

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

THAINARA FALCÃO

**USO DE INDICADOR DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAR EFICÁCIA DE  
ALTERAÇÕES DO PLANO DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA: UMA ANÁLISE  
DO ÓLEO DE MOTOR DE PÓRTICO SOBRE PNEUS DE UM TERMINAL  
PORTUÁRIO DE CONTÊINERES**

Joinville

2021

THAINARA FALCÃO

**USO DE INDICADOR DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAR EFICÁCIA DE  
ALTERAÇÕES DO PLANO DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA: UMA ANÁLISE  
DO ÓLEO DE MOTOR DE PÓRTICO SOBRE PNEUS DE UM TERMINAL  
PORTUÁRIO DE CONTÊINERES**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval

Orientador: Prof. Luís Fernando Peres Calil, Dr.Eng.

Joinville

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Falcão, Thainara

Uso de indicador de manutenção para avaliar eficácia de alterações do plano de manutenção preventiva de óleo de motor / Thainara Falcão ; orientador, Luís Fernando Peres Calil, 2021.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Graduação em Engenharia Naval, Joinville, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Naval. 2. Manutenção portuária. 3. Disponibilidade operacional. 4. Monitoramento de estado. 5. Indicador de avaliação OEE. I. Calil, Luís Fernando Peres. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Naval. III. Título.

Thainara Falcão

USO DE INDICADOR DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAR EFICÁCIA DE  
ALTERAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE ÓLEO DE MOTOR

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Naval e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Naval

Joinville, 06 de Maio de 2021.

---

Profa. Viviane Lilian Soethe, Dra.  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Luís Fernando Peres Calil, Dr. Eng.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Maurício de Campos Porath, Dr. Ing.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eduardo Biasotto, Ms.Eng.  
Avaliador  
Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)

---

William Oliveira Martins, Eng.  
Avaliador

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus; a finalização deste sonho só foi possível porque “Tudo posso naquele que me fortalece”. (FILIPENSES 4:13). Ele que me ama incondicionalmente e nunca desistiu de mim. Ele que dá todo o sentido para as minhas ações, me fortalece e me ampara nos momentos de angústia.

Aos meus pais Elisabete e Valter, por tornarem esse sonho possível. A eles, que junto com meu irmão, Vitor Valter, me motivam a alcançar meus objetivos, sempre respeitando o meu tempo, e me dando muito amor e suporte nos momentos difíceis, principalmente durante esse desafio. Essa conquista não é só minha, é nossa.

À minha irmã de coração Vanessa, que abraçou toda a minha luz, mas principalmente minhas sombras desde o primeiro dia de curso e criou comigo o melhor ambiente de estudo, diversão e crescimento que eu poderia ter. Obrigada minha amiga, cada riso e lágrima estão guardadinhos em mim.

As minhas amigas Carol, Maysa e Luany por terem sido sinônimo de incentivo durante todos esses anos, por vezes acreditando em mim muito mais que eu mesma e por vibrarem até hoje por cada conquista minha.

Ao meu orientador Luis Fernando Peres Calil, por ser incansável desde o primeiro momento que o convidei para me guiar nessa etapa. Por sua dedicação, paciência e confiança. Por me acolher e me ajudar a superar as dificuldades encontradas na realização deste trabalho. Você foi incrível, Professor.

A empresa Porto Itapoá, pela confiança na disponibilização dos dados utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Particularmente, ao Gerente de Engenharia e Infraestrutura, Samuel Medeiros da Silva, e ao Supervisor de Manutenção Mecânica, Humberto Farkas, que possibilitaram essa comunicação. E, em especial, ao Analista de Planejamento & Controle de Manutenção, William Oliveira Martins, por doar seu tempo e compartilhar seus conhecimentos, contribuindo significativamente no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos que a universidade me proporcionou, em especial, à Ana, Carla, Daiane, Gabriela, Nathália, Paola, Raíza e Tuane. Obrigada por sempre estarem presentes, essa jornada se tornou mais leve e inesquecível por poder contar com cada ombrinho de vocês.

