

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS EMANUEL CARDOSO SOARES

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA EM GUINDASTES**

São Luís, MA

2023

LUCAS EMANUEL CARDOSO SOARES

## **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA EM GUINDASTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Elson César Moraes

São Luís, MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Soares, Lucas Emanuel Cardoso.  
ANÁLISE DO CICLO DE VIDA EM GUINDASTES / Lucas Emanuel  
Cardoso Soares. - 2023.  
59 f.

Orientador(a): Elson César Moraes.  
Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do  
Maranhão, São Luís - Maranhão, 2023.

1. Gestão de ativos. 2. Guindastes Móveis. 3. Life  
Cycle. I. Moraes, Elson César. II. Título.

LUCAS EMANUEL CARDOSO SOARES

**ANÁLISE DE CUSTO DE CICLO DE VIDA EM GUINDASTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Elson César Moraes

São Luís, 13 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Elson César Moraes  
(Orientador – CCEM/ UFMA)

---

Prof. Dr. Dalmo Inácio Galdez Costa  
(Avaliador interno – CCEM/ UFMA)

---

Prof. Dr. Vilson Souza Pereira  
(Avaliador interno – CCEM/ UFMA)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus e a minha família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por seu amor incondicional, suas bênçãos e infinita misericórdia. À minha família: meus pais, tios, tias, irmãs e primos que fizeram e fazem parte da minha história.

Especialmente à minha mãe, Lindalva Rodrigues Cardoso por seu amor e cuidado. Ao meu pai, Francisco Soares Filho, pelo seu caráter e comprometimento. Minha Tia Rosaldir, pelas constantes orações e enorme carinho. Meu Tio João Batista, pelo cuidado e instrução.

Agradeço aos meus amigos de longas datas, a começar por Ana Carolina, que sempre esteve em meus momentos de vitórias e fracassos desde a infância. Aos amigos que fiz durante a faculdade, Gabriel, Lorena, Luziana, Ana Karoliny, Mateus Barros, Halina, Mateus Costa, Marta, Heitor, Lara e Paulo.

Ao Prof. Elson Moraes pela orientação e atenção durante todo esse período de monografia e durante a formação. A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica, de forma especial aos professores Dalmo e Vilson.

Aos meus colegas de trabalho na oficina de equipamentos móveis, que tiveram grande contribuição na minha formação: Patriki, Ezequias, Zamana, Protásio, Ivaneide, Assis, Victor, Edivaldo, Ricardo, Geyson, Danilo, Cristiano e Janilson .

Enfim, obrigado a todos aqueles que contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

“O trabalho vai ocupar boa parte da sua vida, a única maneira de ficar satisfeito é fazer o que você acredita ser um bom trabalho. “ **(Steve Jobs)**

## RESUMO

Empresas competitivas buscam a redução de despesas, aliar confiabilidade de ativos e redução de custos é um desafio. No caso de ativos como guindastes móveis em que o investimento na aquisição é elevado, estratégias de redução de custo são imprescindíveis. Para isso, os setores de manutenção possuem dois principais métodos para gestão de ativos, a troca ou aluguel. Para embasar a tomada de decisões realizou-se a análise de disponibilidade de ativos com diferentes tempos de uso. Inicialmente o foco foi a realização de análises de *Life Cycle Cost* (LCC), mas em virtude da dificuldade de acesso a informações sobre custos, o trabalho foi direcionado ao estudo do ciclo de vida dos ativos. Para isso foram utilizados históricos de manutenção e dados de operação dos equipamentos. Uma análise de falhas com maior impacto no ano de 2022 é construída e a disponibilidade do equipamento demonstrada dentro do período analisado.

**Palavras Chave:** *Life Cycle*, Guindastes Móveis, Gestão de ativos.



## **ABSTRACT**

Competitive companies seek to reduce expenses, combining asset reliability and cost reduction is a challenge. In the case of assets such as mobile cranes where the investment in the acquisition is high, cost reduction strategies are essential. For this, the maintenance sectors have two main methods for asset management, exchange or rental. In order to support decision-making, the availability analysis of assets with different times of use was carried out. Initially the focus was on performing Life Cycle Cost (LCC) analysis, but due to the difficulty of accessing cost information, the work was directed to the study of the life cycle of assets. For this, maintenance history and equipment operation data were used. An analysis of failures with greater impact in the year 2022 is constructed and the availability of the equipment is demonstrated within the analyzed period.

**Key Words:** *Life Cycle*, Mobile Cranes, Asset Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Guindastes na construção civil .....	19
Figura 2 - Pontos de inspeção, manutenção em guindastes .....	21
Figura 3 - Principais componentes reformados pela Liebherr .....	22
Figura 4 - Guindastes com capacidades similares aos utilizados no trabalho .....	31
Figura 5 - Disponibilidade Física dos Guindastes .....	33
Figura 6 - Disponibilidade por guindaste .....	34
Figura 7 - MTBF e MTTR .....	35
Figura 8 - Horas em manutenção .....	36
Figura 9 - Quantidade de falhas por guindaste .....	37
Figura 10 - Estratificação de falhas por sistema .....	38
Figura 11 - Estratificação de falhas por conjunto .....	40
Figura 12 - Estratificação de falhas por item .....	41
Figura 13 - Coroa de giro .....	42
Figura 14 - Visão explodida de um cilindro hidráulico .....	43
Figura 15 - Transmissão de um guindaste Liebherr .....	44
Figura 16 - Vidros em um guindaste móvel sobre rodas .....	45
Figura 17 - Corrosão metálica .....	46
Figura 18 - Funcionamento dos modos de direção .....	46
Figura 19 - Diagrama do sistema de modos de direção .....	47
Figura 20 - Avaria em pneu .....	48
Figura 21 - Componentes críticos .....	49
Figura 22 - Quantidade de manutenções preventivas .....	50

## **LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1 - Índices de classe mundial .....</b>	<b>24</b>
<b>Quadro 2 - Custos considerados para o LCC .....</b>	<b>26</b>
<b>Quadro 3 - Perguntas balizadoras do MCC .....</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 4 - Tempo de vida de guindastes móveis .....</b>	<b>51</b>
<b>Quadro 5 - Dados complementares dos guindastes .....</b>	<b>52</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Dados Técnicos dos Guindastes Liebherr .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2 - Falhas com maior impacto em 2022.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CMPF	Custos de manutenção por faturamento
CPMV	Custo de manutenção por valor de reposição
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Cost
MTBF	Main time between failure
MTTR	Main time to repair
RCM	Reliability centered Maintenance
TAG	Tagueamento
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCO	Total Cost of Ownership

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>17</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Objetivo geral.....	18
3.2 Objetivos específicos.....	18
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
4.1 Guindastes.....	19
4.2 Índices de manutenção.....	23
4.3 Custo de ciclo de vida.....	25
4.4 Tipos de manutenção.....	27
4.5 Perfil de perdas.....	29
4.6 Análise de falhas.....	29
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
6.1 Análise da disponibilidade dos ativos.....	33
6.2 MTBF e MTTR.....	35
6.3 Perfil de perdas.....	37
6.4 Análises de falhas.....	42

6.4.1 Coroa de giro .....	42
6.4.2 Cilindros .....	43
6.4.3 Transmissão.....	44
6.4.4 Vidros .....	44
6.5 Defeitos apresentados pelos equipamentos .....	45
6.5.1 Corrosão .....	45
6.5.2 Modos de direção.....	46
6.5.3 Pneus .....	47
6.5.4 Outros defeitos .....	48
6.6 Manutenções preventivas .....	49
6.7 Reforma de equipamentos .....	51
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>55</b>
<b>9. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No caso de estudo serão avaliados os guindastes em uma planta industrial, abordando duas soluções comuns na utilização de equipamentos móveis, a aquisição de dispositivos ou a terceirização (locação). Para analisar qual a solução mais viável para o contexto especificado será utilizada a ferramenta de LCC (custo de ciclo de vida), para isso serão considerados o perfil de perdas, informações técnicas, histórico de manutenção e disponibilidade de guindastes de uma empresa de mineração no período de um ano.

Os guindastes em uma planta industrial, são dispositivos utilizados para içar cargas. Portanto, considerados equipamentos auxiliares de manutenção, realizam o içamento de bobinas de correias transportadoras, redutores, estruturas metálicas, plataformas e outros. O que torna a disponibilidade do equipamento fundamental para a execução da manutenção ou obra em prazos estabelecidos, a indisponibilidade de um guindaste pode impactar negativamente em todo o processo de execução ou manutenção.

É necessário considerar que um equipamento pode falhar até mesmo seguindo o plano de manutenção, por isso é importante observar o impacto de uma falha na produtividade de uma planta industrial e encontrar soluções para suprir a indisponibilidade de um ativo como a adoção de um equipamento reserva ou a realização de estratégias de manutenção centrada na confiabilidade.

Na indústria as decisões devem ser bem fundamentadas, principalmente relacionadas a compra, descarte ou venda de um ativo, mas frequentemente são realizadas sem a devida análise. De modo geral, são avaliadas apenas características como o custo de reparo do ativo usado e o custo de aquisição de um novo ativo. A análise de LCC considera também a operação, descarte, impostos e impactos a produção e outros.

Além da análise quantitativa do LCC é importante realizar o estudo qualitativo do processo de manutenção. É fundamental considerar e debater os principais desafios encontrados no período de análise, como a capacitação de mão de obra, *lead time* do

fornecimento de peças, eventos aleatórios (colisão), erros operacionais, adaptações para cumprir legislações. Desta forma, além dos fatores mencionados anteriormente é necessário considerar que a maneira como os dados são coletados e inseridos pode influenciar na incerteza do resultado de LCC. Dentro do período de analisado foram detectados erros de apontamento de tempo de manutenção, não liberação do equipamento para realização da manutenção preventiva.

Para contextualizar o escopo do trabalho é possível considerar o caso de equipamentos eletrônicos que têm a vida útil programada, pois em muitos casos o reparo tem valor muito próximo ao custo de um equipamento novo. Entretanto, nos casos de equipamentos com custo de aquisição elevado, a vida útil é significativa para determinar a compra, venda e descarte. De modo geral, os equipamentos móveis como caminhões, tratores e guindastes possuem a vida útil de 10 anos como padrão de mercado, mas o presente estudo busca avaliar esse padrão e determinar o período mais adequado. Por fim, subsidiar informações para determinar a opção de vender ou manter um guindaste móvel.



## **2. JUSTIFICATIVA**

Usualmente a escolha de desativação e compra de um equipamento não avalia todos os parâmetros necessários, são levados em consideração apenas aspectos superficiais como o custo de reparo do equipamento antigo e o custo de aquisição de um equipamento novo. Também ocorre o aproveitamento de equipamentos que podem ser inviáveis economicamente. Assim como, o descarte de equipamentos que podem ter reparo economicamente viável.

Os custos são balizadores do desenvolvimento de uma empresa, a redução de gastos com equipamentos é um dos objetivos gerenciais. Portanto, um equipamento confiável e uma boa relação do custo de manutenção são metas sempre almejadas. Assim, o estudo de LCC possibilita avaliar se é viável manter, comprar ou alugar um ativo.

