR ELEKTRONIK, Modelo M0382694	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	

Fonte: o autor (2019).

Esta planilha apresenta a codificação dos itens físicos na MCC, sua descrição, quantidade em cada subsistema, características técnicas (caso não seja um item de uso genérico) e local de instalação a fim de facilitar conhecimento de tais informações a todos os membros do grupo de estudos.

#### 4.1.5.6 MCC06 – Histórico de Falhas dos Itens Físicos

Nesta etapa, a equipe de Araraquara, especificamente, fez um levantamento (via registros de ordens de serviço em sistema, a partir de 2018, e anotações particulares antes disto) de todas as falhas ocorridas e especificou os itens em que

se atuou em cada falha. Na Figura 4-14 observa-se que a planilha não é detalhada por subsistema, foi feita a abertura para todos os itens físicos visto que não foram encontradas muitas entradas de falhas no histórico deste equipamento, ao longo de 02 anos de uso.

Figura 4-14 - Planilha MCC06 de identificação do histórico de falhas dos itens físicos preenchida.

MCC 06	Planilha de Identificação do Histórico de Falhas dos Itens Físicos			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVACÃO SUBSISTEMA: TODOS	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ELABORAÇÃO: 05/11/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 03/12/2019
ITEM FÍSICO	DATA	TAREFA EXECUTADA		MODO DE FALHA	
Chave rotativa fim de curso	20/09/2017	Averiguado funcionamento da chave rotativa fim de curso e constatado falha nos contatos NF devido a falta de pressão nas molas que são responsáveis por manter os contatos fechados. Substituído a chave e realizado ajuste de limites mínimo e máximo para garantir parada segura caso a proteção eletrônica não atue.		Contato elétrico avariado	
IHM	20/02/2018	Realizado remoção da IHM do pórtico PEEL0001 Araraquara e instalado IHM PEEL0002 de Rondonópolis para ensaio de funcionamento e monitoramento de possíveis falhas de comunicação ou travamento para evitar custos de manutenção externa com a empresa SEW		Ensaio de funcionamento	
Indicador de pesagem U1	25/02/2018	Averiguado funcionamento do indicador de pesagem WT21 e constatado falha na placa de controle devido a baixa resistência / curto-circuito mediante a infiltração de água de chuva no interior do indicador de pesagem. Substituído indicador de pesagem e realizado parametrização e nova calibração.		Queima do equipamento	
Inversor de frequência U2	23/12/2018	Averiguado funcionamento do inversor de frequência MDX61B0550-4-00 e constatado queima do módulo IGBT devido a comutação com alta corrente por disparo do gate antecipado.		Queima do equipamento	
Anemômetro	29/04/2019	Averiguado funcionamento do sensor de velocidade do vento e constatado mal contato na fixação do terminal elétrico de alimentação		Mal contato	
Chave fim de curso tipo rolete	16/05/2019	Averiguado funcionamento e constatado falha no posicionamento, houve a necessidade de reposicionar conforme atuação do apalpador		Fora de posicionamento	
Coletor de anéis spreader	24/05/2019	Averiguado funcionamento e constatado quebra de 02 escovas, substituído escovas e realizado testes de funcionamento		Escova quebrada	
Inversor de frequência U2	29/05/2019	Averiguado funcionamento e constatado falha no encoder absoluto 02 devido torque excessivo na fixação do encoder		Queima do encoder	
Joystick direito	27/09/2019	Averiguado funcionamento e constatado quebra de cabo e rompimento de solda no interior do joystick. Substituído cabos e conectores de fixação e realizado testes de funcionamento		Mal contato	
Torre luminosa spreader lock/unlock	14/09/2017	Averiguado funcionamento e constatado quebra da torre devido colisão com a lona do barracão. Substituído torre completa		Quebra da torre	
Cabo de aço elevação 02	05/11/2018	Averiguado cabo de aço e constatado que o mesmo estava com uma das vias rompida por desgaste. Substituído o cabo completo ( 100 metros ).		Desgaste natural	
Motor hidráulico giro spreader	25/04/2019	Averiguado funcionamento e constatado falha no motor hidráulico responsável pelo giro. Substituído reparo completo de vedação		Vazamento de óleo	
Cabo de aço elevação 04	13/05/2019	Averiguado cabo de aço e constatado que o mesmo estava comprometido por amassamento devido ao esforço contra a tampa de proteção das roldanas. Substituído o cabo completo ( 100 metros ).		Amassamento do cabo	
Torre luminosa spreader lock/unlock	20/05/2019	Averiguado funcionamento e constatado quebra da torre devido colisão com a lona do barracão. Substituído torre completa		Quebra da torre	
Cabo de aço elevação 01	06/06/2019	Averiguado funcionamento e constatado cabo frouxo elevação 01. Realizado nivelamento do spreader, tensionado o cabo e realizado testes junto a operação		Cabo frouxo	
Enrolador de cabo de aço 02	15/06/2019	Averiguado funcionamento e constatado vibração excessiva na tampa de proteção do enrolador devido os parafusos espanados. Substituído todos os parafusos da tampa		Parafusos espanados	
Cabo de aço 04	17/06/2019	Averiguado funcionamento e constatado cabo frouxo elevação 01. Realizado nivelamento do spreader, tensionado o cabo e realizado testes junto a operação		Cabo frouxo	
Cabo de aço 01	10/08/2019	Averiguado cabo de aço e constatado que o mesmo estava comprometido por amassamento devido ao esforço contra a tampa de proteção das roldanas. Substituído o cabo completo ( 100 metros ).		Amassamento do cabo	
Conjunto de freio U3	13/08/2019	Averiguado funcionamento do conjunto de freio elevação U3 e constatado desgaste nas pastilhas devido ao travamento do mesmo. Substituído conjunto de freio e realizado testes de funcionamento junto a operação		Freio danificado	
Cabo de aço 03	05/10/2019	Averiguado cabo de aço e constatado que o mesmo estava comprometido por desfiamento devido ao esforço de torção do cabo em relação as roldanas. Substituído o cabo completo ( 100 metros ).		Desfiamento do cabo	

Fonte: o autor (2019).



Figura 4.16 - Exemplo de planilha MCC07 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação.

Planilha de Correlação das Funções com as Falhas Funcionais				Folha nº	01
<b>MCC 07</b>	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
	Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	12/11/2019	
		SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:	
		AUTOMAÇÃO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	05/12/2019	
Nº MCC Função	FUNÇÃO	Nº MCC Falha	FALHA FUNCIONAL		
F-01	Comandar, processar e controlar os mecanismos de elevação por meio de sinais de comunicação diversos.	FF-01	Não realizar a comunicação geral.		
		FF-02	Não realizar a comunicação entre os drives de acionamento dos motores.		
		FF-03	Não transmitir sinais dos encoders.		
		FF-04	Não processar adequadamente os comandos dos joysticks.		
		FF-05	IHM não processar adequadamente os comandos.		
		FF-06	Não comunicar adequadamente a calibragem do peso.		
		FF-07	Não transmitir sinais do anemômetro.		
F-02	Registrar dados da operação.	FF-08	Não registrar dados devido ao corrompimento da memória.		
F-03	Identificar fugas de parâmetros.	FF-09	Não identificar fugas de parâmetros devido à queima da placa de controle dos inversores.		
F-04	Projetar informações na IHM.	FF-10	Não projetar informações na IHM devido à queima de entrada de comunicação.		
		FF-11	Não realizar adequadamente a comunicação do CLP/IHM.		

Fonte: o autor (2019).

Após a análise completa, foram determinadas e enumeradas para o sistema de Elevação um total de 14 funções e 43 falhas funcionais a serem utilizadas para análises da próxima etapa.

#### 4.1.5.8 MCC08 – Correlação entre itens e falhas

Considerada pelos membros da equipe – que participaram do processo como um todo – como sendo uma das principais etapas do processo de análise da MCC, a planilha de correlação entre os itens e as falhas possui uma metodologia para que se identifique, dentre os itens físicos analisados no sistema, aqueles itens mais críticos se comparados às falhas funcionais que se deseja evitar. Os principais campos a serem preenchidos nesta planilha são:

- i. Falha Funcional: campo destinado à identificação das falhas funcionais do subsistema em análise, conforme determinado na etapa MCC07.
- ii. Item físico: campos destinados à descrição dos itens físicos do sistema e seu código, conforme determinado na etapa MCC05.

iii. Consequência na segurança humana (CH): linha destinada à identificação da resposta à pergunta “A falha funcional apresenta consequência na segurança humana?”. Respostas possíveis são o número 1 para “não” e o número 2 para “sim”. Na metodologia proposta, sugere-se que seja preenchido com “sim” e “não”, contudo, optou-se pelos números a fim de utilizá-los para dar um peso maior nos itens que possuírem consequência à segurança humana.

iv. Consequência na integridade ambiental (CA): linha destinada à identificação da resposta à pergunta “A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental?”. Respostas possíveis são o número 1 para “não” e o número 2 para “sim”, analogamente ao item anterior.

v. Consequências econômicas e operacionais (CE): linha destinada a identificação do grau de relação da falha funcional com as consequências desta falha associadas a questões econômicas e operacionais (considerados custos e tempos de operação parada). Os índices de correlação variam de 0 (nenhum impacto) a 5 (forte impacto).

vi. Dificuldade de realizar a manutenção (DM): coluna destinada à identificação do grau de dificuldade em realizar a manutenção do item físico. Os índices variam de 1 (pequena dificuldade) a 5 (grande dificuldade). A dificuldade de manutenção está associada ao tempo para realizar a manutenção, à existência ou não de equipamentos sobressalentes, necessidade de pessoal externo de manutenção, e baixa possibilidade de realizar manutenções.

vii. Grau de correlação (GC): campos destinados à correlação dos itens físicos com as falhas funcionais. Os campos são preenchidos com um índice que varia de 0 (nenhuma correlação) a 5 (altíssima correlação).

viii. Índice de criticidade econômica (ICE): campo destinado à identificação do índice de criticidade econômica calculado para cada item físico. A avaliação do índice de criticidade de cada item é realizada, levando-se em conta os índices CH, CA, DM, GC e CE. A fórmula sugerida pela metodologia foi adaptada pelo grupo de estudos desde projeto a fim de considerar os índices CH e CA como um peso a mais nos itens a que respostas “sim” (ou 2) estiverem correlacionados. Assim sendo, a fórmula final para cálculo do ICE é:

$$I_{CE} = DM_i \cdot \sum_{j=1}^n (GC_{i,j} \cdot CE_j \cdot CH_j \cdot CA_j)$$

Na Figura 4.17 a seguir pode-se visualizar um exemplo de preenchimento da MCC08 com os cálculos dos índices de criticidade econômica para o sistema de Elevação e o subsistema de automação. As planilhas dos outros subsistemas podem ser visualizadas no Apêndice E.