## RESUMO

A manutenção, ao longo do tempo, vem assumindo um papel muito importante dentro do cenário mundial visando à melhoria dos processos produtivos das empresas. Tendo como missão, garantir a disponibilidade da função dos equipamentos, de modo a atender ao processo produtivo de forma sustentável, com segurança e custos adequados, a área da manutenção do Porto Itapoá analisou a ocorrência de descarte prematuro do óleo lubrificante 10w40 utilizado em motores diesel de seus equipamentos pesados, que possibilitou a extensão da periodicidade de troca de óleo pré-estabelecida inicialmente pelo fabricante (intervenções preventivas por tempo). Entretanto, apesar das evidências de sucesso na redução dos custos diretos de manutenção reconhecidas pelo setor de manutenção do Terminal, não foi implementado um processo de avaliação de desempenho para a função manutenção a fim de evidenciar a maximização da operacionalidade e desempenho dos equipamentos. Com base nisso, o presente trabalho tem por objetivo geral, analisar a eficácia do projeto de manutenção implantado no Terminal, utilizando o indicador de manutenção OEE. Logo, o trabalho consistiu em um levantamento bibliográfico, pesquisa, observação, análise e interpretação de conceitos, técnicas e dados inerentes à área de manutenção. Para atingir este objetivo foi necessário, fundamentalmente, a escolha do indicador de desempenho da manutenção, a coleta de dados referente a classe de equipamentos RTG do Porto Itapoá, bem como o estabelecimento de parâmetros que levassem em consideração as características particulares dos equipamentos e do ambiente portuário. A eficácia do projeto foi avaliada por meio da redução das paradas corretivas dos equipamentos. Este valor torna-se importante, pois é uma das condições de melhoria da disponibilidade operacional dos equipamentos para realizarem suas funções requeridas e com confiabilidade. Sendo assim, foi possível concluir através de uma abordagem quantitativa que, corroborando com a afirmação de outros autores, técnicas de monitoramento do estado permitem aumentar a disponibilidade dos ativos e melhorar as intervenções de manutenção. Além disso, o indicador escolhido possibilitou uma integração das informações criando reflexões acerca de melhorias em outros setores da organização, evidenciando que um terminal portuário é uma rede multimodal e seu sucesso é a soma da interação desses setores.

**Palavras-chave:** Manutenção portuária; Disponibilidade operacional; Monitoramento de estado; Indicador de avaliação.

## ABSTRACT

Maintenance, over time, has assumed a very important role within the world scenario, aiming at improving the companies' production processes. With the mission of ensuring the availability of the function of the equipment, in order to meet the production process in a sustainable manner, with safety and adequate costs, the maintenance area of the Port Itapoa analyzed the occurrence of premature disposal of the 10W40 lubricating oil used in diesel engines for its heavy equipment, which made it possible to extend the oil change periodicity pre-established initially by the manufacturer (preventive interventions for time). However, despite the evidence of success in reducing direct maintenance costs recognized by the Terminal maintenance sector, a performance evaluation process for the maintenance function was not implemented in order to demonstrate the maximization of the equipment's operability and performance. Based on this, the present work has the general objective of analyzing the effectiveness of the maintenance project implemented in the Terminal, using the OEE maintenance indicator. Therefore, the work consisted of a bibliographic survey, research, observation, analysis and interpretation of concepts, processes, techniques and data inherent to the maintenance area. To achieve this objective, it was necessary, fundamentally, to choose the maintenance performance indicator, to collect data referring to the RTG equipment class of the Port Itapoa, as well as to establish parameters that took into account the particular characteristics of the equipment and port environment. The effectiveness of the project was assessed by reducing corrective equipment stops. This value becomes important, as it is one of the conditions for improving the operational availability of the equipment to perform its required functions and with reliability. Thus, it was possible to conclude through a quantitative approach that, corroborating with the statement of other authors, state monitoring techniques allow to increase the availability of assets and improve maintenance interventions. In addition, the chosen indicator enabled an integration of information creating reflections on improvements in other sectors of the organization, showing that a port terminal is a multimodal network and its success is the sum of the interaction of these sectors.