O tema é fundamental para auxiliar na tomada de decisão sobre gestão de equipamentos. Além de guindastes, equipamentos móveis como carretas, tratores, pás carregadeiras e outros como fornos, tornos, pontes rolantes, compressores. Além disso, esse estudo serve para além da vida corporativa, para vida pessoal na aquisição de um veículo ou compra de um imóvel.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Elaborar um estudo de custo de ciclo de vida de guindaste móveis. Utilizando do banco de dados de falhas e disponibilidade dos equipamentos no ano de 2022.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Realizar estudo teórico acerca dos conceitos de confiabilidade;
- Avaliar a disponibilidade física dos guindastes no período de um ano;
- Analisar as falhas com maior impacto no período;
- Estudar uma metodologia para análise de custo de ciclo de vida;

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os guindastes móveis são fundamentais para execução de obras e manutenções, possibilitam içar elementos de grandes dimensões para elevadas alturas sem a necessidade de uma estrutura auxiliar como no caso dos guindastes estacionários. Desta forma, a utilização de guindaste móveis para todos os terrenos é essencial em indústrias, pois os cenários são diversificados. Por exemplo: a necessidade de atuar em pequenos espaços; locais de difícil acesso e realizar atendimentos urgentes. Na Figura 1 é possível destacar duas aplicações de guindastes na construção civil: guindaste móvel e do tipo grua.

Os guindastes atuam como recursos auxiliares, a indisponibilidade do equipamento pode ocasionar efeito em cadeia, de modo a prejudicar o prazo final do serviço e gerar grande prejuízo. Assim é necessário que os ativos sejam confiáveis. Garantir a confiabilidade de guindastes exige conhecimento em diversas áreas como: hidráulica, mecânica, elétrica e eletrônica, são diversos sistemas isolados que conjuntamente possibilitam que o equipamento desempenhe seu deslocamento, içamento da carga com segurança e precisão. Desta forma, a mão de obra para manutenção em guindastes deve ser especializada.

### 4.1 Guindastes

Figura 1 - Guindastes na construção civil



Fonte: Adaptado de ABC (2018).

Os Guindastes são dispositivos mecânicos que possibilitam o içamento de estruturas e conseqüente montagem. O içamento da carga ocorre pela elevação a partir de cabos de aço que pendem da ponta da lança e transferem o peso da peça para o guincho do equipamento (FILHO,2005).

Os guindastes móveis são utilizados na indústria do transporte para a carga e descarga de mercadorias, na indústria da construção para a circulação de materiais e na indústria de transformação para a montagem de equipamentos pesados. No presente trabalho foi analisada uma frota de guindastes utilizados para a manutenção e construção de correias transportadoras, empilhadeiras de minério, carregadores de navios, viradores de vagões e movimentação de equipamentos pesados como bobinas de correias, redutores, estruturas metálicas, plataformas elevatórias, tratores e outros. Além disso, no Estado do Maranhão os guindastes são utilizados para instalação de turbinas eólicas, construção civil de pontes, galpões e outros.

Os principais tipos de dispositivos de içamento vertical são gruas e guindastes. As gruas possuem uma torre vertical acoplada conectada a uma lança horizontal. Os guindastes são formados por um veículo que se desloca pelo solo do qual uma lança se projeta para cima e forma diversos ângulos com a horizontal. Gruas são utilizadas na montagem de edifícios de múltiplos andares, galpões e em pátios de estocagem de peças. São classificados em estacionários, ascensionais e móveis. A principal diferença entre gruas e guindastes é que nas gruas a lança nasce em uma cota acima do solo (FILHO,2005).

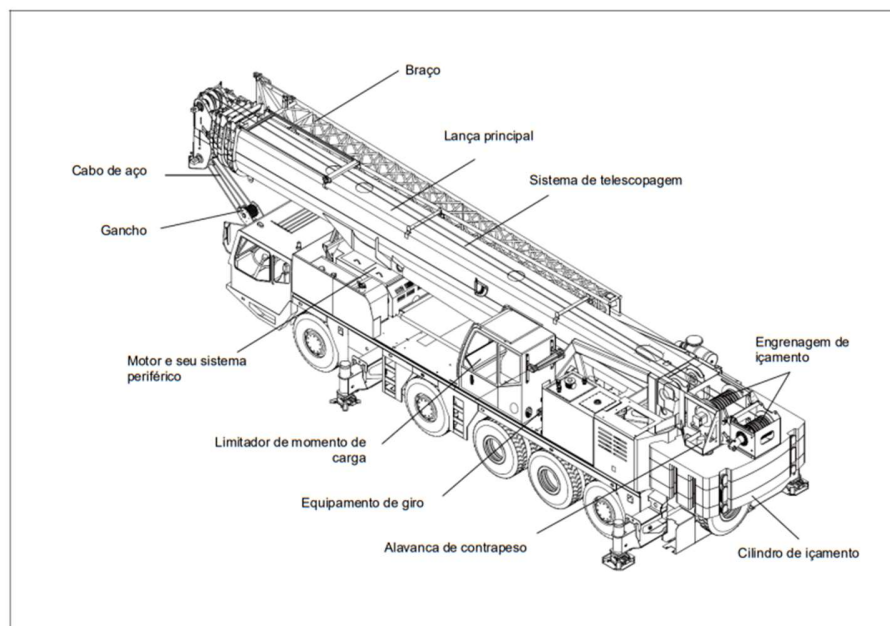
A escolha do guindaste é realizada a partir das tabelas de operação e características do equipamento que apresentam capacidade carga em função do raio de operação, o comprimento e o ângulo que a lança e a altura máxima alcançada pelo gancho de içamento. As tabelas de capacidade de um guindaste são utilizadas para indicar a carga máxima sob cada combinação de raio, lança e ângulo.

A capacidade dos guindastes é determinada pela resistência de seus elementos estruturais e pela sua resistência ao tombamento. Estas resistências são levadas em consideração na elaboração das tabelas de capacidade. Existem diversas situações que

podem influir na estabilidade e, conseqüentemente, na capacidade de um guindaste são elas rigidez do solo, nivelamento do solo, velocidade do vento, carga fora do prumo, impacto, balanço de carga, patolas mal estendidas (FILHO,2005).

De modo geral, em guindastes móveis os componentes são dispostos da mesma maneira para todos os fabricantes, as maiores diferenças são relativas ao conceito do veículo determinados guindastes são fabricados a partir de um caminhão comercial, outros guindastes possuem a cabine do caminhão com capacidade para apenas uma pessoa. No presente trabalho, os guindastes móveis analisados possuem cabine do caminhão com capacidade para duas pessoas, cabine do operador, não são adaptações de caminhões comerciais e possuem disposição similar a Figura 2, variam apenas quanto à capacidade, com a menor capacidade de 30 Toneladas e maior capacidade de 300 Toneladas.

Figura 2 - Pontos de inspeção, manutenção em guindastes



Fonte: Adaptado de ZOOMLION (2023).

As principais empresas fabricantes de guindastes móveis presentes no Brasil são Liebherr, Zoomlion, Madal, Groove, Tadano, Terex e XCMG. Diante do pós venda atuante em todo o território nacional e elevada confiabilidade, a Liebherr tem sido a

escolha das principais indústrias do Brasil.

A principal fabricante mundial de guindastes móveis para todos os terrenos é a Liebherr. Surgiu em 1969 em Eninghen na Alemanha e possui 40 guindastes de todo terreno de pneus e esteiras. A empresa é reconhecida pelo estado da arte na fabricação de guindastes, fornecendo sistemas de içamento seguros, fabricando componentes com excelente durabilidade e excelente pós venda (LIEBHERR,2023).

No mercado de máquinas pesadas a assistência dos fabricantes é bem presente, os fabricantes fornecem equipamentos de segunda mão, catálogos de peças, fornecem peças e também mão de obra para manutenções. Desta maneira, é possível destacar soluções de reforma de componentes que a Liebherr realiza, alguns exemplos na Figura 3. Tais informações podem subsidiar o estudo de ciclo de vida.

Figura 3 - Principais componentes reformados pela Liebherr

a - Motores a combustão



b - Guinchos



c - Cilindros Hidráulicos



d - Monitores



Fonte: Adaptado de LIEBHERR (2022).

Os acidentes com guindastes podem provocar ferimentos ou morte aos empregados, danos ao equipamento e ao ambiente de trabalho, alto custo de reparo e tempo de inatividade da obra e equipamento. As principais causas de acidentes em guindastes são falhas elétricas, uso indevido e desgaste dos componentes. Falhas

elétricas são ocasionadas principalmente por componentes eletrônicos desgastados que provocam conseqüentemente mal funcionamento de dispositivos mecânicos e hidráulicos. Uso indevido pode ser conseqüência da amarração incorreta no dispositivo a ser içado, não utilização de plano de rigging, exceder a capacidade de içamento do equipamento, velocidade excessiva no içamento. O desgaste dos componentes é inevitável, mas é possível controlar o desgaste e substituir o componente no momento adequado, os principais componentes que sofreram desgaste são caixas de marcha, freios, engrenagens, rolamentos, cabos de aço. Desta forma, as principais causas de acidentes podem ser evitadas seguindo as recomendações do fabricante (GILLIONS,2020).

Plano de Rigging é o procedimento operacional para o içamento da carga com guindaste móvel, com objetivo de otimizar os recursos e determinar todos os passos da operação, usualmente as empresas estabelecem um limite de carga para a utilização ou não do plano. O plano de *rigging* é normatizado pela NR12 e NR18, Através do plano de *rigging* é elaborada e simulada a operação, recomendado acessórios e equipamentos a serem utilizados e avaliando condições ambientais como solo e vento e características do item a ser içado. (RIGGINGBRASIL, 2017).

Especificar um guindaste é uma tarefa complexa, pois diferentes características dos dispositivos podem ser conflitantes. As principais características avaliadas para a compra de um guindaste são capacidade máxima, altura máxima de elevação, potência do motor do caminhão, potência do motor da grua, velocidade máxima de translado, peso total do veículo, tamanho do reservatório de combustível, consumo de combustível, custo de acessórios, custo de manutenção, preferência do mercado de usados, preço de aquisição, classe de emissão, confiança no fabricante e segurança (GÖRÇÜN et al,2023).

#### **4.2 Índices de manutenção**

Para retratar aspectos importantes de um processo são necessários indicadores, são importantes para medir a evolução de um cenário. A frase de Wiliam Thomson (Lord Kelvin), “Não se pode melhorar aquilo que não se pode medir”, é imprescindível para

garantir a evolução dos setores de manutenção. Para melhorar o desempenho de um ativo, é necessário acompanhar seus indicadores de manutenção antes, durante e após as intervenções. Para que através dos indicadores seja possível encontrar melhorias. Com isso, o gerenciamento de indicadores de manutenção e escolher os indicadores adequados são intrínsecos a uma boa gestão de manutenção

Existem 6 indicadores que são classificados como Índices de classe mundial, pois a maioria dos países do ocidente os utiliza. Os indicadores estão no Quadro 1. É importante salientar que de acordo com a necessidade determinados indicadores são utilizados, os indicadores não devem servir apenas para preencher quadros de gestão à vista, mas sim para auxiliar na tomada de decisões.

Quadro 1 - Índices de classe mundial

Tópico	Descrição
1	MTBF - Mean Time Between Failures, TMEF - Tempo Médio Entre Falhas
2	MTTR - Mean Time To Repair, ou TMR - Tempo Médio de Reparo
3	TMPF - Tempo Médio Para Falha
4	Disponibilidade Física da Maquinaria
5	Custo de Manutenção por Faturamento
6	Custo de Manutenção por Valor de Reposição

Fonte: Adaptado de Viana, 2002.

Confiabilidade é a capacidade de um equipamento desempenhar a sua função requerida em um determinado tempo mediante manutenção adequada (FOGLIATO e RIBEIRO, 2009). Dois conceitos são importantes para quantificar a confiabilidade, MTTF que é o tempo médio entre falhas (tempo de funcionamento médio) e o MTTR que é o tempo médio entre reparos.