Figura 4.17 - Exemplo de planilha MCC08 preenchida. Sistema Elevação, subsistema Automação.

MCC 08		Nº MCC	FF-01	FF-02	FF-03	FF-04	FF-05	FF-06	FF-07	FF-08	FF-09	FF-10	FF-11	
		FALHA FUNCIONAL	Não realizar a comunicação geral.	Não realizar a comunicação entre os drives de acionamento dos motores.	Não transmitir sinais dos encoders.	Não processar adequadamente os comandos dos joysticks.	IHM não processar adequadamente os comandos.	Não comunicar adequadamente a calibragem do peso.	Não transmitir sinais do anemômetro.	Não registrar dados da operação	Não identificar fugas de parâmetros devido à queima da placa de controle dos inversores.	Não projetar informações na IHM devido à queima de entrada de comunicação.	Não realizar adequadamente a comunicação do CLP/IHM.	
EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL0001														
SISTEMA: Elevação														
SUBSISTEMA: Automação														
ELABORAÇÃO: Equipe de Projeto MCC, 19/11/2019														
VALIDAÇÃO: Especialista responsável, 19/11/2019														
		C <sub>H</sub>	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	
		C <sub>A</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ITENS FÍSICOS		C <sub>E</sub>	5	5	5	3	5	5	1	1	5	2	3	
Nº MCC	Descrição	D <sub>M</sub>	G <sub>C</sub>										I <sub>CE</sub>	
IF-01	CLP MESTRE	2	5	5	0	5	0	1	3	3	2	4	5	258
IF-02	JOYSTICK D	1	0	0	0	5	0	0	0	2	0	3	0	38
IF-03	ENCODER	1	0	0	5	0	0	0	0	3	3	0	0	46
IF-04	CÉLULA DE CARGA	5	0	0	0	0	0	5	0	2	3	3	0	365
IF-05	INDICADOR PESAGEM	1	0	0	0	0	0	5	0	2	3	3	0	73
IF-06	CHAVE ROTATIVA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6
IF-07	CABO DE COMUNICAÇÃO DO ENCODER	2	0	0	5	0	0	0	0	0	3	2	0	88
IF-08	CLP ESCRAVO	2	5	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	102
IF-09	CABOS DE SINAL	3	3	1	0	5	0	4	5	4	0	4	4	357
IF-10	CABO DE COMUNICAÇÃO REDECAM	1	5	5	0	0	0	0	0	4	0	1	5	71
IF-11	CABO DE COMUNICAÇÃO MODBUS	2	5	5	0	0	5	0	0	4	0	1	0	162
IF-12	MICROSWITCH SPREADER	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8
IF-13	RELÉ	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	0	26
IF-14	ANEMÔMETRO	1	0	0	0	0	0	0	5	2	3	4	0	30
IF-15	IHM	2	4	0	0	0	5	4	0	3	1	2	5	224
IF-16	BOTÃO BOMBA SPREADER	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF-17	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP MESTRE	1	5	5	0	5	0	3	3	3	3	1	5	148
IF-18	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP ESCRAVO	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3	0	30
IF-19	FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMANDO BINÁRIO	1	0	5	0	5	3	4	3	3	3	5	5	156

C <sub>H</sub>	Consequência na segurança humana. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na segurança humana? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>A</sub>	Consequência na integridade ambiental. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>E</sub>	Consequências econômicas e operacionais. Identificar o grau de relação da falha funcional com as suas consequências econômicas e operacionais. Preencher com 0 (nenhum impacto) a 5 (forte impacto).
D <sub>M</sub>	Dificuldade de realizar a manutenção. Identificar o grau de dificuldade (tempo, equipamentos, peças em estoque, pessoal, custo) de fazer a manutenção do item. Preencher com 1 (baixa dificuldade) a 5 (grande dificuldade)
G <sub>C</sub>	Grau de correlação item versus falha funcional. Preencher com 0 (nenhuma correlação) a 5 (altíssima correlação).
I <sub>CE</sub>	Índice de criticidade econômica.

Fonte: o autor (2019).

Por meio da observação das planilhas MCC08 preenchidas, pode-se observar que há falhas com consequências à segurança humana, porém não há falhas com consequências ambientais. Também é nítido, ao se observar o preenchimento, o destaque que alguns itens recebem quando comparados às falhas funcionais.

Esta criticidade identificada já vem sendo levada em conta na revisão de processos das manutenções preventivas do pórtico estudado, a fim de garantir que a manutenção destes itens seja adequada e ajustada à necessidade do equipamento, atuando no aumento de confiabilidade da máquina.

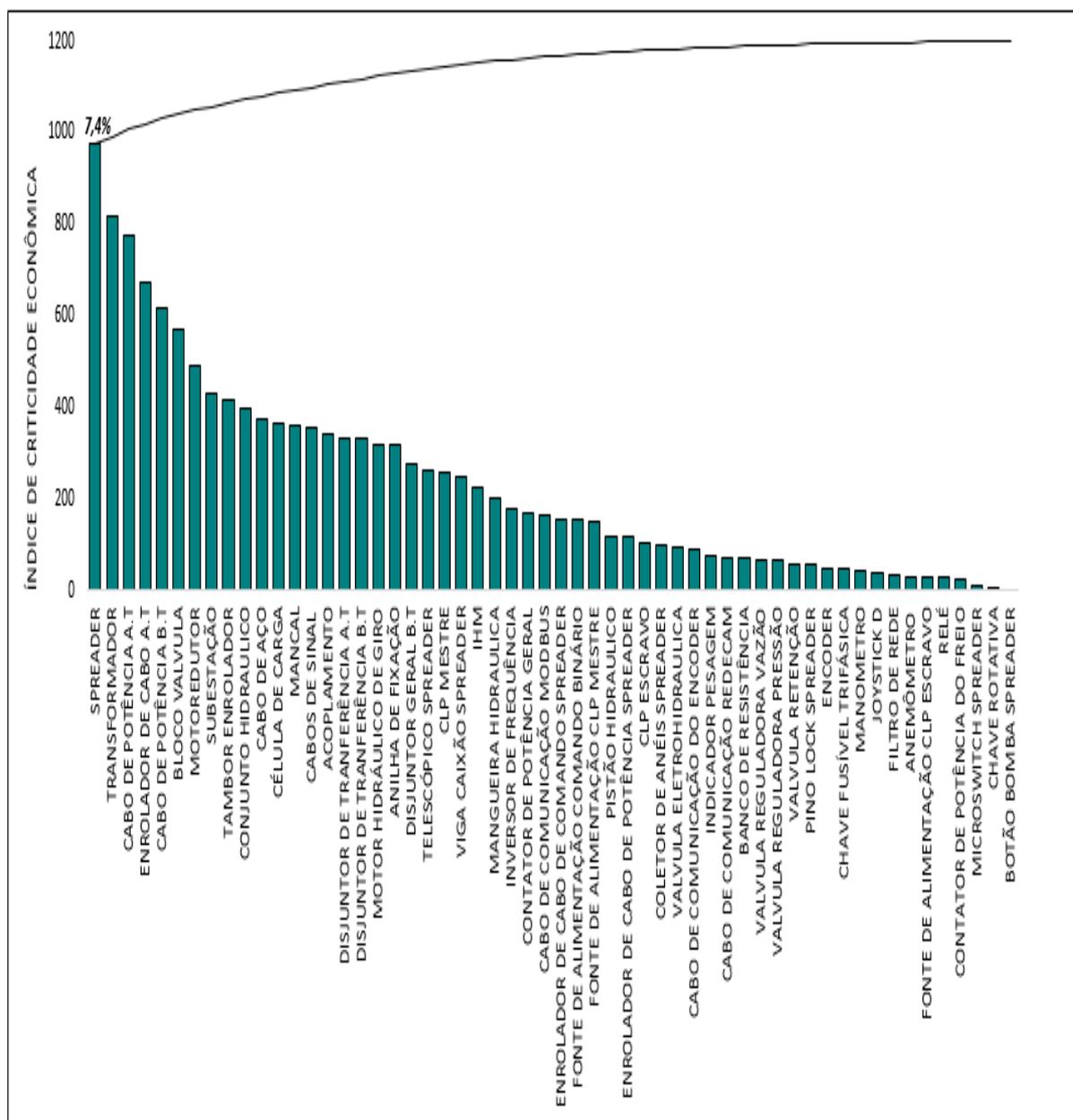
#### 4.1.5.9 MCC09 – Seleção dos itens críticos

A partir da análise dos resultados do preenchimento da planilha MCC08, pode-se avaliar e definir os itens críticos do subsistema com base no resultado do ICE. Itens físicos associados com falhas funcionais que possuem consequências na segurança humana e integridade ambiental receberam um peso maior dada à multiplicação pelo número 2 (de “sim”).

A metodologia sugere que estes itens devem automaticamente ser considerados como críticos, contudo, optou-se por apenas colocar um peso maior para evitar uma altíssima quantidade de itens críticos neste primeiro momento de análises do estudo.

Para melhor visualização dos dados, conforme proposto pela metodologia, elaborou-se um Gráfico de Pareto (XX), por meio do qual fica clara a alta criticidade do item físico Spreader se comparado aos demais. Somente este item representou 7,4% da criticidade total associada às falhas funcionais listadas no tópico anterior.

Figura 4.18 - Gráfico de Pareto listando os itens físicos e seus respectivos Índices de Criticidade Econômica.



Fonte: o autor (2019).

#### 4.1.5.10 MCC10 – Análise de Modos de Falhas e Efeitos

Na última etapa realizada neste presente estudo, elaborou-se a Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) para o item físico *spreader* visto que este apresentou a maior criticidade dentre os itens físicos analisados. Como resultado da

análise – em que se aplicou a metodologia descrita no item 3.3 – obteve-se a análise disposta no Quadro 4.2 apresentado a seguir.

Pode-se analisar, por meio do índice NPR, que os principais riscos relacionados a este físico são:

- I. Rompimento do cabo de aço de elevação devido falta de lubrificação;
- II. Desgaste do rolamento das roldanas de elevação por utilização após vida útil encerrada;
- III. Desgaste do cabo de aço de elevação por problemas de lubrificação ou utilização após vida útil encerrada.

Tais riscos são passíveis de eliminação ou mitigação por meio de simples ações como executar lubrificação e/ou troca dos itens dentro da periodicidade correta. Contudo, embora estes itens estejam presentes atualmente na execução das manutenções preventivas, não se possui controle adequado das inspeções periódicas conforme relatado na coluna “controle atual”. Assim sendo, por meio desta análise, pôde-se também observar a necessidade recorrente de melhores controles e registros das inspeções deste equipamento, uma ação simples de implementação e que pode trazer significativos ganhos ao equipamento.

Por fim, pode-se notar que se inseriu na análise uma coluna “ações preventivas” para que se pudesse analisar e identificar os métodos de manutenção mais indicados para resolução das falhas analisadas.