**Keywords:** Port maintenance; Operational availability; State monitoring; Evaluation indicator.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do trabalho .....	15
Figura 2 – Classificação dos tipos de manutenção. ....	17
Figura 3 – Fatores de Nakajima para determinação do OEE. ....	27
Figura 4 – Estrutura adaptada do indicador OEE-8.....	31
Figura 5 – Sistema de avaliação de desempenho. ....	32
Figura 6 – Fluxograma de processo de análise de óleo terceirizada. ....	37
Figura 7 – Área de pátio do terminal portuário de contêineres de Itapoá .....	41
Figura 8 – Um guindaste típico Rubber Tyred Gantry (RTG). ....	42
Figura 9 – Recursos e benefícios do óleo lubrificante Petronas tipo 10w40 sintético. ....	44
Figura 10 – Conjunto de parâmetros fixos para a realização dos cálculos.....	50
Figura 11 – Subtração das horas utilizadas com manutenção preventiva planejada. ....	51
Figura 12 – Média da disponibilidade dos equipamentos RTGs.....	54
Figura 13 – Comparação entre as médias da disponibilidade dos equipamentos RTGs segundo Nakajima (1988) e a estrutura adaptada pelo indicador OEE-8. ....	55
Figura 14 – Média do desempenho dos equipamentos RTGs comparado à referência obtida da literatura de 20 MPH. ....	57
Figura 15 – Média da Eficiência Global dos equipamentos RTGs. ....	59

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classificação dos valores percentuais de OEE.....	29
Quadro 2 – Equipamentos de movimentação de contêineres.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média de parâmetros da manutenção. ....	52
Tabela 2 – Quantidade total de contêineres movimentados. ....	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

JIPM – Japanese Institute of Plant Maintenance

MPH – Movimentos por hora

MTBF – Mean time between failure (Tempo médio até a falha)

MTTR – Mean Time to Repair (Tempo médio de reparo)

OEE – Overall Equipment Effectiveness (Eficiência global do equipamento)

OEM – Original Equipment Manufacturer (Fabricante original do equipamento)

RTG – Rubber Tyred Gantry (Guindaste de pórtico sobre pneus)

TEU – Twenty Foot Equivalent Unit

TPM – Total productive maintenance (Manutenção produtiva total)

TT – Terminal Tractor

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development

ZPMC – Zhenhua Port Machinery Company

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 TIPOS DE MANUTENÇÃO .....</b>	<b>17</b>
2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	17
2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	18
2.2.1 Manutenção preventiva por tempo (Programada) .....	19
2.2.2 Manutenção preventiva por condição (Preditiva).....	20
2.2.3 Considerações finais sobre manutenção preventiva .....	22
<b>3 INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE EQUIPAMENTOS ...</b>	<b>24</b>
3.1 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE).....	26
<b>4 EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA EM TERMINAIS PORTUÁRIOS DE CONTÊINERES .....</b>	<b>33</b>
<b>5 ÓLEO LUBRIFICANTE PARA MOTOR.....</b>	<b>36</b>
<b>6 APLICAÇÃO DE INDICADOR DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAR A EFICÁCIA DE ALTERAÇÕES DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE ÓLEO DE MOTOR .....</b>	<b>40</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO RTG DA ZPMC .....	41
6.2 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO URÂNIA K 10W-40.....	43
6.3 ESTUDO DE MELHORIA DO PLANO DE MANUTENÇÃO (PROGRAMA 500HORAS).....	45
6.3.1 Levantamento de dados .....	48
6.3.2 Considerações para o cálculo do OEE-8 .....	49
6.4 ANÁLISE DOS INDICADORES.....	52
6.4.1 Disponibilidade.....	53
6.4.2 Desempenho .....	56
6.4.3 Qualidade.....	58
6.4.4 OEE-8.....	59
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A – PRINT DA TELA DA PLANILHA ELETRÔNICA ILUSTRANDO A UTILIZAÇÃO DO INDICADOR OEE-8.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Burns (2014) explica que o termo *Porto* tem origem grega e significa “passagem”, e define o movimento de navios e mercadorias como uma das suas principais funções. Para Talley (2009), o porto é uma importante unidade econômica, que ao invés de produzir um produto, fornece serviço de transferência de carga e serve como um “motor” para o desenvolvimento econômico de uma região, fornecendo emprego, renda para os trabalhadores, ganhos comerciais e impostos. E de acordo com Collyer (2008) apud Sousa Júnior (2010), o porto é fronteira nacional aberta, entreposto dinâmico de mercadorias em que se realizam multiatividades (aduaneiras, alfandegárias, comerciais, sanitárias, tributárias, imigratórias etc.).

Com base nas definições citadas acima, o porto, sendo um elo entre o transporte terrestre e marítimo, desempenha papel essencial na facilitação do comércio global e do desenvolvimento da economia de um país, integrando produção, transporte, indústria, comércio e informação. O qual, segundo Dantas (2013), é através dessa integração que 96% da carga brasileira é embarcada para exportação e 90% é importada.