Para se obter o MTTF é necessário dividir a quantidade de horas disponíveis do equipamento pelo número de intervenções corretivas no período. Para se obter o MTTR é necessário dividir a quantidade de horas indisponíveis em virtude de manutenções corretivas pelo número de intervenções corretivas no período (VIANA, 2002).



A disponibilidade é definida como a capacidade de um item estar em condições de desempenhar a função requerida por um tempo determinado (NBR, 1994). A Equação (1) mostra o indicador disponibilidade representa o percentual de dedicação para operação de um equipamento, em relação a quantidade de horas no período (VIANA, 2002).

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}} \quad (1)$$

CMPF (Custos de manutenção por faturamento) é um indicador que considera itens como pessoal, materiais, contratação de serviços externos, depreciação e perda de faturamento. Entretanto, custos como perda de faturamento e custos de depreciação não são comumente considerados, apesar de que cerca de 2/3 dos custos totais de manutenção sejam contribuição de custos de pessoal e materiais (VIANA, 2002).

CPMV (Custo de manutenção por valor de reposição) corresponde a relação entre o custo total de manutenção de um equipamento com o seu valor de compra, o conceito é aplicado para equipamentos com elevada criticidade. De modo geral o CPMV deve ser inferior a 6% para ser considerado viável, entretanto diante do panorama da indústria valores superiores podem ser admitidos (VIANA, 2002).

#### **4.3 Custo de ciclo de vida**

A redução de custos é o principal objetivo das empresas, na área de equipamentos móveis duas principais estratégias são adotadas: Aumento da vida útil dos ativos ou a terceirização dos equipamentos. Para subsidiar a tomada de decisões surgiu a análise de custo de ciclo de vida (LCC – Life Cycle Cost).

O custo de aquisição de ativo pode ser um falso indicativo de relação custo benefício. Para considerar o real custo de um ativo é importante avaliar o custo de ciclo de vida (WOODWARD, 1997).

Outras ferramentas para gestão de ativos como o Custo total de propriedade (TCO - Total Cost of Ownership) e Avaliação do ciclo de vida (LCA - Life Cycle Assessment). A TCO contempla itens da LCC, entretanto não considera os custos de operação, é utilizada para avaliar fornecedores. A LCA contempla os custos ambientais (ASSIS, 2009).

O LCC considera todos os custos de manutenção, descarte de ativos, treinamento, custo de atualizações, consumo de energia, custo de instalação, os custos operacionais, os custos de energia, as manutenções, as reposições de peças, o estoque mínimo . Determinar custos futuros de manutenção de forma precisa é difícil, mas é possível utilizar informações de fabricantes, histórico de equipamentos, manutenções e falhas (ZAMPOLLI et al., 2019).

No Quadro 2, é possível verificar as principais categorias de custos para análises de LCC, a categorização dos custos é útil para encontrar os fatores que mais influenciam na vida de um ativo.

Quadro 2 - Custos considerados para o LCC

<b>Tipo de Custo</b>	<b>Exemplos</b>
Custo de aquisição	Investigação, projeto, teste, produção
Custos de distribuição	Transporte, logística, manuseio
Custos de manutenção	Estratégias de manutenção, peças sobresselentes
Custos de operação	Instalações, energia, impostos, seguros
Custos financeiros	Empréstimos, custos de oportunidade
Custos de formação	Formação de operadores
Custos de stock	Peças e materiais armazenados
Custos de desativação	Desmontagem

Fonte: Adaptado de Assis, 2009.

A previsão de custos é essencial para análise, é necessário ter o controle de informações dos ativos, como taxa de falhas, tempo de manutenção, previsão de peças sobressalentes, requisitos de manutenção, previsão de custo anual. Tais informações são coletadas durante a vida de ativos ou podem ser coletadas com fabricantes, empresas com ativos similares. Desta forma, a eficácia do estudo depende das informações coletadas, para isso é necessário que a empresa utilize de sistemas informatizados de gestão de manutenção e devem ser coletadas informações de operação como horas de operação, horas de produção, tempo de manutenção e impacto

financeiro de indisponibilidade, motivos de falha, causas de avarias , tempo de manutenção de custo, peças utilizadas e custos (WOODWARD, 1997).

Para alicerçar o estudo de ciclo de vida é necessário distinguir as informações interessantes das informações úteis, a escolha de dados pode conduzir o estudo a conclusões precipitadas e a perda de tempo. Na coleta de dados são necessárias estimativas e suposições, o que proporciona incertezas. As principais fontes de incerteza são diferenças na performance de equipamentos e sistemas, modificações na utilização e variação de preços (WOODWARD, 1997).

#### **4.4 Tipos de manutenção**

A manutenção tem origem no século XVI com o surgimento dos teares manuais. A maior evolução dos conceitos de manutenção surgiu no século XX com o avanço e velocidade das transformações das indústrias. É necessário compreender o primeiro conceito de manutenção que é a manutenção corretiva e acompanhar a evolução dos sistemas de manutenção como por exemplo a RCM (Manutenção Centrada em confiabilidade) e avançando sobre conceitos como manutenção preventiva, preditiva e manutenção produtiva total. Desta forma, a manutenção deixou de ter apenas a missão de manter mas agora busca manter com menor custo e com melhor qualidade.

Manutenção corretiva ocorre após a quebra ou parada do equipamento, ocorre de maneira inesperada. A natureza deste serviço é de solução imediata, entretanto a necessidade de restabelecer o equipamento imediatamente gera pontos de fragilidade como a necessidade de compra de peças com urgência, trabalho sob pressão e atraso na produção. Tais fragilidades podem impactar na eficácia e eficiência do serviço (ALMEIDA, 2015).

Manutenção preventiva, ocorre de maneira planejada e programada em datas predeterminadas para evitar paradas inesperadas do equipamento. Esse tipo de manutenção foi possibilitado a partir dos históricos de falha dos equipamentos. Como tudo é planejado é possível comprar as peças com o melhor custo, utilizar a mão de obra de maneira equilibrada, possibilitando confiabilidade dos ativos (ALMEIDA, 2015).

Manutenção preditiva através de manutenção é possível verificar o estado de

funcionamento em tempo real e monitorar os parâmetros do equipamento como ruído, vibração, temperatura dentre outros. Esse tipo de manutenção possibilita utilizar a vida útil máxima dos componentes do equipamento e planejar as intervenções no equipamento (ALMEIDA, 2015).

Manutenção produtiva total, é um tipo de manutenção que combina características da manutenção preventiva e preditiva de modo que o próprio operador do equipamento acompanhe os parâmetros do equipamento e realize procedimentos de manutenção preventiva. Desta forma, o equipamento é sempre monitorado e a mão de obra do operador é totalmente aproveitada (ALMEIDA, 2015).

A MCC (Manutenção Centrada em confiabilidade) é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que um ativo continue a desempenhar sua função. A MCC é resultado da análise de confiabilidade a partir da utilização de manutenção preventiva e corretiva, em que descobriu-se que a manutenção preventiva não é eficaz em todos os casos, pois há muitos itens em que não é possível definir o período de manutenção programada (MOUBRAY, 1996).

A partir dos estudos de MCC foram definidas 7 perguntas que servem como premissa para essa metodologia, presentes no Quadro 3.

Quadro 3 - Perguntas balizadoras do MCC

<b>Item</b>	<b>Perguntas balizadora para o MCC</b>
1	Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
2	De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3	O que causa cada falha funcional?
4	O que acontece quando ocorre cada falha?
5	De que forma cada falha importa?
6	O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
7	O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa?

Fonte: Adaptado de Moubray, 1996.

#### **4.5 Perfil de perdas**

Consiste em uma análise de Pareto para classificar as falhas dos equipamentos com o objetivo de filtrar as falhas mais importantes e classificá-las quanto a origem dos desvios, e focar na solução dos problemas mais relevantes. A análise de Pareto consiste na regra de que cerca de 80% das falhas estão relacionadas a 20% dos componentes do equipamento (MADU, 2000)

Na indústria analisada o perfil de perdas é construído a partir da base de dados de falhas, é realizada a classificação do problema quanto a sistema, conjunto e item e causa raiz. É uma ferramenta utilizada nas indústrias para definir itens com prioridade para manutenção e também auxilia para criar ações gerenciais como por exemplo mapear aspectos com necessidade de capacitação dos colaboradores.

Desta forma, para auxiliar na análise de LCC é importante estratificar as principais perdas nos equipamentos. De modo a analisar os itens com maior impacto para cada guindaste e também na visão de frota quais os componentes com maior contribuição para indisponibilidade do ativo.

#### **4.6 Análise de falhas**

O tratamento das falhas é fundamental para realizar ações de modo que as falhas não sejam recorrentes. Diante da grande quantidade de falhas é necessário filtrar quais devem ser analisadas e desenvolver o estudo de modo eficaz e em tempo hábil. É necessário que rodadas de debate sejam realizadas para que as causas e soluções sejam tomadas de modo a contemplar todos os aspectos de manutenção e operação (XENOS, 1998).

As 5 principais ferramentas para análise de falhas são Cinco porquês, Diagrama de Ishikawa, árvore lógica de falhas, Diagrama de Pareto, Diagnóstico de Inteligência artificial (TRACTIAN, 2022). Algumas ferramentas computacionais são plataformas que contemplam os métodos de análise de falha e geram relatórios como o Xfracas e planilhas de Excel essas ferramentas são frequentemente utilizadas nas indústrias.

A coleta de informações é fundamental para análise de falha e diagnóstico da causa raiz. É fundamental coletar registros fotográficos, relatos quanto ao modo de

operação e manutenção e também a coleta de informações do histórico de manutenção nos softwares de gerenciamento como por exemplo o SAP. Após a conclusão da análise de falha é fundamental produzir informativos para a manutenção e operação e também relatórios para os gerentes, pois desta forma é possível reduzir ao máximo a chance de reincidência da falha são geradas ações para tratar possíveis falhas semelhantes e planos de ação, como resultado podem ser solicitados capacitação operação, alteração do plano preventivo, capacitação da manutenção, compra de ferramentas e até mesmo alteração de projeto do equipamento.

## 5. METODOLOGIA

Será realizado estudo de LCC em uma frota de guindastes móveis para todos os terrenos, utilizados em porto privado. A frota é composta de 11 guindastes de diferentes fabricantes, capacidades e ano de fabricação. Para concentrar a análise serão analisados os guindastes da fabricante Liebherr que correspondem a 9 guindastes, os dados técnicos e de operação estão na Tabela 1 e são ilustrados na Figura 4.

Para auxiliar no estudo de LCC será analisado no período de um ano (2022), o banco de dados de falhas (Perfil de perdas), dados de disponibilidade física dos ativos no período e dados do sistema de manutenção e custos de manutenção.

O desenvolvimento do presente trabalho utilizou de conhecimentos da literatura através de estudo teórico das normas, artigos científicos e manuais técnicos. Os resultados obtidos foram desenvolvidos em ferramentas computacionais como PowerBi, Excel e Matlab.

Figura 4 - Guindastes com capacidades similares aos utilizados no trabalho



Fonte: Adaptado de LIEBHERR (2022).

A manutenção dos equipamentos foi realizada por 4 mecânicos disponíveis para atendimentos diurnos e 2 mecânicos para atendimentos noturnos. Os mecânicos são de uma empresa terceirizada e são auxiliados por um inspetor próprio da empresa. A equipe de mecânicos é composta por funcionários com diferentes experiências na manutenção de guindastes. A maioria dos atendimentos são realizados no local de operação do guindaste, o que dificulta o diagnóstico em virtude da dificuldade de acesso e disponibilidade de ferramentas.