Esta coleta de dados será importante para a continuidade do trabalho na Etapa 02 do projeto, de seleção das tarefas de manutenções preventivas, que permitirá à área de Manutenção elaborar um novo propósito detalhado e aplicado especificamente à demanda do equipamento – não se baseando apenas no plano de manutenção determinado pela fabricante do pórtico.

Quadro 4.2 - Planilha FMEA de análise do item físico *spreader*.

Falha Funcional	Possíveis Falhas			Controle Atual	Índices			NPR	Ações Preventivas
	Modo(s)	Efeito(s)	Causa(s)		F	G	D		TIPO MANUT
Não transportar cargas devido ao rolo guia cabo de aço danificado.	Desgaste da guia	Rompimento do cabo de aço	Falta de lubrificação do cabo de aço	É inspecionado mas não é registrado	3	10	2	60	MPC
		Rompimento do cabo de aço	Vida útil ultrapassada do cabo de aço	É inspecionado mas não é registrado	1	10	2	20	MPC
	Desgaste da guia	Desgaste do cabo	Falta de lubrificação do cabo de aço	É inspecionado mas não é registrado	5	5	2	50	MPC
		Desgaste do cabo	Vida útil ultrapassada do cabo de aço	É inspecionado mas não é registrado	4	5	2	40	MPC
Não transportar cargas devido a trinca no Spreader.	Trinca do Spreader	Sobrecarga na viga caixão	Contêiner com desbalanceamento de cargas	É inspecionado mas não é registrado	6	6	1	36	MPC
	Trinca do Spreader	Impactos durante o carregamento	Falha operacional	Não	1	6	1	6	MC
Não transportar cargas devido à haste do apalpador travada.	Travamento de Haste	Oxidação da haste	Falta de lubrificação da haste	É inspecionado mas não é registrado	7	4	1	28	MM
Não transportar cargas devido à haste do apalpador travada.	Travamento de Haste	Oxidação da haste	Acúmulo de água da chuva	É inspecionado mas não é registrado	7	4	1	28	MPT
Não transportar cargas devido à haste do apalpador travada.	Travamento de Haste	Travamento da mola	Falta de lubrificação da mola	É inspecionado mas não é registrado	7	4	1	28	MPT
Não transportar cargas devido ao rolamento das roldanas danificado.	Quebra do rolamento	Desgaste do rolamento	Vida útil ultrapassada do rolamento	Não	1	7	8	56	MPT
Não girar o spreader devido à quebra da cremalheira de giro.	Quebra de cremalheira	Impossibilidade de giro do spreader	Falha operacional	Não	1	2	1	2	MC
Não girar o spreader devido à quebra da cremalheira de giro.	Quebra de cremalheira	Impossibilidade de giro do spreader	Falta de lubrificação da cremalheira	É inspecionado mas não é registrado	1	2	1	2	MPT
Não girar o spreader devido à quebra do motor de giro.	Vazamento de óleo	Falta de pressão hidráulica para ativação do motor	Desgaste das vedações	Não	1	2	8	16	MPT

Fonte: o autor (2019).

## 5 CONCLUSÃO

O projeto retratado neste trabalho teve início juntamente ao estudo, mas não possui um prazo para término definido, pois dados os ganhos já visualizados e dificuldades contornadas, foi implementado um processo de análise contínuo que será replicado à análise dos demais subsistemas do Pórtico na sequência. Esta metodologia de elaboração de FMEA por meio de análise da MCC também será elaborada para análises de outros equipamentos da companhia, como máquinas Reach Stacker, empilhadeiras, estrutura para contenção de grãos (granel), dentre outros.

Foram obtidos diversos resultados positivos, já executados e constatados ao longo do projeto, elencados a seguir:

- Com relação aos objetivos do trabalho, conclui-se que todos foram atingidos, embora as análises tenham sido focadas em apenas no sistema de Elevação, devido ao curto tempo para execução do projeto.
  - O objetivo principal deste trabalho de elaborar um estudo de caso em que é aplicada a metodologia de Análise de Falhas foi concluído. Foi criada uma base sólida de informações sobre o Pórtico RMG, sobre o sistema de Elevação neste primeiro momento, e a empresa foi preparada para passar a executar a metodologia MCC como parte de sua rotina.
  - Dentre os objetivos específicos, previa-se mapear o Sistema de funcionamento de um Pórtico Sobre Trilhos para Contêineres (RMG) e o mapeamento conforme proposto pela metodologia foi elaborado, identificando-se os sistemas do equipamento, subsistemas, itens físicos, funções, falhas funcionais, dentre diversos dados que agregam à manutenção e operação do Pórtico.
  - Foi realizada a Análise de Causa-Efeito (FMEA) no equipamento nos métodos *Top-down* e *Bottom-up*.
  - As planilhas elaboradas durante o projeto vêm sendo consideradas como material de apoio para consultas dos operadores e/ou manutentores em caso de necessidade de criação de novos controles e documentos, ou manutenções e ocorrência de defeitos ou falhas. O

material elaborado através das diversas planilhas já vem sendo consultado pelos técnicos e especialistas para elaboração e atualização de variados controles, como o check list de inspeção diária da manutenção e o check list de manutenções preventivas do Pórtico RMG.

- Foram utilizadas as etapas 1 a 5 de implementação da MCC, conforme proposto por Zaions (2003) em seu estudo.
- Além do atingimento dos objetivos, outros ganhos foram visualizados:
  - Apesar de resistência inicial dos envolvidos que possuem atividade mais operacional, o estudo foi bem aceito por todas as áreas. Os membros da equipe de estudo relataram a compreensão da importância de se analisar a fundo o equipamento e suas falhas funcionais.
  - Implementou-se entre os envolvidos uma cultura proativa de evitar as falhas, ao invés da cultura reativa (de “apagar incêndios”) até então estabelecida.
  - O projeto foi comprado e divulgado pela alta gestão como algo positivo e que deve ter continuidade, com acompanhamento dos indicadores, arquivamento e divulgação do material elaborado.
  - Mostrando os intuítos do projeto, pôde-se conseguir (junto ao Departamento Pessoal) treinamentos de capacitação e aprofundamento para os mecânicos e eletricitas do equipamento, trazendo novos conhecimentos e maior expertise para operações e manutenções melhores, mais bem executadas e com utilização otimizada de recursos.
  - Também se pôde obter orçamento para aquisição de novas ferramentas (como prensa, macaco de 100 toneladas) e melhorias nas atuais que são utilizadas para manutenção do equipamento.
  - Foi desenvolvido um maior contato entre as diferentes áreas e diferentes terminais ferroviários da companhia, trazendo maior integração entre os membros da área de Manutenção em si e também com a área de Operações. Este maior contato levou os envolvidos a padronizarem os conceitos e nomenclaturas até então utilizados para analisar e se referir ao equipamento.

- Em decorrência da nova mentalidade estabelecida nos envolvidos (cultura proativa), ao avaliar-se o plano atual de manutenção preventiva existente para o equipamento, foi identificada necessidade de melhoria e acréscimo de novos itens nas tarefas de manutenção.
- Identificou-se, através das análises impulsionadas pelo estudo, que com o aumento da produtividade e tempo de operação nos terminais, um pórtico de classificação 3M terá dificuldades de operar com eficiência devido à alta solicitação de carga e tempo de uso. Assim sendo, em caso de aquisição de novos maquinários
- Pode-se dizer que como principais resultados positivos, teve-se a identificação de melhorias físicas, de processo e de modernizações, que já tiveram modificações executadas ao longo destes meses, trazendo melhorias e maior confiabilidade ao equipamento. Algumas das melhorias já foram executadas, como:
  - Os manutentores efetuaram a criação de um dispositivo de proteção para roldanas dos cabos de aço.
  - Foi feita a substituição das *microswitchs* do *spreader* por sensores indutivos.
  - Foram implementados sensores magnéticos para alinhamento automatizado das rodas do equipamento na região de curva da linha ferroviária, evitando sobrecarga dos motores e rolamentos durante a curva que, até então, faziam a transição de ângulos apenas mecanicamente via contato com os trilhos.
  - Desenvolveu-se uma nova metodologia para manutenção dos cabos do sistema de elevação, sem a necessidade de locação de plataforma elevatória, forma como o processo era feito até então.
  - Foi desenvolvida uma nova ferramenta para substituição dos rolamentos das rodas do Pórtico.
  - Foram criados estoques de segurança com a finalidade de se terem as peças críticas à disposição caso necessária manutenção corretiva emergencial. Tais estoques possibilitaram a execução de manutenções mais ágeis e uma disponibilidade maior de equipamento, conseqüentemente.

Em contrapartida, alguns obstáculos e dificuldades para execução do projeto foram identificados:

- Era existente a preocupação em não se deixar de envolver algum elemento chave e fundamental para colaborar com análises efetivas durante o projeto.
- Houve grande dificuldade em manter a comunicação prevista inicialmente para o projeto (como envio de atas de reunião, atualização de cronogramas do projeto, envio de e-mails de status) devido à necessidade de executar o projeto paralelamente às atividades de rotina da equipe – que é muito enxuta, contudo manteve-se a execução das reuniões periódicas conforme proposto inicialmente.
- Inicialmente, houve baixo engajamento na causa devido à não compreensão da importância do projeto e da necessidade de criação de métodos para se analisar o equipamento. Esta dificuldade em grande parte pode se dar devido aos problemas de comunicação supracitados.
- Atualmente a companhia dispõe de quantidade de pessoal limitada, sem possibilidade de *backup* para as variadas funções dos participantes do projeto, o que tornou difícil a implementação do projeto para que fosse executado em meio às rotinas de expediente dos envolvidos. A participação de todos os elementos chave do projeto era crucial para garantir o desenvolvimento de análises claras, objetivas, assertivas e eficientes.
- Houve constante preocupação em garantir que as análises realizadas englobassem as principais falhas que poderiam ocorrer no equipamento e suas peculiaridades, evitando levar a análises supérfluas ou de baixo impacto no contexto geral do equipamento.
- Em alguns momentos, houve dificuldade em se manter a motivação da equipe frente à necessidade de realizar numerosas análises e preenchimentos de planilhas sem que se pudesse visualizar no projeto resultados efetivos a curto prazo.
- Também houve dificuldade em manter a realização das reuniões semanais e elaboração das análises frente à necessidade de encaixar a execução do projeto nas rotinas atuais dos envolvidos.

- Durante à execução do projeto, e após sua implementação efetiva, deve-se haver o cuidado para que não haja alterações de projeto ou peças sem que se tenha comunicação ao responsável pelo material e conteúdo divulgado.
- Receava-se que os envolvidos no projeto saíssem dos encontros de análise com dúvidas não esclarecidas, o que poderia acarretar na disseminação de informações incorretas a outras pessoas que desejassem se inteirar do andamento do estudo.