A aquisição de dados de disponibilidade e classificação de falhas foi realizada pela equipe de confiabilidade da oficina, realizando o lançamento de dados em uma base de dados da empresa e coletando informações com a equipe de manutenção, inspetor dos equipamentos e operação.

Tabela 1 - Dados Técnicos dos Guindastes Liebherr

Tag	Capacidade (TON)	Fabricação (Ano)	Horímetro Caminhão	Horímetro Grua	Odômetro (Km)
GD-01	70	2011	2.551	1.098	16.883
GD-02	70	2011	1.582	873	14.111
GD-03	90	2011	26.276	13.789	14.681
GD-07	150	2002	79.427	64.864	26.201
GD-08	30	2006	36.847	61.670	22.217
GD-09	300	2009	6.796	14.480	4.931
GD-12	220	2016	16.528	8.943	5.918
GD-14	130	2008	43.227	11.079	20.027
GD-15	220	2011	9.420	12.109	47.792

Fonte: Autor



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

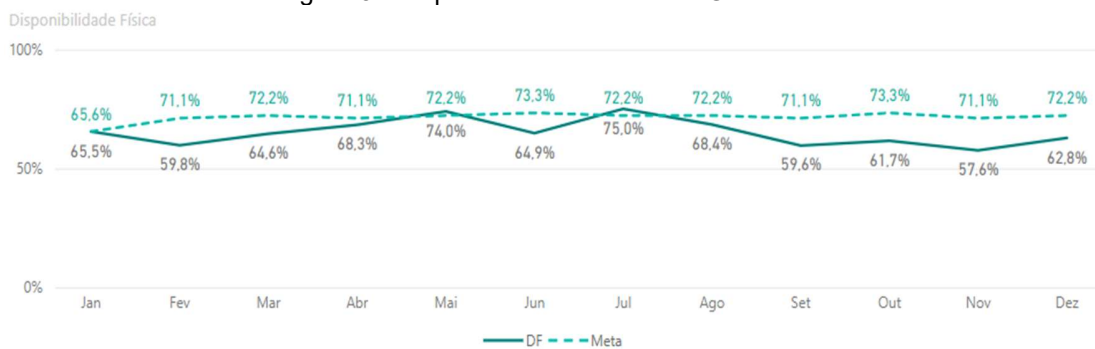
Serão discutidos e apresentados os principais resultados obtidos, comparando com os existentes na literatura.

A análise do perfil de perdas no período possibilita inferir quais os itens mais propensos a falhar nos guindastes e desta forma entender os itens importantes para o custo de ciclo de vida.

### 6.1 Análise da disponibilidade dos ativos

Os valores de disponibilidade alcançados no período podem ser visualizados na Figura 5. A disponibilidade geral dos guindastes no período analisado foi de 65,2%. O menor desempenho da frota foi no mês de Novembro com 57,6% e o maior desempenho foi no mês de julho com 75%. Durante o período de julho a outubro a frota não dispunha de inspetor específico. Desta forma, a performance dos equipamentos no período não foram prejudicadas pela ausência do inspetor, o qual tem a função de agir de modo preventivo e preditivo de forma a detectar as futuras necessidades do maquinário e também tem papel fundamental no diagnóstico de problemas complexos.

Figura 5 - Disponibilidade Física dos Guindastes



Fonte: Autor

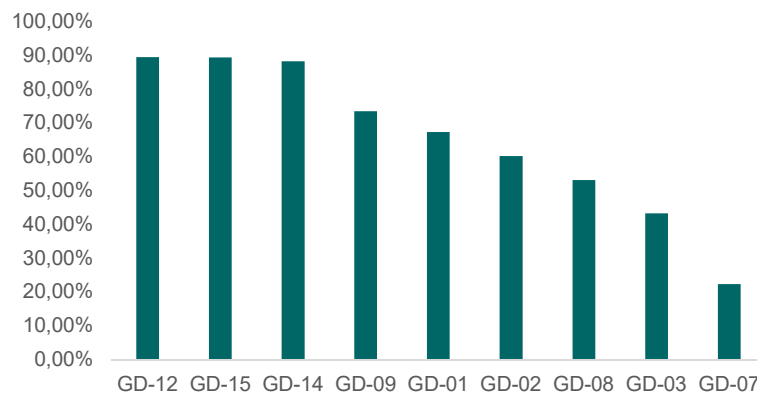
Apesar do valor médio de disponibilidade não ser próximo ao apresentado por RAHMAN (2022) em que a disponibilidade no período de 1,5 anos foi de 99,31%, é necessário entender o contexto do trabalho em que foi analisado apenas um guindaste no período, com capacidade de 80 toneladas do fabricante SANY operando em um porto da Indonésia, mas a idade e horímetro do equipamento não foram mencionados. Um fator que ocasiona a redução no valor de disponibilidade obtido neste trabalho é que os

guindastes em reforma externa continuaram a ser considerados no indicador.

Segundo SANY(2023) e RAHMAN (2022) a disponibilidade alvo para guindastes é acima de 90%, o que deve ser compatível para atender demandas de plantas industriais. Na frota analisada esse valor foi atingido até mesmo pelos guindastes menos confiáveis, mas por um período curto de tempo. Como exemplo, o GD-07 teve melhor desempenho no ano com 75% de disponibilidade e o GD-08 obteve melhor desempenho no período com 98,5% de disponibilidade. Desta forma, os guindastes menos confiáveis apresentaram picos de disponibilidade, mas que não foram sustentáveis ao longo do período analisado. A meta de desempenho da frota estipulada pela equipe de confiabilidade foi de 71,5%, o desempenho obtido representa 87% do esperado.

A partir da Figura 6 é possível observar a disponibilidade média por guindaste no período de um ano. Portanto, os guindastes com melhor desempenho foram os guindastes: GD-12, GD-14, GD-15 e obtiveram picos de desempenho em torno de 98% de disponibilidade e média anual de 90%. O equipamento menos confiável foi o GD-07 e o mais confiável foi o GD-12. O resultado geral é consequência das reformas nos guindastes GD-02 e GD-03. O GD-02 sofreu reforma geral por 128 dias em função de folga na mesa de giro. O GD-03 sofreu reforma geral em virtude folga na mesa de giro por 235 dias. O GD-08 sofreu intervenção devido a vazamento em cilindro hidráulico por 128 dias. Já o GD-01 passou 91 dias para reparo do sistema de abertura e fechamento da lança.

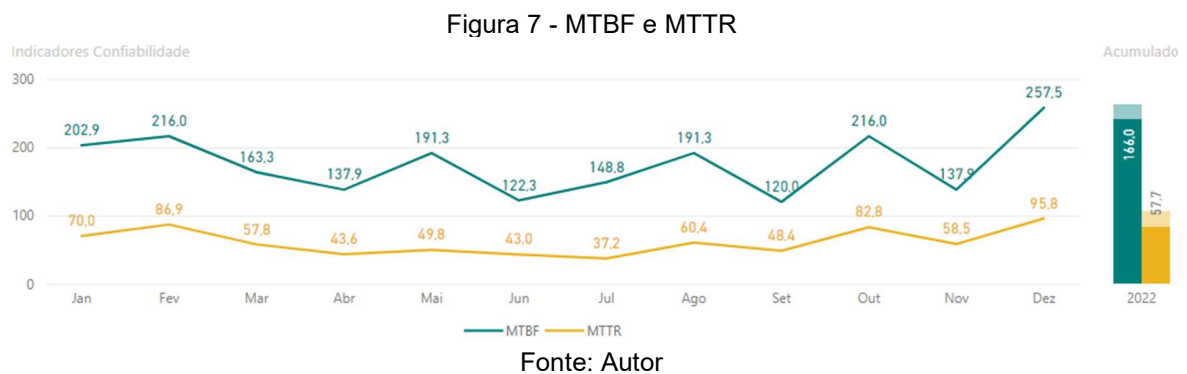
Figura 6 - Disponibilidade por guindaste



Fonte: Autor

## 6.2 MTBF e MTTR

Na Figura 7 é possível avaliar os indicadores MTTR e MTBF, é necessário avaliar ambos indicadores, pois estes produzem o indicador disponibilidade. O maior tempo médio entre falhas ocorreu no mês de dezembro e corresponde a 2,1 vezes o menor valor no período, que ocorreu no mês de setembro. Quanto ao tempo médio entre reparos o maior valor ocorreu no mês de dezembro sendo correspondente a 2,5 vezes o menor valor no período, que ocorreu no mês de julho. Desta forma, é possível verificar a característica da curva na forma de dente de serra no comportamento dos indicadores, os resultados bons não são mantidos, mas podem ser resultado de impactos por diferentes guindastes.

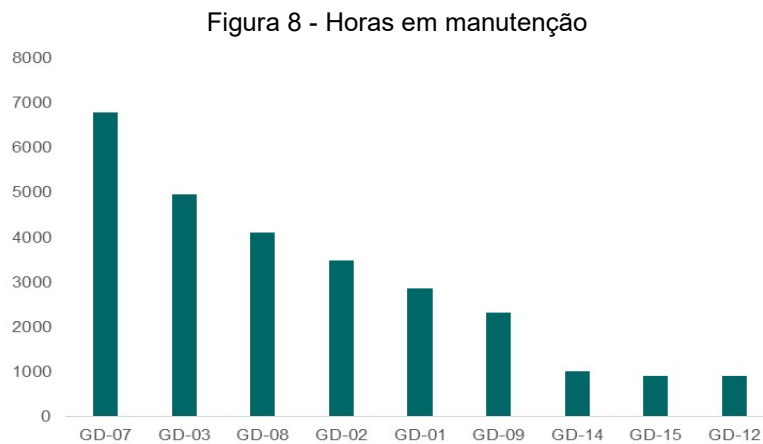


O MTBF é um indicador importante para gerar o indicador DF, quanto maior o valor melhor o desempenho do equipamento. O MTTR também é importante para a disponibilidade, quanto menor o valor melhor para o desempenho do equipamento. Além da disponibilidade de um equipamento é importante observar como o indicador é construído, para que possam ser traçadas estratégias para solução de problemas crônicos e críticos, tanto em áreas como capacitação da mão de obra e também estratégia de materiais sobressalentes.

Avaliando os equipamentos com menor disponibilidade no período, é possível verificar que o GD-08 possui o menor MTBF com o valor de 97,3 horas e MTTR de 45,7 horas. O GD-03 possui o maior MTBF com o valor de 312,9 horas e MTTR de 177,4 horas. Apesar do tempo de reparo elevado do GD-03 é necessário considerar que a disponibilidade do equipamento quando operacional no ano foi em média 96%.

Analisando os equipamentos com melhor disponibilidade no período, é possível verificar que o GD-14 possui o menor MTBF, com o valor de 134,8 horas entre falhas e MTTR de 15,8 horas. Enquanto que o guindaste GD-15 possui o melhor MTBF, de 336,9 horas e MTTR de 35,2 horas. Desta forma, demonstra que o guindaste com problemas mais frequentes é o GD-14, mas apesar das falhas possui excelente disponibilidade. Os valores de MTBF e MTTR.

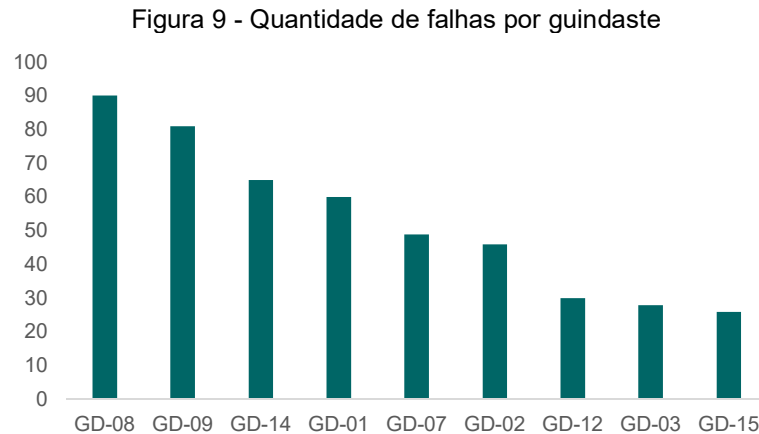
A partir da Figura 8 é possível evidenciar quais os equipamentos foram enviados para manutenção em fornecedor externo e também é possível destacar os equipamentos com problemas críticos. Os guindastes GD-07, GD-03, GD-08, GD-02, GD-09 foram enviados para manutenção externa. O GD-01 enfrentou uma falha crítica em campo, em que foi necessário grande quantidade de tempo para mobilizar o equipamento para a oficina.



Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 9 é possível visualizar a quantidade de falhas por guindaste, o guindaste com maior quantidade de falhas é o GD-08 e com a menor quantidade de falhas é o GD-15. É possível observar que a quantidade de falhas não é diretamente proporcional à disponibilidade física de um equipamento, pois podem ocorrer falhas que não interrompem significativamente o funcionamento do equipamento, e podem ocorrer poucas falhas mas que requeiram grande quantidade de tempo para solução do problema. Desta forma, avaliar a quantidade de falhas pode não ser um bom indicador, principalmente para equipamentos com grande quantidade de falhas. Além disso, um equipamento pode possuir pendências identificáveis em inspeções que não inviabilizam

a operação do equipamento a curto prazo, mas que podem impactar significativamente a longo prazo quando não tratadas.



Fonte: Autor, 2023.

### 6.3 Perfil de perdas

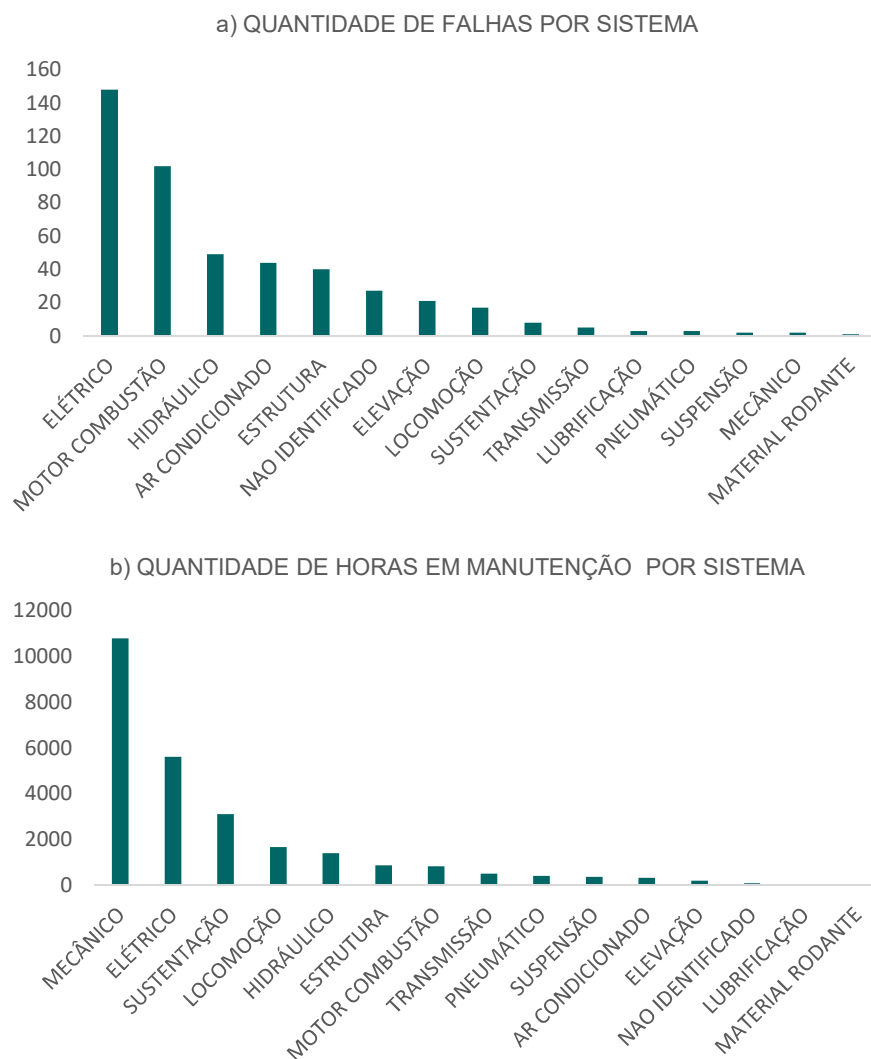
É importante estratificar quais os sistemas provocaram falhas em um equipamento, para assim priorizar nos sistemas mais críticos, ou seja, sistemas com maior quantidade de falhas e maior tempo de reparo. Uma ferramenta utilizada nas indústrias é a utilização do diagrama de Pareto, estratificação de perdas ou perfil de perdas. Desta forma, essa ferramenta possibilita trabalhar nos itens mais críticos e fornecer insumos para tomadas de decisões estratégicas a longo prazo.

A partir da classificação de falhas estruturada pelo setor, foram determinados 22 sistemas para todas as frotas, entretanto na frota de guindastes apenas 15 sistemas tiveram mais ocorrências, e foram representados na Figura 10a. O sistema com maior quantidade de falhas é o sistema elétrico, enquanto que o sistema mecânico possui a menor quantidade de falhas. O sistema mecânico obteve apenas 6 falhas no ano, com eventos relacionados a redutores, estrutura e sustentação.

O sistema não identificado tem grande quantidade de eventos, essa classificação é resultado de atendimento concluído mas sem retorno de ordem de manutenção, atendimento concluído com retorno de manutenção inconclusivo ou atendimento em que o equipamento não apresentou problema. Para diminuir esse tipo de classificação é

necessário que as equipes de manutenção sigam atentamente a rotina de retorno de manutenção e foco na padronização dos retornos de manutenção. Desta forma, a classificação não encontrada deve ser tratada, para que reflita apenas atendimentos em que o equipamento não apresenta problema, e assim as reais informações possam contribuir para melhores tomadas de decisões.

Figura 10 - Estratificação de falhas por sistema



Fonte: Autor

Na Figura 10b é possível visualizar os sistemas com maior impacto na disponibilidade em virtude do tempo de manutenção. O maior impacto foi ocasionado pelo sistema mecânico e o menor impacto foi o material rodante. O sistema mecânico

obteve esse resultado acumulado em função da manutenção da coroa de giro do GD-02 e GD-03, durante o tempo de 232 dias na manutenção do GD-03 foi realizada uma reforma geral no equipamento em motor a combustão, sistemas hidráulicos e estrutura assim como no GD-02.

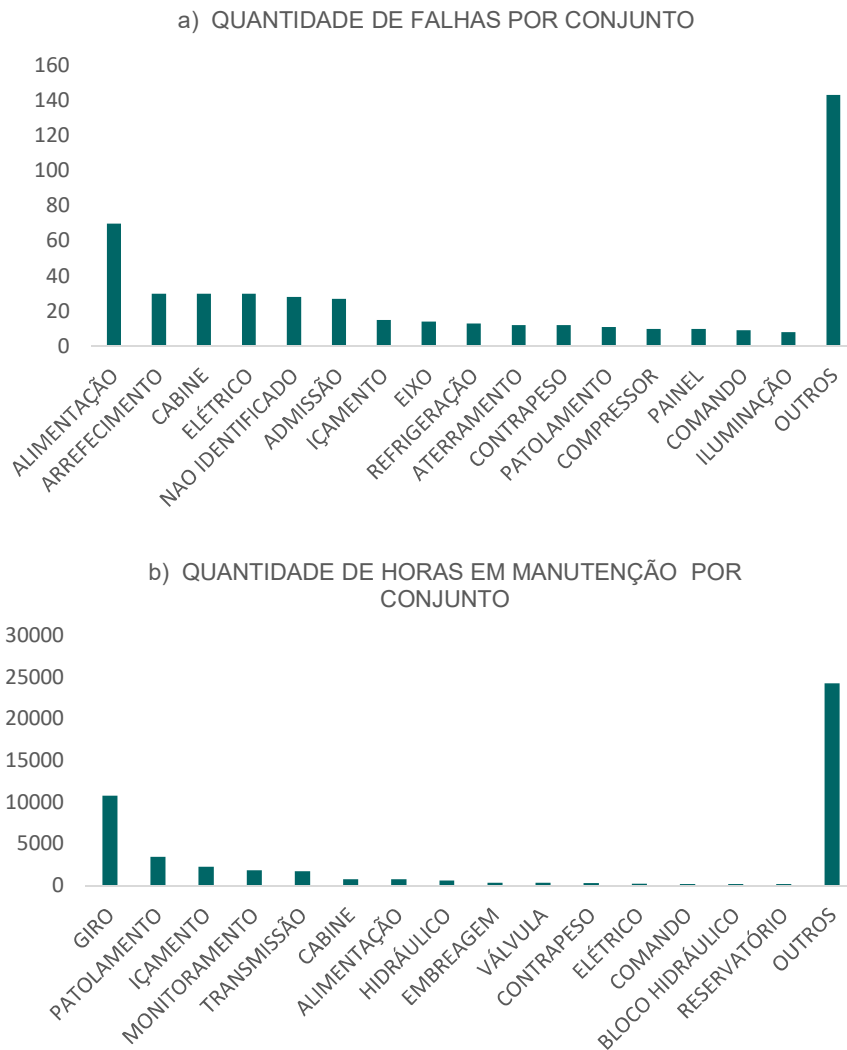
O sistema elétrico tem a maior quantidade de falhas e exige o segundo maior tempo de manutenção. É importante ressaltar que diversos problemas como sistema elétricos necessitam da troca completa da cordoalha, entretanto diversas vezes constatou-se a necessidade de reparo rápido para que o equipamento retorne ao trabalho. Os problemas elétricos são em parte gerados por adaptações nas instalações elétricas para instalação de ar condicionado, sistemas de monitoramento de pressão das patolas e outros, para adequar os equipamentos mais antigos às regras atuais da empresa. O desgaste da cordoalha também foi relatado, com grande influência do tempo de operação e da exposição a material agressivo como o minério de ferro. As adaptações geralmente não são bem dimensionadas o que causa grande quantidade curtos e necessidade troca de fusíveis.

Na Figura 11a é possível verificar que o conjunto com maior quantidade de falhas é o de alimentação que é correlacionado ao sistema elétrico. O segundo conjunto com maior quantidade de falhas é o de arrefecimento que é ocasionado por chamados relacionados a completar do fluido, resultado da redução natural do fluido pela não estanqueidade do sistema e também por vazamentos. A coluna de outros conjuntos tem grande quantidade de falhas, o que demonstra a diluição de problemas em diversos conjuntos, o que torna necessário avaliação mais detalhada para que sejam propostas soluções definitivas para as falhas.