Algumas soluções para as dificuldades encontradas são listadas a seguir:

- Inicialmente, para garantir que as análises e planilhas elaboradas englobassem todas as características conhecidas do equipamento, decidiu-se envolver no projeto todas as áreas técnicas que poderiam contribuir com a análise como Engenharia Mecânica, Engenharia de Processos, Técnicos de Manutenção. Planejadores de Manutenção, Especialistas em Manutenção, Operadores do maquinário e gestores. Após as primeiras reuniões, encontrou-se dificuldades em conciliar agendas para realizar reuniões em que se pudesse realizar um brainstorming com tempo e recursos adequados.
- Assim sendo, alterou-se o método de reuniões para reuniões semanais apenas com o corpo técnico, com apresentação de resultados periodicamente às demais áreas envolvidas, solicitando validação e sugestões de melhoria.
- Foi enfatizado inúmeras vezes aos envolvidos que as análises passarão a fazer parte da rotina para a fim de que se obtenha uma melhoria contínua nos processos.
- Buscou-se estimular o pensamento estratégico e analítico de todos os envolvidos, o que levará à mudança na cultura basicamente reativa na área operacional de Manutenção.
- A fim de se garantir que todos os elementos chaves fossem envolvidos, desde a reunião de *kick-off* do projeto, convidou-se representantes da Operação do terminal, engenharia, manutenção (corporativo e terminais).
  - Envolver todos os departamentos e equipes nos processos resolutivos desencadeia dois retornos que são essenciais para os negócios, hoje: o empoderamento de todos os envolvidos, desde os cargos mais operacionais até o mais estratégico, além da criação de

uma cultura de *accountability*, ou senso de responsabilização, individual e coletiva, pelos resultados da empresa, de forma natural, sem determinações e cobranças. Este processo reforça a certeza de que um ativo de grandíssima importância em uma organização são as pessoas. Assim, esses profissionais, ao se sentirem valorizados, que criam valor para os negócios e, independentemente de hierarquias, mostram-se são cruciais para o alcance de resultados significativos.

- Para evitar que as reuniões não ocorressem semanalmente e, conseqüentemente, o andamento do projeto, estabeleceu-se horários de reuniões flexíveis, foi incluído o desenvolvimento da MCC no planejamento semanal dos manutentores, e determinado a execução de reuniões periódicas com Engenharia, Terminal e Operadores para que o material, elaborado pela equipe de manutenção, fosse revisado.
- A fim de se garantir a continuidade do projeto e se ter a certeza de que o estudo está alinhado com os objetivos estratégicos da organização, apresentou-se o projeto à alta gerência que garantiu o apoio da liderança a sua execução. O status do projeto vem sendo apresentado periodicamente e foi considerado de grande importância para permitir o crescimento previsto para a companhia a longo prazo.
- Foi estabelecido que as planilhas e demais material desenvolvido deverá sofrer constantes revisões e atualizações periódicas para garantir que alterações de peças estejam sendo consideradas. Em um primeiro momento, o material deverá ter revisão periódica uma vez a cada ano.
- Para evitar que os membros estivessem com dúvidas não esclarecidas acerca do projeto, estimulou-se a abertura para perguntas em todas as reuniões. Além disto, foram efetuadas constantes revisões para lembrar os envolvidos sobre os conceitos e importância da MCC, o que garantiria que informações disseminadas pela empresa jamais estariam em desacordo com o que vinha sendo executado no projeto.

Tais ações de melhoria e mitigação dos riscos, levaram a uma adaptação de conceitos e rotinas mais adequada aos membros do projeto, aumentando o entendimento da necessidade de mudança de cultura na companhia.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como produto deste estudo, diversos outros trabalhos podem dar continuidade às análises. Os âmbitos sugeridos são:

- i. Continuar a elaboração dos controles e análises de falha para os demais sistemas de Translação e Direção, a fim de obter o mapeamento completo do equipamento.
- ii. Continuar com a Etapa 2 do projeto, selecionando as tarefas preventivas e desenvolvendo planos de manutenção com tarefas mais adequadas e específicas para o equipamento em análise.
- iii. Ainda sobre a Etapa 2 prevista para o projeto na empresa, analisar possibilidades de melhorias incrementais de equipamento, modernizações, ou *retrofit*, o custo respectivo destas melhorias e a viabilidade de investimento para estas ações.
- iv. Analisar o indicador de confiabilidade do equipamento antes e após as ações implementadas de melhoria de equipamento e de processos obtidas através da inserção da metodologia de MCC na empresa.
- v. Elaborar estudo de solicitação de cargas para identificar os impactos que o Pórtico RMG, de classificação 3M, vem sofrendo devido ao tempo de uso diário e peso das cargas transportadas.

Com a aplicação destas análises do presente estudo e os trabalhos propostos, será garantida, conforme visualizado na bibliografia, a execução de uma Manutenção Centrada em Confiabilidade, com ganhos objetivos e subjetivos para a companhia estudada.

## REFERÊNCIAS

- BARRIENTOS, M. I. G. G. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1652/4/650378.pdf> . Acesso em: 20 ago 2019.
- BRADO. **Quem somos – Trajetória Brado**. 2019. Disponível em: <http://www.brado.com.br/brado-logistica/quem-somos/trajetoria/>. Acesso em: 14 jul. 2019.
- FUNDÃO, A. S. et al. Falha por corrosão em tubulação de descarte de água do mar. **Revista Univap**, São José dos Campos, v. 22, n. 41, p. 5-12, 2016. Disponível em: <https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/429/1185>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christino Ottoni, 1995.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.
- KÖCHE, J. C. **Fundamentos da metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 34. ed. Petrópolis, Vozes, 2015.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001.
- MANUAL PÓRTICO RGM. **BREVIL**. 2015. Disponível em: Brado Logística S/A. Acesso em: 22 ago. 2019.
- MOUBRAY, J. Is Streamlined RCM Worth the Risk? **Revista Maintenance Technology Online**. Barrington, IL, Estados Unidos da América, jan. 2001. Disponível em: <https://www.efficientplantmag.com/2001/01/is-streamlined-rcm-worth-the-risk/>. Acesso: em 20 ago. 2019.
- MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. São Paulo: Durban Ltda., 2000.
- NBR 8400:1984. **Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas – Procedimento**. 1984. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=80601>. Acesso em: 18 set. 2019.

PONGELUPPE, P. C. **Modelo de indicadores de desempenho para micro e pequenas agroindústrias: multi-caso de laticínios**. 2002. 169 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Carlos. São Carlos, 2002.

RAUSAND, M.; EINARSSON, S. **An Approach to Vulnerability Analysis of Complex Industrial Systems**. Oxford: Blackwell Publishing, 1998.

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Revista Produção**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/prod/v15n1/n1a04.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2019.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMITH, A. M. **Reliability Centered Maintenance**. Boston: McGraw, 1993.

SOUZA, F. J. **Melhoria do pilar “Manutenção Planejada” da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de Manutenção**. 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995.

VENTURA, M. M. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Rev SOCERJ**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007. Disponível em: [http://files.neurologase.webnode.com/200000397-00793026d2/o\\_estudo\\_de\\_caso\\_como\\_modalidade\\_de\\_pesquisa.pdf](http://files.neurologase.webnode.com/200000397-00793026d2/o_estudo_de_caso_como_modalidade_de_pesquisa.pdf). Acesso em: 24 maio 2019.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ZAIIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel**. 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 219 páginas. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Douglas\\_R\\_Zaions.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Douglas_R_Zaions.pdf). Acesso em: 17 maio 2019.

**APÊNDICE A – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC01**

PLANILHA MCC01 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Automação.

MCC 01	Planilha de definição das fronteiras do sistema			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
		SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:	
Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	24/07/2019		
	AUTOMAÇÃO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	17/11/2019		
<b>1 – Principais itens físicos:</b>					
<p><i>CLP MESTRE (1); JOYSTICK D (1); ENCODER (4); CÉLULA DE CARGA (4); INDICADOR DE PESAGEM (4); CHAVE ROTATIVA (1); CLP ESCRAVO (1); CABO DE COMUNICAÇÃO REDECAM (1); CABO DE COMUNICAÇÃO MODBUS (1); CABO DE COMUNICAÇÃO DO ENCODER (4); CABOS DE SINAL (*); MICROSWITCH SPREADER (8); RELÉS; ANEMÔMETRO (1); IHM (1); BOTÃO BOMBA SPREADER (1); FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP MESTRE (1); FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP ESCRAVO (1); FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMANDO BINÁRIO (1)</i></p>					
<b>2 – Fronteiras físicas do sistema: Inicia com:</b>					
<p><i>1 JOYSTICK D ; 2 ENCODER; 3 IHM; 4 CÉLULA DE CARGA</i></p>					
<b>Termina com:</b>					
<p><i>1 CLP MESTRE / CLP ESCRAVO ; 2 CLP MESTRE; 3 CLP MESTRE; 4 CLP MESTRE</i></p>					
<b>3 – Considerações necessárias:</b>					
<p><i>O INCLINÔMETRO NÃO SERÁ CONSIDERADO NO SISTEMA DE ELEVAÇÃO EMBORA ESTEJA ALOCADO FISICAMENTE LÁ. O JOYSTICK SERÁ CONSIDERADO NOS TRÊS SISTEMAS (ELEVAÇÃO, DIREÇÃO E TRANSLAÇÃO). O MOTOR ELÉTRICO SERÁ CONSIDERADO UM ITEM MECÂNICO POR CONTA DA SUA FUNÇÃO PRIMÁRIA. RELÉS SERÃO CONSIDERADOS AUTOMAÇÃO E CONTADORES SERÃO CONSIDERADOS ELÉTRICOS.</i></p>					

PLANILHA MCC01 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Elétrico.