Na Figura 11b é possível verificar novamente o impacto das falhas no sistema mecânico resultado do conjunto giro para a reforma do GD-02 e GD-03. Os conjuntos de monitoramento e alimentação são relacionados a problemas elétricos. O conjunto de içamento foi ocasionada pela falha do GD-01 que necessitou cerca de 3 meses para solução do problema, em virtude da dificuldade de diagnóstico da falha e a correção do problema exigiu acesso ao interior da lança do guindaste, que é uma tarefa em espaço confinado com isso o equipamento foi enviado para oficina externa para realização do

reparo no carrinho da lança. O conjunto de patolamento é resultado do tempo de manutenção de cilindros hidráulicos.

Figura 11 - Estratificação de falhas por conjunto

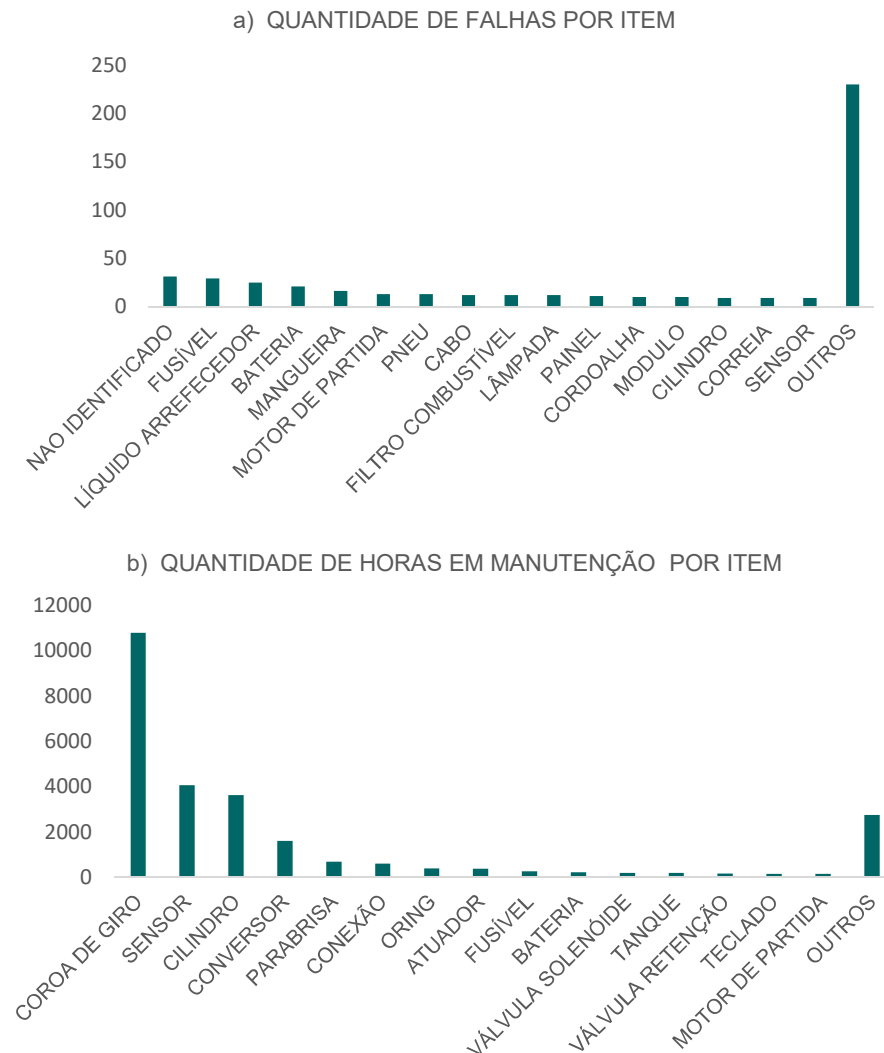


Fonte: Autor

Na Figura 12a é possível verificar a grande quantidade de falhas não identificadas, que podem ser resultado de não preenchimento do retorno ou não haver falha no equipamento, para solucionar esse desvio é necessário maior disciplina dos mantenedores ao preencher as ordens de serviço. O elevado número de outros itens como compressor de ar condicionado, ventilador, vazamentos e outros.



Figura 12 - Estratificação de falhas por item



Fonte: Autor

Na Figura 12b é possível verificar o impacto de indisponibilidade ocasionado pela manutenção da coroa de giro nos guindastes GD-02 e GD-03. O tem sensor é relacionado a falha elétrica no GD-07, e o cilindro resultado da intervenção no GD-08, a falha no conversor ocorreu no GD-09 que passou por uma reforma geral. Desta forma, a estratificação por item e tempo de manutenção permite visualizar o impacto das principais falhas no ano.

## 6.4 Análises de falhas

As principais falhas estão evidenciadas na Tabela 2. Os eventos são uma base para compreender quando o equipamento necessita de reforma ou intervenção demorada.

Tabela 2 - Falhas com maior impacto em 2022

Ativo	Falha	Tempo (Dias)
GD-03	DESGASTE NA COROA DE GIRO	234
GD-02	DESGASTE NA COROA DE GIRO	129
GD-08	VAZAMENTO NA PATOLA	129
GD-01	NORMALIZAR COMANDOS DA LANÇA	91
GD-07	FALHAS ELÉTRICAS	77
GD-09	VAZAMENTO NA TRANSMISSÃO	67
GD-12	PARABRISA FRONTAL COM AVARIA	28
GD-07	VAZAMENTO HIDRÁULICO	24

Fonte: Autor

### 6.4.1 Coroa de giro

A coroa de giro permite a grua do guindaste movimentar 360° enquanto sustenta o peso da grua, do objeto içado e dos contrapesos. Caso a folga da coroa de giro esteja maior que o recomendado pelo fabricante há o risco de colapso do guindaste. Esse item exige inspeção constante e lubrificação periódica (POTESTA, 2016).

Figura 13 - Coroa de giro



Fonte: Adaptado de Allslewingbearing, 2023.

Na Figura 13, é possível visualizar o componente que ocasionou a reforma geral

dos guindastes GD-02 e GD-03 e contribuiu para o grande período de indisponibilidade dos equipamentos. A coroa de giro deve ser inspecionada frequentemente e deve ter sua folga medida em no mínimo quatro pontos, a folga deve ser comparada ao limite recomendado pelo fabricante do equipamento, a folga e largura dos dentes da coroa e pinhão devem ser medidas e comparadas aos parâmetros máximos tolerados. Os parafusos da coroa de giro devem ser medidos, verificados, torqueados e substituídos quando necessário (WORKSAFE AUSTRALIA,2006)

#### 6.4.2 Cilindros

Os guindaste possuem diversos cilindros hidráulicos, possibilitando a movimentação e sustentação do equipamento. Estão presentes nas patolas, contrapeso, lança, direção e etc. A perda de pressão ou movimento involuntário do cilindro pode provocar tombamento do guindaste, a presença de vazamentos pode ocasionar danos ao meio ambiente. Desta forma, a inspeção rotineira do equipamento deve avaliar os cilindros. Além disso, a inspeção detalhada deve avaliar aspectos como vazamento, folga da haste e deslocamento involuntário da haste. Na Figura 14, é possível verificar a visão explodida de um cilindro hidráulico.

Figura 14 - Visão explodida de um cilindro hidráulico



Fonte: Adaptado de Hydroline, 2023.

No período analisado a maior parte dos cilindros falhou devido ao fim da vida útil das vedações, Em alguns casos pontuais identificou-se a presença de sujeira dentro do cilindro. O tempo de reparo dos cilindros pode ser grande em virtude da necessidade de reparo em fornecedor externo. Na empresa estudada é realizada a manutenção de cilindros de pequeno e médio porte, o que diminui consideravelmente o tempo de

indisponibilidade do equipamento. Além disso, é recomendável manter reparos sobressalentes para os cilindros e assim garantir agilidade na entrega do produto.

#### 6.4.3 Transmissão

A Figura 15 apresenta uma transmissão de guindaste Liebherr, geralmente são fornecidas pela ZF. A transmissão pode falhar por falta de troca do fluido no período determinado pelo fabricante, uso inadequado e desgaste por tempo. No caso estudado haviam vários desvios relacionados a manutenção preventiva, como falta de material, não seguimento dos planos de manutenção, e os planos de manutenção foram implantados há apenas 2 anos. O que pode ser um fator contribuinte para a falha do guindaste GD-09.

Figura 15 - Transmissão de um guindaste Liebherr



Fonte: Adaptado de Machinery Line Australia, 2023.

#### 6.4.4 Vidros

Os vidros estão presentes nos guindastes, no caminhão são utilizados no para-brisa e vidros das portas, na grua é utilizado no teto e nas laterais. Com exemplificado na Figura 16. A avaria no vidro pode ser resultado de colisão provocada por falha na operação ou pode ser aleatória. Durante o período de análise ocorreram 10 eventos de quebra de vidros, o que pode inviabilizar a utilização do equipamento em função da localização e tipo do dano ao vidro.

A avaria pode comprometer a visibilidade ou estilhaçar sobre o operador, é importante salientar que os vidros dos guindastes podem ser temperados ou laminado de acordo com a aplicação. Se a avaria não atrapalhar a operação do equipamento e a equipe de segurança validar a operacionalidade do equipamento, esse não necessita

ficar indisponível, caso contrário o equipamento deve aguardar o provisionamento do novo vidro, que em alguns casos pode demorar mais de um mês. Para solucionar o tempo de espera pode ser adotada a estratégia de material sobressalente.

Figura 16 - Vidros em um guindaste móvel sobre rodas



Fonte: Adaptado de LIEBHERR (2023).

## 6.5 Defeitos apresentados pelos equipamentos

Segundo a NBR 5462 defeito é qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos, defeito pode ou não afetar a capacidade de um item em desempenhar uma função requerida. Enquanto que a falha é o término da capacidade de um item em desempenhar a função requerida.

### 6.5.1 Corrosão

O fenômeno da corrosão pode impossibilitar a utilização do equipamento, está muito presente nos equipamentos mais antigos, tanto nos guindaste da frota como em pás carregadeiras e carretas, como exemplo na Figura 17. A corrosão pode avançar de modo a requerer reforma estrutural do equipamento, o que exige grande quantidade de tempo, inviabilizando a utilização do equipamento.

A corrosão nos guindastes usualmente está presente na cabine da grua e do caminhão, carenagem e também nos chassis do equipamento. Nas cabines a corrosão é facilmente perceptível em virtude do fácil acesso, em geral tem origem na área de vedação dos vidros. Dentre as soluções para minimizar a corrosão pode ser realizada a mudança no tipo de vedação dos vidros e também a lavagem mais frequente dos equipamentos, pois de modo geral os veículos não possuem rotina de lavagem, apenas é exigida lavagem para as manutenções preventivas.

Figura 17 - Corrosão metálica



Fonte: IPCM (2021).

### 6.5.2 Modos de direção

A falha nos modos de direção impacta a qualidade da operação dos guindastes, pois dificulta a realização de manobras em espaços reduzidos. Em casos de falha nesse sistema, o guindaste continua operacional, mas fica restrito a locais amplos e de fácil manobra. No período analisado 5 guindastes apresentaram esse defeito. Na Figura 18, é possível visualizar o funcionamento dos modos de direção.