MCC 01	Planilha de definição das fronteiras do sistema			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
		SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:	
Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	24/07/2019		
	ELÉTRICO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	17/11/2019		
<b>1 – Principais itens físicos:</b>					
<p><i>SUBESTAÇÃO (1); DISJUNTOR DE TRANSFERÊNCIA AT (2); CABO DE POTÊNCIA AT (1); ENROLADOR DE CABO AT (1); TRANSFORMADOR (1); CABO DE POTÊNCIA BT (16); DISJUNTOR GERAL BT (1); CONTADOR DE POTÊNCIA GERAL (2); CONTADOR DE POTÊNCIA DO FREIO (4); CHAVE FUSIVEL TRIFÁSICA (4); FILTRO DE REDE (4); INVERSOR DE FREQUÊNCIA (4); BANCO DE RESISTÊNCIA (4); ENROLADOR DE CABO DE COMANDO SPREADER (1); ENROLADOR DE CABO DE POTÊNCIA SPREADER (1); COLETOR DE ANÉIS SPREADER (1)</i></p>					
<b>2 – Fronteiras físicas do sistema: Inicia com:</b>					
<p><i>1 SUBESTAÇÃO PRIMÁRIA 2 SUBESTAÇÃO PRIMÁRIA</i></p>					
<b>Termina com:</b>					
<p><i>1 CAIXA LIGAÇÃO MOTOR 2 COLETOR SPLADER</i></p>					
<b>3 – Considerações necessárias:</b>					
<p><i>O MOTOR ELÉTRICO SERÁ CONSIDERADO UM ITEM MECÂNICO POR CONTA DA SUA FUNÇÃO PRIMÁRIA. OS BANCOS DE CAPACITORES FORAM DESLIGADOS POIS ENTRAVAM EM RESSONÂNCIA COM OS INVERSORES DE FREQUÊNCIA, AUMENTANDO AS HARMÔNICAS NO PAINEL PRINCIPAL, POR ISSO NÃO CONSTAM NA LISTA DE ITENS.</i></p>					

## PLANILHA MCC01 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Mecânico.

MCC 01	Planilha de definição das fronteiras do sistema			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
		Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	26/07/2019
SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:		DATA ÚLT. REVISÃO:		
	MECÂNICO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	17/11/2019		
<b>1 – Principais itens físicos:</b>					
<i>MOTOREDUTOR (4); MOTOR HIDRÁULICO DE GIRO (1); ACOPLAMENTO (4); MANCAL (8); TAMBOR ENROLADOR (4); CABO DE AÇO (4); ROLDANA 20/40 (12); ANILHA DE FIXAÇÃO (4); SPREADER (1); PINO LOCK SPREADER (4); VIGA CAIXÃO SPREADER (1); TELESCÓPICO SPREADER (2)</i>					
<b>2 – Fronteiras físicas do sistema: Inicia com:</b>					
<i>1 MOTOREDUTOR</i>					
<b>Termina com:</b>					
<i>1 ANILHA DE FIXAÇÃO DE CABO</i>					
<b>3 – Considerações necessárias:</b>					
<i>O SPREADER PODERÁ SER ANALISADO COMO UM ITEM ÚNICO OU EM PEÇAS MENORES POIS TEM GRANDE IMPORTÂNCIA PARA O PÓRTICO.</i>					

## PLANILHA MCC01 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Hidráulico.

MCC 01	Planilha de definição das fronteiras do sistema			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
		Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	26/07/2019
SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:		DATA ÚLT. REVISÃO:		
	HIDRÁULICO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	17/11/2019		
<b>1 – Principais itens físicos:</b>					
<i>CONJUNTO HIDRÁULICO (1); BLOCO DE VÁLVULAS (1); MANGUEIRA HIDRÁULICA (*); VÁLVULA ELETROHIDRÁULICA (8); VÁLVULA REGULADORA DE VAZÃO (2); VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO (4); VÁLVULA DE RETENÇÃO (7); MANÔMETRO (1); PISTÃO HIDRÁULICO (6).</i>					
<b>2 – Fronteiras físicas do sistema: Inicia com:</b>					
<i>1 COLETOR DE ANÉIS SPREADER; 2 CONJUNTO HIDRÁULICO</i>					
<b>Termina com:</b>					
<i>1 CONJUNTO HIDRÁULICO; 2 PISTÃO TWIST LOCKS /PISTÃO TELESCÓPICO/MOTOR HIDRÁULICO GIRO</i>					
<b>3 – Considerações necessárias:</b>					
<i>O MOTOR HIDRÁULICO SERÁ CONSIDERADO UM ITEM MECÂNICO POR CONTA DA SUA FUNÇÃO PRIMÁRIA.</i>					

**APÊNDICE B – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC02**

## PLANILHA MCC02 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Automação.

MCC 02	Planilha de descrição dos sistemas			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:
		ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC		
Pórtico RMG PEEL0001	SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	19/08/2019	21/11/2019
	AUTOMAÇÃO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS			
<b>1 – Funções e seus parâmetros:</b>					
<p><i>Função primária: Comandar, processar e controlar os mecanismos de elevação por meio de sinais de comunicação diversos.</i></p> <p><i>Funções secundárias: Registrar dados da operação; identificar fugas de parâmetros; projetar informações na IHM.</i></p> <p><i>Sua principal função é exercida através dos CLPs que processam as informações vindas (pelos cabos de comunicação) dos sistemas de controle (Joystick, IHM, indicador de pesagem, encoders, dentre outros) e comandam os acionamentos do sistema de elevação.</i></p>					
<b>2 – Redundâncias:</b>					
<p><i>O CLP Mestre processa todos os comandos de todos os sistemas; o ENCODER e o LIMITE ROTATIVO são redundantes na função de segurança; os CABOS DE COMUNICAÇÃO são redundantes na função de transporte de dados mas possuem protocolos de informação diferentes.</i></p>					
<b>3 – Dispositivos de proteção:</b>					
<p><i>ENCODER (limite de elevação); LIMITE ROTATIVO (limite de elevação); MICROSWITCH (locker aberto/fechado); RELÉS (isolamento de componentes eletrônicos); ANEMÔMETRO (excesso de vento); INDICADOR DE PESAGEM (limites de peso).</i></p>					
<b>4 – Instrumentação e controle:</b>					
<p><i>IHM (apontamento de falhas do drive, peso, velocidade do vento, deslocamento de altura, informações de ligamento das bombas) mas mede apenas no instante, não possui armazenamento de dados. Sistema externo: de Telemetria DELTACOM ( 1-indica a variação de tempo que o container fica locked, 2- horímetro, 3- contagem de containers movimentados, 4- alarme de velocidade de vento, 5-sobre carga containers). CLP Mestre (leitura e armazenamento dos dados mensais - quantidade de contêineres, tempo de operação, tipos de contêineres carregados - de elevação).</i></p>					

## PLANILHA MCC02 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Elétrico.

MCC 02	Planilha de descrição dos sistemas			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:
		ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC		
Pórtico RMG PEEL0001	SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	19/08/2019	21/11/2019
	ELÉTRICO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS			
<b>1 – Funções e seus parâmetros:</b>					
<p><i>Função primária: Alimentar com energia elétrica (sistema trifásico, tensão 380VAC/60Hz) os motores de elevação, spreader e sistema de automação da elevação (tensão 220VAC/24VCC).</i></p> <p><i>Funções secundárias: Proteger sistema de elevação contra desvios nos parâmetros; alimentar indicadores visuais do spreader; controlar a velocidade de içamento.</i></p> <p><i>A principal função é fornecer energia elétrica para os motores, por meio dos cabos, permitindo o controle de velocidade e o sentido de rotação dos motores (através dos inversores) de frequência para o içamento da carga.</i></p>					
<b>2 – Redundâncias:</b>					
<p><i>Não há redundâncias</i></p>					
<b>3 – Dispositivos de proteção:</b>					
<p><i>Inversor de frequência (mantem os motores elétricos dentro de seus parâmetros de controle); Fusíveis de proteção (protege componentes elétricos em geral de correntes excessivas).</i></p>					
<b>4 – Instrumentação e controle:</b>					
<p><i>Inversores de frequência (permitem extrair dados de potência consumida, corrente, tensão, dados de controle e operação do motor, visualizar entradas e saídas de sinais).</i></p>					

PLANILHA MCC02 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Mecânico.

MCC 02	Planilha de descrição dos sistemas			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
	Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	19/08/2019	
	SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:		
	MECÂNICO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	21/11/2019		
<b>1 – Funções e seus parâmetros:</b>					
<p><i>Função primária: Transportar (sentido vertical) cargas max. até 35 toneladas, entre 2,90m e 14,5m de altura.</i></p> <p><i>Funções secundárias: Girar o spreader / carga;</i></p> <p><i>Principal função do sistema mecânico de elevação consiste no acionamento do conjunto motoredutor transformando energia elétrica em força mecânica transmitida por eixos, mancais e rolamentos ao tambor de enrolamento de cabos de aço que por sua vez se estendem até o spreader através dos 04 cabos sob roldanas responsáveis pelo içamento vertical da carga.</i></p>					
<b>2 – Redundâncias:</b>					
Não há redundâncias					
<b>3 – Dispositivos de proteção:</b>					
Proteção de partes rotativas (acoplamento e eixos)					
<b>4 – Instrumentação e controle:</b>					
Não possui					

PLANILHA MCC02 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Hidráulico.

MCC 02	Planilha de descrição dos sistemas			Folha nº	01
	EQUIPAMENTO:	SISTEMA:	ELABORAÇÃO:	DATA ELABORAÇÃO:	
	Pórtico RMG PEEL0001	ELEVAÇÃO	EQUIPE DE PROJETO MCC	19/08/2019	
	SUBSISTEMA:	VALIDAÇÃO:	DATA ÚLT. REVISÃO:		
	HIDRÁULICO	ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	21/11/2019		
<b>1 – Funções e seus parâmetros:</b>					
<p><i>Função primária: permitir, através de fluidos hidráulicos pressurizados (140BAR) por bombas, as funções de movimento dos acionamentos (motor, pistões e válvulas).</i></p> <p><i>Funções secundárias: garantir que a pressão do sistema se mantenha dentro dos parâmetros; permitir leituras de pressão.</i></p> <p><i>Sua função é iniciada através do conjunto hidráulico (bomba) que pressuriza o óleo do reservatório para o sistema. A vazão é regulada e permitida por válvulas. As mangueiras então transportam o óleo de um ponto ao outro para que sejam acionados os pistões e motores, permitindo os movimentos do spreader (giro, travas e ajuste do comprimento).</i></p>					
<b>2 – Redundâncias:</b>					
BOMBAS HIDRÁULICAS B1 e B2 (a B2 é complementar de pressão da B1); mangueiras.					
<b>3 – Dispositivos de proteção:</b>					
Válvula reguladora de pressão (define pressão limite de 140 BAR); Válvula reguladora de vazão (para limitar o esforço das bombas)					
<b>4 – Instrumentação e controle:</b>					
Manômetro (para leituras da pressão hidráulica da rede)					

**APÊNDICE C – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC05**

## PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Automação.

<b>MCC 05</b>	Planilha para Descrição dos Itens Físicos				Folha nº	01
	SISTEMA:  Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVACÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC		DATA ELABORAÇÃO: 18/10/2019	
		SUBSISTEMA: AUTOMAÇÃO	VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS		DATA ÚLT. REVISÃO: 29/11/2019	
<b>ITENS FÍSICOS = IF / INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE = IC</b>						
Nº MCC	Descrição	Tag	Quant	Características Técnicas	Local de Instalação	
IF-01	CLP MESTRE	MOVI PLC	1	Controlador Lógico Programável, fornecedor SEW, código fornecedor DHE41B/OMH41B-T2/UOH11B	No painel principal localizado sobre o passadiço.	
IF-02	JOYSTICK D	JY2	1	Modelo TER HERCULES, Marca ROME, código fornecedor PF58OC22036	Dentro da cabine do operador	
IF-03	ENCODER	ECR1/ECR2/ ECR3/ECR4	4	Encoders tipo ABSOLUTO, fornecedor SEW, código fornecedor (E) DR(AG7W)FS AMGW8(13643886)	Acoplado ao eixo, na tampa traseira de fletora do motor de elevação	
IF-04	CÉLULA DE CARGA	CL1/CL2/ CB/CL4	4	Células de carga fabricante WEIGHTECH, Modelo CRSA 1-DEL-A20C(EF5505)	Fixadas entre a ancoragem e o cabo de aço nos 04 motores de elevação	
IF-05	INDICADOR PESAGEM	WT21-1/WT21-2/ WT21-3/WT21-4	4	Indicadores de pesagem fabricante WEIGHTECH, Modelo WT21 N° Série PI454A14419414/2015	No painel de acima do carro talha, próximo aos motores de elevação	
IF-06	CHAVE ROTATIVA	FCE	1	Dispositivo interruptor eletromecânico tipo rotativo (chave fim de curso). Fabricante TER FINECORSAL BASE / Modelo COD:PFA9067A0255009/19PPF105547	Acoplado ao eixo do enrolador de cabos do motoredutor de elevação U3	
IF-07	CABO DE COMUNICAÇÃO DO ENCODER	não possui	4	Cabos de comunicação encoder-inversores, fabricante LAPP, modelo OLFLEX servo FD798CP, referências cabo: E63634 30V FTI LL260747 0036911 K00174187981	Liga o encoder aos inversores de frequência localizados no painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-08	CLP ESCRAVO	A1	1	Controlador Lógico Programável, fabricante IFM, Modelo IFM CR0403 ECOMOT MOBILE 10R047060	Painel elétrico, fixado na viga caixão do spreader, localizado no lado oposto ao comando hidráulico.	
IF-09	CABOS DE SINAL	não possui	*	Cabos multivía variando de 1 via (1mm) até 27 vias (1mm). Classi de isolamento 750V, fiação flexível.	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-10	CABO DE COMUNICAÇÃO REDECAM	não possui	1	Cabo de comunicação CLP-inversores(1, 2, 3, 4, 6, 7, 8), fabricante EURO CABOS, Modelo 2PX24 AWG 25485 120OHMS	No painel principal localizado sobre o passadiço.	
IF-11	CABO DE COMUNICAÇÃO MODBUS	não possui	1	Cabo de comunicação inclinômetro-IHM-CLP-inversor(5), fabricante EURO CABOS/ MODELO 2PX24 AWG 25485 120OHMS	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-12	MICROSWITCH SPREADER	FC1 / FC2 TR1 / TR2	8	Dispositivo interruptor eletromecânico tipo rolete (chave fim de curso). Fabricante SCHIMERSAL, Modelo M4V7H 007-11 Y	Nos pinos locks e apaladores.	
IF-13	RELE	não possui		Fabricante SCHNEIDER , Modelo 24 VCC 6A-250V SCHNEIDER	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-14	ANEMÔMETRO	não possui	1	Fabricante FOX , Modelo WS-150	No painel elétrico principal localizado sobre o passadiço e na esteira porta cabos fixada na viga caixão.	
IF-15	IHM	não possui	1	Fabricante SEW , Modelo - DOP11C-100 PART N:17974232	Dentro da cabine do operador	
IF-16	BOTÃO BOMBA SPREADER	não possui	1	Fabricante SIBRATEC , Modelo BL8325 INA+1NF	Dentro da cabine do operador	
IF-17	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP MESTRE	FT2	1	Fonte de alimentação do CLP mestre e da IHM, 220/24VCC/10A, Fabricante MURR ELEKTRONIK, Modelo M0382694	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-18	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP ESCRAVO	F1	1	Fonte de alimentação do CLP escravo, 220/24VCC/10A, Fabricante MURR ELEKTRONIK, Modelo M0382694	Painel elétrico, fixado na viga caixão do spreader, localizado no lado oposto ao comando hidráulico.	
IF-19	FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMANDO BINÁRIO	FT1	1	Fonte de alimentação do comando binário (giroflex, buzina e outros itens auxiliares), 220/24VCC/10A, Fabricante MURR ELEKTRONIK, Modelo M0382694	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	

## PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Elétrico.

<b>MCC 05</b>	Planilha para Descrição dos Itens Físicos				Folha nº	01
	SISTEMA:  Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVACÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC		DATA ELABORAÇÃO: 18/10/2019	
		SUBSISTEMA: ELÉTRICO	VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS		DATA ÚLT. REVISÃO: 29/11/2019	
ITENS FÍSICOS = IF / ELÉTRICA						
Nº MCC	Descrição	Tag	Quant	Características Técnicas	Local de Instalação	
IF-20	SUBESTAÇÃO	SE01	1	Subestação rebaixadora 11.9KV / 220VAC	Pátio operacional próximo ao tanque de abastecimento	
IF-21	DISJUNTOR DE TRANSFERÊNCIA A.T	DJ01	1	Fabricante Siemens, trifásico, tensão 11.9KV	No cubículo 2 da Subestação Elétrica	
IF-22	DISJUNTOR DE TRANSFERÊNCIA A.T	DJ02	1	Fabricante Scheneider, trifásico, tensão 11.9KV	No cubículo 4 da Subestação Elétrica	
IF-23	CABO DE POTÊNCIA A.T	CBAT01	1	Fabricante Conductix wampfler WXG - HVR 3x25 cód.3127590	Ao longo da canaleta paralela ao trilho de rolamento do Pórtico, lado das pernas 6 e 9	
IF-24	ENROLADOR DE CABO A.T	ECM01	1	Enrolador de cabo motorizado. Fabricante Conductix wampfler, modelo 7100, tipo BNA47.1CN55.M1642VS 3TH24. S/N 10720758/02	Na estrutura do pórtico, entre pernas 6 e 9	
IF-25	TRANSFORMADOR	TR01	1	Transformador rebaixador. Fabricante Contrafo, 11.9KV / 380VAC / 500KVA N. 151450102	Na estrutura do pórtico, entre pernas 6 e 9	
IF-26	CABO DE POTÊNCIA B.T	CP01	6	Singelo 240mm / 1000VAC	Estendido verticalmente entre as pernas 6 e 9, ligando o transformador ao painel principal	
IF-27	DISJUNTOR GERAL B.T	DJG	1	Tripolar, 800A	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-28	CONTATOR DE POTÊNCIA GERAL	K0, K01	2	Fabricante Schneider, Tripolar, F630AS/BOB.LC1F630 220VAC	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-29	CONTATOR DE POTÊNCIA DO FREIO	K1,K2,K3,K4	4	Fabricante Scheneider, Tripolar, 1NA+1NF / 220VAC / BOB. LC1D09M7	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-30	CHAVE FUSÍVEL TRIFÁSICA	F1, F2,F3,F4	4	Fabricante Scheneider, NH 125A T00	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-31	FILTRO DE REDE	T1, T2,T3,T4	4	Fabricante SEW mod. ND150-013 / I-150A	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-32	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	U1,U2,U3,U4	4	Fabricante SEW movilrive MDX61B0550-503-4-00/DEH11B / 55KW	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-33	BANCO DE RESISTÊNCIA	R1,R2,R3,R4	4	Banco de resistência de frenagem. Fabricante SEW, 18KW, 6 OHM	Painel principal localizado no passadiço da viga caixão.	
IF-34	ENROLADOR DE CABO DE COMANDO	EC01	1	Fabricante Vahle, Tipo VLF300-2-952-18-26, I-26A N contatos 17+PEN 200N	Na parte de baixo do carro talha	
IF-35	ENROLADOR DE CABO DE POTÊNCIA	EC02	1	Fabricante Vahle, Tipo VLF420-2-953-4-60, I-60A N contatos 3+PEN 257N	Na parte de baixo do carro talha	
IF-36	COLETOR DE ANÉIS SPREADER	CA01	1	Fabricante Stemmann mod. Modelo FRK54-PE+9/27A	Na parte superior do spreader	

## PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Mecânico.

<b>MCC 05</b>	Planilha para Descrição dos Itens Físicos				Folha nº	01
	SISTEMA:  Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVACÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC		DATA ELABORAÇÃO: 18/10/2019	
		SUBSISTEMA: MECÂNICO	VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS		DATA ÚLT. REVISÃO: 29/11/2019	
ITENS FÍSICOS = IF / INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE = IC						
Nº MCC	Descrição	Tag	Quant	Características Técnicas	Local de Instalação	
IF-37	MOTOREDUTOR	U1,U2,U3,U4	4	Motor elevação 45 KW/86A/380v/1780rpm SEW, código fornecedor DRE225M4BE32/FF/TH/AG7W. Redutor de elevação 45kw/9370Nm SEW código do fabricante: MC3PLSF05 M1F1-123	Carro talha junto ao enrolador de cabos de aço.	
IF-38	MOTOR HIDRÁULICO DE GIRO	não possui	1	Motor Char-Lynn Série H 46CM3R fabricante: EATON Código: MH0028AA24AA0000000000AA00J	No ponto de acoplamento dos cabos ao spreader.	
IF-39	ACOPLAMENTO	não possui	4	Acoplamento flexível, fabricante ANTARES modelo WRPA -SW225UK	No ponto de acoplamento dos cabos ao spreader.	
IF-40	TAMBOR ENROLADOR	não possui	4	Não possui especificações.	No ponto de acoplamento dos cabos ao spreader.	
IF-41	MANCAL	não possui	4	Não possui especificações.	No ponto de acoplamento dos cabos ao spreader.	
IF-42	CABO DE AÇO	não possui	4	Cabo de aço AAPCI TRD. 6X25F 9/16 14,30MM RUP. 14550 KG	Tambor enrolador de cabos carro talha e nas roldanas.	
IF-43	ANILHA DE FIXAÇÃO	não possui	4	Não possui especificações.	No ponto de acoplamento dos cabos ao spreader.	
IF-44	SPREADER	não possui	1	Talha de elevação marca SAUR para 35 toneladas.	Spreader	
IF-45	PINO LOCK SPREADER	não possui	4	Não possui especificações.	Spreader	
IF-46	VIGA CAIXÃO SPREADER	não possui	1	Viga caixão acomodação dos braços telescópicos 20/40 pés. Descrição fabricante: Conjunto corpo código: C1110829.	Spreader	
IF-47	TELESCÓPICO SPREADER	não possui	2	Braços telescópicos permitindo abertura nas medidas de contêineres de 20/40 pés.	Spreader	

## PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Hidráulico.

MCC 05		Planilha para Descrição dos Itens Físicos			Folha nº	01
		SISTEMA: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVACÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC	DATA ELABORAÇÃO: 18/10/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 29/11/2019
<b>ITENS FÍSICOS = IF / INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE = IC</b>						
Nº MCC	Descrição	Tag	Quant	Características Técnicas	Local de Instalação	
IF-48	CONJUNTO HIDRAULICO	não possui	1	FABRICANTE SAUR COD:M1020043 REF	Spreader	
IF-49	BLOCO VALVULA	não possui	1	FABRICANTE (BOSCH) 1709 PM 0519	Spreader	
IF-50	MANGUEIRA HIDRAULICA	não possui	4	ESPESSURA 1/2" /FAIXA DE PRESSÃO 3980PSI / 2 TRAMAS	Spreader	
IF-51	VALVULA ELETROHIDRAULICA	não possui	3	FABRICANTE ATHOS / MODELO DHE-0711 DC20	Spreader	
IF-52	VALVULA REGULADORA VAZÃO	não possui	3	Não possui especificações.	Spreader	
IF-53	VALVULA REGULADORA PRESSÃO	não possui	3	Não possui especificações.	Spreader	
IF-54	VALVULA RETENÇÃO	não possui	3	Não possui especificações.	Spreader	
IF-55	MANOMETRO	não possui	1	4500 PSI/ 315 BAR	Spreader	
IF-56	PISTÃO HIDRAULICO	não possui	4	Não possui especificações.	Spreader	

**APÊNDICE D – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC07**

PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Automação.