Figura 18 - Funcionamento dos modos de direção

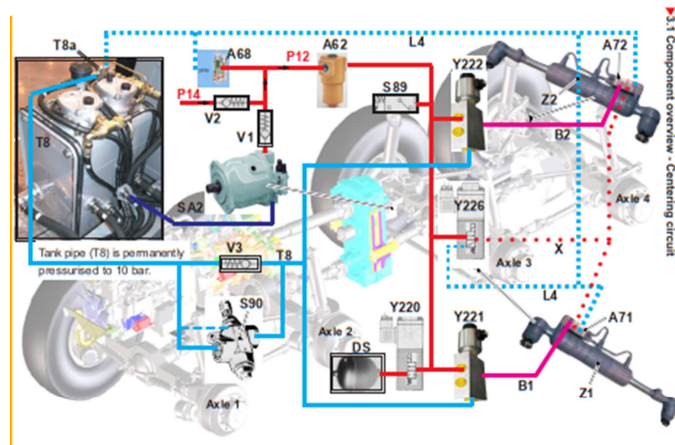


Fonte: Adaptado de LIEBHERR (2016).

O sistema permite facilitar a manobra dos equipamentos através do esterçamento de uma quantidade variável de eixos, o sistema é popularmente conhecido como modo caranguejo e é composto por bombas hidráulicas, válvulas, sensores e bloco de controle. O sistema é controlado eletronicamente e utiliza uma rede complexa de sensores e acionamentos esterçar os eixos, o sistema esquematizado está na Figura 19. A tecnologia está presente em 7 dos 9 guindastes avaliados, exceto nos mais antigos (GD-07 e GD-08) em que o esterçamento é realizado manualmente pelo operador do equipamento através de comandos na cabine do caminhão.

É importante observar que o defeito ocorreu em 5 equipamentos da frota, até mesmo no guindaste reformado no ano de 2021, o GD-09. A falha nos equipamentos não ocorreu no sistema completo, em alguns foram trocados componentes do sistema enquanto que em outros equipamentos o sistema foi substituído por completo. A vida útil do sistema não é estipulada pelo fabricante e não há intervalo de manutenção programada para os componentes. Desta forma, podem ser traçadas estratégias de substituição programada de componentes como sensores, componentes como bloco hidráulico tinham a vida do equipamento com cerca 12 anos de operação, mas o sistema completo tem custo elevado.

Figura 19 - Diagrama do sistema de modos de direção



Fonte: Adaptado de LIEBHERR (2016).

### 6.5.3 Pneus

Durante o período analisado os pneus foram trocados por dano ou por tempo de uso. Em casos de dano, foram ocasionados por colisões com objetos agressivos como pedras e estruturas metálicas. Quando os pneus possuem muito tempo de uso, a troca pode ser requisitada por decisões de segurança ou por apresentarem danos facilmente visíveis a olho nu como trincas e rachaduras, como exemplificado na Figura 20. No período analisado foram detectados pneus com mais de 10 anos.

Desta forma, no caso analisado o desgaste dos componentes não é significativo, pois os equipamentos atuam apenas na planta industrial, necessitando apenas de pequenos deslocamentos o que pode ser atestado pela hodômetro dos equipamentos, o

equipamento mais antigo possui apenas 47 mil km apesar dos 20 anos de operação. Pois os equipamentos são transportados em carretas no caso de manutenção em oficina externa fora da cidade.

Figura 20 - Avaria em pneu



Fonte: Adaptado de LC TYRES (2023).

#### 6.5.4 Outros defeitos

Em diversos defeitos e falhas a causa raiz pode ser detectada rapidamente, porém em virtude da indisponibilidade de peças os equipamentos podem necessitar o tempo de provisionamento dos componentes, o que pode demorar além do tempo estipulado em virtude de demora no transporte, falhas em documentações e necessidade de importação. Para operacionalizar o equipamento de maneira mais rápida são utilizados componentes alternativos presentes no mercado local, utilizando de adaptações para disponibilizar o equipamento mais rapidamente, o que pode ser viável entretanto a solução definitiva deve ser planejada.

Os componentes como baterias, motores de partida e alternadores caso não estejam operacionais podem inviabilizar a operação de um equipamento. Os compressores de ar condicionado podem ocasionar um defeito pois prejudica funcionalidades do equipamento e consequente conforto do operador, mas em caso de necessidade o equipamento pode operar sem o funcionamento do ar condicionado. Quando ocorre a falha do alternador e baterias o equipamento pode funcionar utilizando baterias novas, mas será recorrente a necessidade de baterias carregadas. A opção de



apenas substituir bateria em caso de falha no alternador resolveu paliativamente o funcionamento de um equipamento e foi opção recorrente no período analisado para que os guindastes pudessem concluir suas atividades planejadas. Os componentes como alternadores, motores de partida, baterias e compressores de ar condicionado foram gargalos no ano de 2021, são exemplificados na Figura 21.

Durante o período do trabalho foi observado que não há política de adoção de materiais sobressalentes como motores de partida, alternadores e compressores. O que pode aumentar o tempo de inatividade de um ativo caso falhem. Entretanto existe a prática de um estoque mínimo de baterias, mas que não tem sua vida útil catalogada.



Fonte: Adaptado de Advanceautoparts (2023).

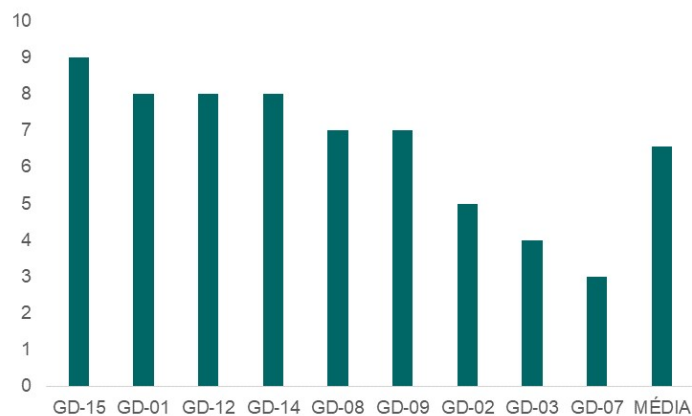
Os sistemas de ar condicionado, são importantes para a operação dos equipamentos com conforto e ergonomia, as intercorrências foram provenientes de falha na instalação elétrica que foi adaptada nos guindastes mais antigos. Outra falha na manutenção dos ar condicionados é relacionada ao cumprimento dos procedimentos de manutenção orientados pelos fabricantes de compressores como DENSO, SANDEN, DELPHI que orientam a substituição do sistema completo com a troca de condensador, compressor e evaporador. Além disso passos como vácuo e limpeza do sistema podem não serem realizados no tempo estipulado pelo fabricante, o que pode reduzir a vida útil do sistema de ar condicionado.

## 6.6 Manutenções preventivas

A partir da Figura 22 é possível verificar que a quantidade média de manutenções no período foi de 6,5 preventivas, enquanto que o programado seriam 12 manutenções.

Considerando a indisponibilidade dos equipamentos que passaram por reforma, o valor médio de 7,1 manutenções por equipamento no período analisado. A quantidade de preventivas pode não refletir na disponibilidade do equipamento a curto prazo, entretanto o agravamento de problemas pode ocasionar resultados catastróficos a longo prazo.

Figura 22 - Quantidade de manutenções preventivas



Fonte: Autor, 2023

A aderência ao tempo planejado das preventivas executadas foi de 65% no período, por fatores como tempo reduzido de liberação para preventiva, pequena de mão de obra disponível, erro de planejamento, pessoas não seguem o plano. Para o GD-12 e GD-08 a aderência ao tempo planejado de preventiva foi de 58%, GD-15 com 90%.

Para a realização de manutenções preventivas os equipamentos não foram liberados pelo período necessário e frequência programada. As manutenções dos equipamentos são em função da estimativa de operação dos equipamentos que é de cerca de 24 horas por dia, as preventivas geradas pelo sistema de manutenção tem média de 30 dias e contemplam os itens contemplados por revisões programadas múltiplas de 500 horas, com os itens orientados pelo fabricante. O período pode ser considerado conservador, entretanto é necessário considerar que os equipamentos operam em regime quase ininterrupto e o ambiente é agressivo, o que pode ser constatado nos planos de manutenção executados através da presença de filtros de ar obstruídos e da presença de muitos contaminantes no diesel.

Outro aspecto importante é a quantidade de horas que os planos de manutenção foram realizados. Durante o período analisado foram identificadas falhas nos

procedimentos de manutenção preventiva, como não realização das tarefas conforme plano de manutenção programado. A falha na lubrificação dos itens de manutenção é um item crítico, pois nos guindastes analisados são indicados três tipos de graxa: para cabos, lança e mancais rolamentos e coroa de giro. Em determinadas manutenções as aplicações foram trocadas, o que a longo prazo pode provocar profundos danos aos componentes do equipamento e pode ser uma das causas do desgaste excessivo da coroa de giro no GD-02 e GD-03.

### 6.7 Reforma de equipamentos

A empresa não determina a vida útil dos ativos mas a orientação é que operem por 10 anos, mas como os guindastes são ativos com alto valor de aquisição, a vida útil tende a ser estendida. A idade média da frota é de 12,6 anos, 8 dos 9 equipamentos passaram por no mínimo um processo de reforma, o único ativo que não passou por reforma foi o GD-12 que é o ativo mais novo da frota.

Quadro 4 - Tempo de vida de guindastes móveis

<b>Capacidade do guindaste</b>	<b>Limite de anos de fabricação</b>
Abaixo de 50 Toneladas	20 anos
Entre 50 e 100 Toneladas	25 anos
Acima de 100 Toneladas	30 anos

Fonte: Adaptado de Singapore ministry of manpower, 2007.

A partir da literatura é possível considerar o tempo de utilização adequado. O Brasil não possui regulamentação de tempo de utilização de guindastes, poucos países possuem tal critério, por exemplo em Singapura a restrição de utilização de guindastes é de 20 a 30 anos conforme o Quadro 4. O período de vida pode ser prolongado por meio da validação de agentes credenciados que munidos de relatórios técnicos contendo dados de manutenção, operação, acidentes e inspeções detalhadas e ensaios mecânicos de componentes.

Na Austrália a vida estimada dos guindastes pode ser categorizada em mecânica e estrutural. Para os mecânicos a vida planejada é de 10 anos, e para a estrutura 25 anos. As inspeções devem seguir as recomendações dos fabricantes, mas quando a informação não estiver disponível alguns itens críticos devem ser avaliados como

exemplo coroa de giro, fixação da coroa de giro, guinchos, componentes hidráulicos, sistema de freio, sistemas de acionamento, polias, Moitão, motores hidráulicos, caixas de marcha, eixo cardã (WORKSAFE AUSTRALIA,2006).

Quadro 5 - Dados complementares dos guindastes

Guindaste	Anos de operação	Comentários
GD-01	11	
GD-02	11	Reforma parcial na Liebherr. Ano de 2021
GD-03	11	Reforma externa. Ano de 2022
GD-07	20	Reformado Liebherr (Chassis). Ano de 2018
GD-08	16	Reformado Liebherr (Elétrica e Giro). Ano de 2019
GD-09	13	Reformado Liebherr. Ano de 2021
GD-12	6	
GD-14	15	Reformado Liebherr. Ano de 2017
GD-15	11	Reformado Liebherr. Ano de 2020

Fonte: Autor, 2023

A partir da Quadro 5 é possível visualizar a quais os guindaste já realizaram reforma. Apenas o GD-01 e GD-12 não passaram por reformas. Desta forma, são os equipamentos mapeados para serem reformados, assim como os mais antigos GD-07 e GD-08. A partir das reformas gerais ocorridas foi possível quantificar que o custo de reforma é equivalente a um terço do valor de um equipamento novo. Como guindastes são equipamentos com custo de aquisição na casa de milhões de reais, mas permite que o equipamento opere por mais longos anos com confiabilidade.