MCC 07		Planilha de Correlação das Funções com as Falhas Funcionais			Folha nº	01
		EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVÇÃO SUBSISTEMA: AUTOMAÇÃO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ELABORAÇÃO: 12/11/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 05/12/2019
Nº MCC Função	FUNÇÃO	Nº MCC Falha	FALHA FUNCIONAL			
F-01	Comandar, processar e controlar os mecanismos de elevação por meio de sinais de comunicação diversos.	FF-01	Não realizar a comunicação geral.			
		FF-02	Não realizar a comunicação entre os drives de acionamento dos motores.			
		FF-03	Não transmitir sinais dos encoders.			
		FF-04	Não processar adequadamente os comandos dos joysticks.			
		FF-05	IHM não processar adequadamente os comandos.			
		FF-06	Não comunicar adequadamente a calibragem do peso.			
		FF-07	Não transmitir sinais do anemômetro.			
F-02	Registrar dados da operação.	FF-08	Não registrar dados devido ao corrompimento da memória.			
F-03	Identificar fugas de parâmetros.	FF-09	Não identificar fugas de parâmetros devido à queima da placa de controle dos inversores.			
F-04	Projetar informações na IHM.	FF-10	Não projetar informações na IHM devido à queima de entrada de comunicação.			
		FF-11	Não realizar adequadamente a comunicação do CLP/IHM.			

PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Elétrico.

MCC 07		Planilha de Correlação das Funções com as Falhas Funcionais			Folha nº	01
		EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVÇÃO SUBSISTEMA: ELÉTRICO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ELABORAÇÃO: 12/11/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 05/12/2019
Nº MCC Função	FUNÇÃO	Nº MCC Falha	FALHA FUNCIONAL			
F-06	Alimentar com energia elétrica os motores de elevação, spreader e sistema de automação da elevação.	FF-12	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à falta de fase.			
		FF-13	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à queima do fusível.			
		FF-14	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido ao cabo rompido.			
		FF-15	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à fonte de 24 vcc queimada.			
		FF-16	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à bobina de contator queimada.			
		FF-17	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido ao transformador estar danificado.			
F-07	Proteger sistema de elevação contra desvios nos parâmetros.	FF-18	Não proteger sistema devido à queima da placa de controle dos inversores.			
		FF-19	Não proteger sistema devido à queima do CLP.			
F-08	Alimentar indicadores visuais do spreader.	FF-20	Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido à queima de fusível.			
		FF-21	Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido ao disjutor desarmado.			
		FF-22	Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido ao rompimento de cabo de alimentação.			
		FF-23	Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido aos contatos elétricos da chave fim de curso			
F-09	Controlar a velocidade de içamento.	FF-24	Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido à fonte 24vcc do spreader estar queimada.			
		FF-25	Não controlar a velocidade de içamento devido à queima da placa de potência inversor.			

PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Mecânico.

MCC 07		Planilha de Correlação das Funções com as Falhas Funcionais			Folha nº	01
		EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL0001	SISTEMA: ELEVÇÃO SUBSISTEMA: MECÂNICO	ELABORAÇÃO: EQUIPE DE PROJETO MCC VALIDAÇÃO: ESPECIALISTA E ENGENHEIRO RESPONSÁVEIS	DATA ELABORAÇÃO: 12/11/2019	DATA ÚLT. REVISÃO: 05/12/2019
Nº MCC Função	FUNÇÃO	Nº MCC Falha	FALHA FUNCIONAL			
F-10	Transportar (sentido vertical) cargas max. até 35 toneladas, entre 2,90m e 14,5m de altura.	FF-26	Não transportar cargas devido ao cabo de aço avariado.			
		FF-27	Não transportar cargas devido ao rolamento danificado.			
		FF-28	Não transportar cargas devido ao elemento elástico danificado.			
		FF-29	Não transportar cargas devido ao rolo guia cabo de aço danificado.			
		FF-30	Não transportar cargas devido ao afrouxamento das presilhas de fixação cabo de aço.			
		FF-31	Não transportar cargas devido a trinca no Spreader.			
		FF-32	Não transportar cargas devido à haste do apalpador travada.			
		FF-33	Não transportar cargas devido ao rolamento motor quebrado.			
		FF-34	Não transportar cargas devido ao rolamento das roldanas danificado.			
		F-11	Girar o spreader (e a carga).	FF-35	Não girar o spreader devido à quebra da cremalheira de giro.	
FF-36	Não girar o spreader devido à quebra do motor de giro.					
FF-37	Não girar o spreader devido a desarme da bomba hidráulica.					

## PLANILHA MCC05 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Hidráulico.

<b>MCC 07</b>		<b>Planilha de Correlação das Funções com as Falhas Funcionais</b>			<b>Folha nº</b>	<b>01</b>
		<b>EQUIPAMENTO:</b> Pórtico RMG PEEL0001	<b>SISTEMA:</b> ELEVAÇÃO	<b>ELABORAÇÃO:</b> EQUIPE DE PROJETO MCC	<b>DATA ELABORAÇÃO:</b> 12/11/2019	<b>DATA ÚLT. REVISÃO:</b> 05/12/2019
<b>Nº MCC Função</b>	<b>FUNÇÃO</b>	<b>Nº MCC Falha</b>	<b>FALHA FUNCIONAL</b>			
F-12	Permitir, através de fluidos hidráulicos pressurizados (140BAR) por bombas, as funções de movimento dos acionamentos (motor, pistões e	FF-38	Perda do fluido hidráulico no sistema.			
		FF-39	Não manter pressão no sistema hidráulico em 140BAR.			
F-13	Garantir que a pressão do sistema se mantenha	FF-40	Não executar movimento dos pistões adequadamente.			
		FF-41	Não manter pressão no sistema hidráulico em 140BAR.			
F-14	Permitir leituras de pressão.	FF-42	Não permitir leitura de pressão.			
		FF-43	Apresentar medição de pressão incorretamente.			

**APÊNDICE E – PLANILHAS PREENCHIDAS MCC08**

PLANILHA MCC08 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Automação.

MCC 08		Nº MCC	FF-01	FF-02	FF-03	FF-04	FF-05	FF-06	FF-07	FF-08	FF-09	FF-10	FF-11	
		FALHA FUNCIONAL	Não realizar a comunicação geral.	Não realizar a comunicação entre os drives de actonamento dos moltores.	Não transmitir sinais dos encoders.	Não processar adequadamente os comandos dos joysticks.	IHM não processar adequadamente os comandos.	Não comunicar adequadamente a calibragem do peso.	Não transmitir sinais do anemómetro.	Não registar dados da operação.	Não identificar fugas de parâmetros devido à queima da placa de controle dos inversores.	Não projetar informações na IHM devido à queima de entrada de comunicação.	Não realizar adequadamente a comunicação do CLP/IHM.	
EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL0001														
SISTEMA: Elevação														
SUBSISTEMA: Automação														
ELABORAÇÃO: Equipe de Projeto MCC, 19/11/2019														
VALIDAÇÃO: Especialista responsável, 19/11/2019		C <sub>H</sub>	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	
		C <sub>A</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ITENS FÍSICOS		C <sub>E</sub>	5	5	5	3	5	5	1	1	5	2	3	
Nº MCC	Descrição	D <sub>M</sub>	G <sub>C</sub>										I <sub>CE</sub>	
IF-01	CLP MESTRE	2	5	5	0	5	0	1	3	3	2	4	5	258
IF-02	JOYSTICK D	1	0	0	0	5	0	0	0	2	0	3	0	38
IF-03	ENCODER	1	0	0	5	0	0	0	0	0	3	3	0	46
IF-04	CÉLULA DE CARGA	5	0	0	0	0	0	5	0	2	3	3	0	365
IF-05	INDICADOR PESAGEM	1	0	0	0	0	0	5	0	2	3	3	0	73
IF-06	CHAVE ROTATIVA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6
IF-07	CABO DE COMUNICAÇÃO DO ENCODER	2	0	0	5	0	0	0	0	0	3	2	0	88
IF-08	CLP ESCRAVO	2	5	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	102
IF-09	CABOS DE SINAL	3	3	1	0	5	0	4	5	4	0	4	4	357
IF-10	CABO DE COMUNICAÇÃO REDECAM	1	5	5	0	0	0	0	0	4	0	1	5	71
IF-11	CABO DE COMUNICAÇÃO MODBUS	2	5	5	0	0	5	0	0	4	0	1	0	162
IF-12	MICROSWITCH SPREADER	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8
IF-13	RELÉ	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	0	26
IF-14	ANEMÓMETRO	1	0	0	0	0	0	5	2	3	4	0	30	
IF-15	IHM	2	4	0	0	0	5	4	0	3	1	2	5	224
IF-16	BOTÃO BOMBA SPREADER	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF-17	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP MESTRE	1	5	5	0	5	0	3	3	3	3	1	5	148
IF-18	FONTE DE ALIMENTAÇÃO CLP ESCRAVO	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3	0	30
IF-19	FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMANDO BINÁRIO	1	0	5	0	5	3	4	3	3	3	5	5	156

C <sub>H</sub>	Consequência na segurança humana. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na segurança humana? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>A</sub>	Consequência na integridade ambiental. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>E</sub>	Consequências económicas e operacionais. Identificar o grau de relação da falha funcional com as suas consequências económicas e operacionais. Preencher com 0 (nenhum impacto) a 5 (forte impacto).
D <sub>M</sub>	Dificuldade de realizar a manutenção. Identificar o grau de dificuldade (tempo, equipamentos, peças em estoque, pessoal, custo) de fazer a manutenção do item. Preencher com 1 (baixa dificuldade) a 5 (grande dificuldade)
G <sub>C</sub>	Grau de correlação item versus falha funcional. Preencher com 0 (nenhuma correlação) a 5 (altíssima correlação).
I <sub>CE</sub>	Índice de criticidade económica.