Para estabelecer o custo de ciclo de vida mais abrangente é necessário ter controle detalhado e completo dos custos de manutenção. Entretanto, não foi possível ter essa perspectiva em virtude da descentralização das ferramentas de compra na empresa, em que muitas compras não tem rastreabilidade de custos e são misturados com custos de outras áreas da empresa. Foi possível acompanhar detalhadamente apenas os custos de reforma geral. Desta forma, para obter o custo de ciclo de vida mais preciso é necessário controlar todo o custo de manutenção do equipamento durante a vida útil e acompanhar o perfil de perdas. Observou-se que os custos de manutenção preventiva são similares para equipamentos novos e usados.

## 7. CONCLUSÃO

A confiabilidade da frota analisada é inferior aos estudos analisados. A idade média da frota é de 12,6 anos, que é superior a vida útil dos sistemas mecânicos estipulados por órgãos internacionais. As condições de operação dos veículos analisados são bem diferentes dos trabalhos científicos encontrados. Os veículos operam 24 horas por dia, enquanto que os equipamentos da literatura operam 8 horas por dia. Além disso, as condições do ambiente são bem agressivas pela presença do minério de ferro, o que pode acelerar o desgaste de componentes elétricos e a corrosão da estrutura.

Durante o período analisado a frequência de manutenções preventivas foi de 60% do planejado. E a aderência ao tempo de manutenção planejado das preventivas executadas foi de 65%. Desta forma, é possível constatar que os equipamentos não seguem os planos preventivos, a manutenção predominante é corretiva. Durante o período analisado não foi possível estabelecer relação significativa entre a disponibilidade do ativo e o seguimento de planos de manutenção. O que pode refletir que a manutenção preventiva traz impactos a longo prazo.

Foi possível perceber que os ativos que já passaram por reforma tem confiabilidade próxima a equipamentos mais novos e que não passaram por reforma. Entretanto, os equipamentos reformados há mais tempo apresentaram confiabilidade ruim no período analisado. No período analisado foi possível verificar que um guindaste com boa confiabilidade pode apresentar componentes no fim da vida útil.

A avaliação de custos realizada foi simplificada em virtude da não disponibilidade do banco de dados adequado. Os custos da empresa são descentralizados, os componentes são geralmente comprados em blocos em que podem abranger diversos guindastes. Além disso, os registros de custos anteriores a 2019 não são precisos. Desta forma, os custos mais facilmente rastreáveis foram os custos para reforma, e equivale a um terço do valor de aquisição de um equipamento novo similar. Enquanto os custos de aluguel podem facilmente ultrapassar o valor do ativo após 5 anos.

No período analisado foram identificados pontos vulneráveis nos fluxos e processos de manutenção, como a implementação de monitoramento de horímetro e

consumo de combustível dos guindastes para controlar a utilização do equipamento e medir a eficiência energética. Desta forma, realizar a manutenção de acordo com o tempo de operação e assim reduzir custos e utilizar recursos com eficiência. Outra estratégia para controlar custos e pode aumentar a confiabilidade é o acompanhamento da vida útil de componentes como baterias, motores de partida, alternadores e compressores.

Os planos de manutenção podem ser aperfeiçoados, de modo a contemplar as características de uso dos equipamentos. Os planos de manutenção devem ser dinâmicos e sofrerem constantes evoluções, o que não foi verificado no período em virtude do complexo fluxo de alteração de planos de manutenção (necessário desembaraçar o processo de dados mestres com a engenharia).

Os custos de manutenção foram um grande desafio no desenvolvimento do trabalho, os custos são concentrados em plataformas de gerenciamento, mas não podem ser estratificados conforme os itens adquiridos. Além disso, foi verificada a compra de itens com identificação do sistema não condizente com o item recebido. O que é reflexo da necessidade de compras em fornecedores locais com descrições genéricas que contemplem itens presentes nos contratos.

Desta forma, durante o período foi possível verificar pontos de melhoria nas manutenções e relatar causas que comprometem os processos de manutenção e são causadas pela operação. Com isso, o presente trabalho consiste em uma introdução aos conceitos de manutenção industrial e princípios de funcionamento de guindastes.

## **8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- 1) Realizar acompanhamento de longo período dos indicadores de manutenção.
- 2) Realizar estudo comparativo de viabilidade entre alugar ou comprar guindastes para um determinado período de operação.
- 3) Realizar estudo detalhado de quando é viável ou não reformar um ativo.
- 4) Realizar análise dos indicadores de confiabilidade para ativos como pás carregadeiras e caminhões.

## 9. REFERÊNCIAS

ABC, America Associated Builders and Contractors. Implementing OSHA's New Cranes and Derricks Rule | ABC. Disponível em: <<https://abcksmo.org/news/implementing-oshas-new-crane-derricks-final-rule/>>. Acesso em: 1 jun. 2023.

ABNT, NBR. 5462. Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, p. 6, 1994.

Advance Auto Parts | Car & Truck Replacement Parts, Aftermarket Auto Parts, Performance Parts & Accessories. Disponível em: Acesso em: 9 jul. 2023.<<https://shop.advanceautoparts.com/>>.

ALLSLEWINGBEARING. Mobile crane slewing bearing, 2010. Disponível em: <<https://www.allslewingbearing.com/project/lm-1050/>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

ALMEIDA, PAULO SAMUEL; ROCCA, JAIRO ESTEVÃO. Manutenção mecânica industrial princípios técnicos e operações. Saraiva Educação SA, 2015.

ASSIS, Rui; JULIÃO, Jorge. Gestão da manutenção ou gestão de activos?(Custos ao longo do ciclo de vida). In: 10º Congresso de Manutenção, Figueira da Foz. 2009.

FOGLIATO, Flávio; RIBEIRO, José Luís Duarte. Confiabilidade e manutenção industrial. Elsevier Brasil, 2009.

GILLIONS, S. Common Causes of Crane Failure. Disponível em: <<https://www.lloydsbritish.com/blog/common-causes-of-crane-failure>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GÖRÇÜN, Ömer Faruk; DOĞAN, Gürkan. Mobile crane selection in project logistics operations using Best and Worst Method (BWM) and fuzzy Measurement of Alternatives and Ranking according to COMpromise Solution (MARCOS). Automation in Construction, v. 147, p. 104729, 2023.

HYDROLINE. How to assemble a hydraulic cylinder? Experts of hydraulics. Disponível em: <<https://hydroline.fi/blog/hydraulic-cylinder-assembly/>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

IPCM. Corrosion: what it is, how it develops, what are the most corrosive environments, and how metals can be protected - IPCM. Disponível em:



<<https://www.ipcm.it/en/article/corrosion-process-corrosive-environments-metal-protection.aspx>>. Acesso em: 8 jul. 2023.

LC TYRES . Earthmover Tyre Damage Information Booklet. Disponível em: <[https://www.hsa.ie/eng/Your\\_Industry/Quarrying/Maintenance\\_Operations/Tyre\\_Changing\\_and\\_Repair/Earthmoving\\_Tyre\\_Safety\\_-LC\\_Tyres.pdf](https://www.hsa.ie/eng/Your_Industry/Quarrying/Maintenance_Operations/Tyre_Changing_and_Repair/Earthmoving_Tyre_Safety_-LC_Tyres.pdf)>. Acesso em: 8 jul. 2023.

LIEBHERR. Guindaste móvel telescópico. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/pt/bra/produtos/guindastes-moveis-sobre-esteiras-e-pneus/guindastes-moveis/liebherr-guindastes-moveis/ltn-informacoes.html>>. Acesso em: 13 maio. 2023.

LIEBHERR. Guindaste móvel telescópico. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/pt/bra/produtos/guindastes-moveis-sobre-esteiras-e-pneus/guindastes-moveis/liebherr-guindastes-moveis/ltn-informacoes.html>>. Acesso em: 8 jul. 2023.

LIEBHERR. This is how to Build Cranes Mobile Crane Technology at a Glance. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/shared/media/mobile-and-crawler-cranes/brochures/mobile-crane-technology/liebherr-mobile-crane-technology-p415-00-e04-2016.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

LIEBHERR. Reman & repair programme for mobile and crawler cranes. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/en/gbr/products/mobile-and-crawler-cranes/service/reman-and-repair-programme.html>>. Acesso em: 1 jun. 2023.

MADU, Christian N. Competing through maintenance strategies. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2000.

MOUBRAY, John. Introdução à manutenção centrada na confiabilidade. São Paulo: Aladon, p. 129, 1996.

PEDRO, Isabel; FILIPE, José António; RODRIGUES, Bruno. Implementation of a program for the analysis of the costs of equipments' maintenance until the end of their useful life. *International Journal of Latest Trends in Finance and Economic Sciences*, n. 4, p. 196-200, 2011.

PINHO, Mauro Ottoboni. Transporte e montagem. 2005.

POTESTA, R. Slew Ring Bearing Condition Monitoring to Ensure Safe Crane Operation. Disponível em: <<https://www.slewpro.com/blog/slew-ring-bearing-condition-monitoring-to-ensure-safe-crane-operation#:~:text=A%20failure%20of%20the%20slew>>. Acesso em: 8 jul. 2023.

RAHMAN, Faisal et al. Availability Optimization of the Mobile Crane Using Approach Reliability Engineering at Oil and Gas Company. Mathematical Modelling of Engineering Problems, v. 9, n. 1, 2022.

RAHMAN, Faisal et al. Optimization maintenance performance level through collaboration of overall equipment effectiveness and machine reliability. Journal of Applied Engineering Science, v. 20, n. 3, p. 917-936, 2022.

RIGGINGBRASIL. Plano de Rigging qual a principal finalidade na movimentação de carga? Disponível em: <<https://riggingbrasil.com.br/plano-de-rigging/#:~:text=O%20Plano%20de%20Rigging%20%C3%A9>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SANY. Manutenção de guindastes: o que é e em qual frequência fazer? Disponível em: <<https://sany.centrooestemg.com.br/blog/manutencao-de-guindastes/>>. Acesso em: 1 jul. 2023.

SINGAPORE MINISTRY OF MANPOWER. Mobile cranes extension criteria for the service life of mobile cranes. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.mom.gov.sg/-/media/mom/documents/safety-health/circulars/2007/circular-20070327-limit-on-the-years-of-service-of-mobile-cranes-extension-criteria-for-the-service-life-of-mobile-cranes.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

TRACTIAN. 5 ferramentas fundamentais para a análise de falhas. Disponível em: <https://traction.com/blog/5-ferramenta-fundamentais-para-a-analise-de-falhas>. Acesso em: 5 jun. 2023.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. PCM-Planejamento e Controle da manutenção. Qualitymark Editora Ltda, 2002.

WOODWARD, David G. Life cycle costing—Theory, information acquisition and

application. *International journal of project management*, v. 15, n. 6, p. 335-344, 1997.

WORKSAFE AUSTRALIA. *Mobile crane Code of Practice 2006*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://www.worksafe.qld.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0019/17128/mobile-crane-cop-2006.pdf](https://www.worksafe.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0019/17128/mobile-crane-cop-2006.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2023.

XENOS, Harilaus G. *Gerenciando a manutenção produtiva*. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, v. 171, 1998.

ZAMPOLLI, M. et al. *Gestão de ativos: guia para a aplicação da norma ABNT NBR ISO 55001 considerando as diretrizes da ISO 55002: 2018*. International Copper Association Brazil, v. 2, 2019.

ZOOLION. *Manual de manutenção guindaste de caminhão*. Disponível em: <<https://www.zoomlion.com.br/wp-content/uploads/2022/12/ZTCT25-80-Manual-de-Manutencao.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2023.