## PLANILHA MCC08 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Elétrico.

MCC 08		Nº MCC	FF-12	FF-13	FF-14	FF-15	FF-16	FF-17	FF-18	FF-19	FF-20	FF-21	FF-22	FF-23	FF-24	FF-25	
<b>Planilha para correlação dos itens físicos com as falhas funcionais</b> EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL001 SISTEMA: Elevação SUBSISTEMA: Elétrico ELABORAÇÃO: Equipe de Projeto MCC, 19/11/2019 VALIDAÇÃO: Especialista responsável, 19/11/2019		FALHA FUNCIONAL	Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à falta de fase. Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à queima do fusível. Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido ao cabo rompido. Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à fonte de 24 vcc queimada. Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido à bobina de contador queimada. Não alimentar com energia elétrica o pórtico devido ao transformador estar danificado. Não proteger sistema devido à queima da placa de controle dos inversores. Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido à queima de fusível. Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido ao disjuntor desarmado. Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido ao rompimento do cabo de alimentação. Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido aos contatos elétricos da chave fim de curso. Não alimentar os indicadores visuais do spreader devido à fonte 24vcc do spreader estar queimada. Não controlar a velocidade de acionamento devido à queima da placa de potência inversor.														
		C <sub>H</sub>	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		C <sub>A</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		C <sub>E</sub>	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	2	1	1	1	1
		<b>ITENS FÍSICOS</b>															
Nº MCC	Descrição	D <sub>M</sub>	G <sub>C</sub>													I <sub>CE</sub>	
IF-20	SUBESTAÇÃO	3	5	4	0	1	3	5	4	3	1	1	0	2	2	4	432
IF-21	DISJUNTOR DE TRANFERÊNCIA A.T	3	5	1	0	1	3	3	4	2	1	0	0	1	1	4	333
IF-22	DISJUNTOR DE TRANFERÊNCIA B.T	3	5	1	0	1	3	3	4	2	1	0	0	1	1	4	333
IF-23	CABO DE POTÊNCIA A.T	5	5	5	5	1	3	3	2	1	1	0	0	1	1	1	775
IF-24	ENROLADOR DE CABO A.T	5	11	5	0	1	3	3	2	1	1	0	0	1	1	1	675
IF-25	TRANSFORMADOR	5	5	4	0	2	4	5	4	5	1	1	0	2	2	4	820
IF-26	CABO DE POTÊNCIA B.T	3	4	5	5	1	4	5	4	5	1	0	3	1	2	3	615
IF-27	DISJUNTOR GERAL B.T	3	5	1	0	1	5	2	1	1	1	5	0	1	1	1	276
IF-28	CONTATOR DE POTÊNCIA GERAL	2	5	1	0	1	5	1	1	2	1	0	0	0	0	1	170
IF-29	CONTATOR DE POTÊNCIA DO FREIO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25
IF-30	CHAVE FUSÍVEL TRIFÁSICA	1	1	1	0	3	0	0	1	0	0	0	2	0	0	3	45
IF-31	FILTRO DE REDE	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	4	35
IF-32	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	3	0	0	0	3	0	0	5	1	0	0	0	0	0	5	180
IF-33	BANCO DE RESISTÊNCIA	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	5	68
IF-34	ENROLADOR DE CABO DE COMANDO SPREADER	4	0	0	0	3	0	0	0	2	3	2	5	0	1	0	156
IF-35	ENROLADOR DE CABO DE POTÊNCIA SPREADER	4	0	0	0	3	0	0	0	1	3	0	0	0	3	0	116
IF-36	COLETOR DE ANÉIS SPREADER	2	0	0	0	3	0	0	0	3	4	4	5	0	3	0	100

C <sub>H</sub>	Consequência na segurança humana. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na segurança humana? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>A</sub>	Consequência na integridade ambiental. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>E</sub>	Consequências econômicas e operacionais. Identificar o grau de relação da falha funcional com as suas consequências econômicas e operacionais. Preencher com 0 (nenhum impacto) a 5 (forte impacto).
D <sub>M</sub>	Dificuldade de realizar a manutenção. Identificar o grau de dificuldade (tempo, equipamentos, peças em estoque, pessoal, custo) de fazer a manutenção do item. Preencher com 1 (baixa dificuldade) a 5 (grande dificuldade).
G <sub>C</sub>	Grau de correlação item versus falha funcional. Preencher com 0 (nenhuma correlação) a 5 (altíssima correlação).
I <sub>CE</sub>	Índice de criticidade econômica

## PLANILHA MCC08 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Mecânico.

MCC 08		Nº MCC	FF-26	FF-27	FF-28	FF-29	FF-30	FF-31	FF-32	FF-33	FF-34	FF-35	FF-36	FF-37	
<b>Planilha para correlação dos itens físicos com as falhas funcionais</b> EQUIPAMENTO: Pórtico RMG PEEL001 SISTEMA: Elevação SUBSISTEMA: Mecânico ELABORAÇÃO: Equipe de Projeto MCC, 19/11/2019		FALHA FUNCIONAL	Não transportar cargas devido ao cabo de aço avariado. Não transportar cargas devido ao rolamento danificado. Não transportar cargas devido ao elemento elástico danificado. Não transportar cargas devido ao rolo guia cabo de aço danificado. Não transportar cargas devido ao afrouxamento das presilhas de fixação do cabo de aço. Não transportar cargas devido à trinca no Spreader. Não transportar cargas devido à haste do apalpador travada. Não transportar cargas devido ao rolamento do motor quebrado. Não transportar cargas devido ao rolamento das roldanas danificado. Não girar o spreader devido à quebra da cremalheira de giro. Não girar o spreader devido à quebra do motor de giro. Não girar o spreader devido a desarme da bomba hidráulica.												
		C <sub>H</sub>	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1
		C <sub>A</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		C <sub>E</sub>	5	5	3	5	3	5	3	5	3	5	4	5	5
		<b>ITENS FÍSICOS</b>													
Nº MCC	Descrição	D <sub>M</sub>	G <sub>C</sub>											I <sub>CE</sub>	
IF-37	MOTOREDUTOR	5	0	5	5	5	0	0	0	5	2	0	0	0	490
IF-38	MOTOR HIDRÁULICO DE GIRO	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	320
IF-39	ACOPLAMENTO	4	0	0	5	5	0	0	0	0	0	2	5	0	340
IF-40	TAMBOR ENROLADOR	5	1	2	0	5	3	0	0	0	5	0	0	0	415
IF-41	MANCAL	4	0	5	0	4	0	0	0	5	5	0	0	0	360
IF-42	CABO DE AÇO	5	2	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	375
IF-43	ANILHA DE FIXAÇÃO	4	3	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	320
IF-44	SPREADER	5	0	0	0	4	0	5	5	0	5	5	5	0	975
IF-45	PINO LOCK SPREADER	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	54
IF-46	VIGA CAIXÃO SPREADER	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	250
IF-47	TELESCÓPICO SPREADER	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	2	260

C <sub>H</sub>	Consequência na segurança humana. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na segurança humana? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>A</sub>	Consequência na integridade ambiental. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>E</sub>	Consequências econômicas e operacionais. Identificar o grau de relação da falha funcional com as suas consequências econômicas e operacionais. Preencher com 0 (nenhum impacto) a 5 (forte impacto).
D <sub>M</sub>	Dificuldade de realizar a manutenção. Identificar o grau de dificuldade (tempo, equipamentos, peças em estoque, pessoal, custo) de fazer a manutenção do item. Preencher com 0 (nenhuma dificuldade) a 5 (grande dificuldade).
G <sub>C</sub>	Grau de correlação item versus falha funcional. Preencher com 0 (nenhuma correlação) a 5 (altíssima correlação).
I <sub>CE</sub>	Índice de criticidade econômica

PLANILHA MCC08 preenchida – Sistema Elevação, Subsistema Hidráulico.

MCC 08		Nº MCC	FF-38	FF-39	FF-41	FF-42	FF-43							
<b>Planilha para correlação dos itens físicos com as falhas funcionais</b>  <b>EQUIPAMENTO:</b> Pórtico RMG PEEL0001 <b>SISTEMA:</b> Elevação <b>SUBSISTEMA:</b> Hidráulico <b>ELABORAÇÃO:</b> Equipe de Projeto MCC, 19/11/2019 <b>VALIDAÇÃO:</b> Especialista responsável, 19/11/2019		<b>FALHA FUNCIONAL</b>	Perda do fluido hidráulico no sistema.	Não manter pressão no sistema hidráulico em 140BAR.	Não manter pressão no sistema hidráulico em 140BAR.	Não permitir leitura de pressão.	A apresentar medição de pressão incorretamente.							
		C <sub>H</sub>	2	1	1	1	2							
		C <sub>A</sub>	2	1	1	1	1							
		C <sub>E</sub>	4	5	5	1	1							
		<b>ITENS FÍSICOS</b>												
Nº MCC	Descrição	D <sub>M</sub>	G <sub>C</sub>										I <sub>CE</sub>	
IF-48	CONJUNTO HIDRAULICO	3	5	5	5	1	1						399	
IF-49	BLOCO VALVULA	5	4	5	5	0	0						570	
IF-50	MANGUEIRA HIDRAULICA	2	5	2	2	1	0						202	
IF-51	VALVULA ELETROHIDRAULICA	2	1	3	3	0	0						92	
IF-52	VALVULA REGULADORA VAZÃO	1	1	5	5	0	0						66	
IF-53	VALVULA REGULADORA PRESSÃO	1	1	5	5	0	0						66	
IF-54	VALVULA RETENÇÃO	1	1	4	4	0	0						56	
IF-55	MANOMETRO	1	1	1	1	5	5						41	
IF-56	PISTÃO HIDRAULICO	2	3	1	1	0	0						116	
													0	
													0	

C <sub>H</sub>	Consequência na segurança humana. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na segurança humana? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>A</sub>	Consequência na integridade ambiental. Pergunta: A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental? Preencher com 1 (Não) ou 2 (Sim).
C <sub>E</sub>	Consequências econômicas e operacionais. Identificar o grau de relação da falha funcional com as suas consequências econômicas e operacionais. Preencher com 0 (nenhum impacto) a 5 (forte impacto).
D <sub>M</sub>	Dificuldade de realizar a manutenção. Identificar o grau de dificuldade (tempo, equipamentos, peças em estoque, pessoal, custo) de fazer a manutenção do item. Preencher com 1 (baixa dificuldade) a 5 (grande dificuldade).
G <sub>C</sub>	Grau de correlação item <i>versus</i> falha funcional. Preencher com 0 (nenhuma correlação) a 5 (altíssima correlação).
I <sub>CE</sub>	Índice de criticidade econômica