O Brasil, com uma costa de 8,5 mil quilômetros navegáveis, apresenta no modal aquaviário alta quantidade de carga escoada. De acordo com os dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), as instalações portuárias brasileiras movimentaram cerca de 1,104 bilhões de toneladas de cargas em 2019, evidenciando a importância do setor portuário neste modo de transporte onde, efetivamente, estão às portas de entrada e saída de mercadorias do país, permitindo o escoamento da produção e a comercialização de produtos.

Cabe destacar também a importância que um setor portuário tem para a região no seu entorno. Levando em consideração a região onde o estudo será aplicado, a instalação de um porto impulsionou o desenvolvimento econômico, social e populacional da região, investindo nas pessoas da comunidade, logo gerando empregos e levando mais qualidade de vida para a população. Além disso, a cadeia industrial e de serviços atrelado ao contexto portuário resultou no surgimento de mais postos de trabalho para a comunidade. (ITAPOÁ, 2020).

Nesse contexto, reconhece-se que o desenvolvimento econômico de um país está intrinsecamente relacionado à eficiência dos portos, visto que o aumento da eficiência possibilita minimizar custos, bem como melhorar o nível da produção portuária, proporcionando significativos ganhos para toda a economia. Burns (2014), destaca a produtividade como componente essencial da eficiência de custos no gerenciamento portuário

e explica que o comércio global é caracterizado por alto risco, concorrência acirrada e atividades intensivas em capital; portanto, as autoridades portuárias acham cada vez mais árduo se adaptar a um cenário global em constante mudança, em um esforço para melhorar seu desempenho anual e alcançar níveis sustentáveis de importação e exportação. O autor afirma ainda que o desafio para os gerentes portuários modernos é a combinação e modernização de suas técnicas e processos de produção, a fim de atender a cadeia de suprimentos global.

Conceituando as afirmações anteriores de Burns (2014), produtividade é a relação entre os recursos empregados e os resultados alcançados de uma organização. Uma boa produtividade está relacionada a um bom aproveitamento da matéria-prima, da capacidade, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, do gerenciamento de tempo e habilidades dos contratados. Os processos de produção são um conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços, e estão altamente vinculadas a outras áreas organizacionais que servem de suporte e apoio, concentrando seus esforços na maximização dos resultados produtivos (AYRES, 2009). Enfim, Kardec e Nascif (2009) definem operação, manutenção e engenharia como as áreas básicas que compõem uma produção.

Portanto, tendo a manutenção como área básica da produção, Monchy e Vernier (2010) afirmam seu papel estratégico no sistema de produção, pois caracteriza o nível de evolução da organização desse sistema, particularmente em termos de produtividade e qualidade de serviço. O autor explica que a interface manutenção/produção se torna aliada quando funciona como “centro de lucro” através das melhorias com base no ganho de produtividade alcançável. De modo que, apoiado na política de Manutenção Produtiva Total (TPM), confirma impactos positivos quanto à redução de custos e melhoria da qualidade do serviço através de áreas da produção que se baseiam na redução de perdas relacionadas a: paradas; não qualidade ou tempo de uso; prevenção de quebras ou falhas; e iniciativa de mantenedores e operadores integrados e mobilizados.

Parte da perda por indisponibilidade dos ativos e custo de falha com valor significativamente alto (incluindo-se os custos da atividade de manutenção para restaurar a função do ativo e pessoal requerido), acredita-se ser decorrente da periodicidade de práticas preventivas e corretivas. À vista disso, em 2016, fundamentados e motivados pelo o que se encontra disponível na literatura, a equipe de planejadores e gestão de ativos do setor de manutenção do Porto Itapoá se propuseram a analisar a ocorrência de descarte prematuro do

óleo lubrificante 10W40 utilizado em motores diesel de seus equipamentos pesados, visando maior disponibilidade e produtividade nas operações portuárias, bem como ganhos a nível financeiro. Tal análise – que teve como base técnica o monitoramento de estado do óleo para avaliar o comportamento da vida útil deste conforme horas trabalhadas – possibilitou até o atual ano a extensão da periodicidade de troca de óleo praticada inicialmente e pré-estabelecida pelo fabricante (intervenções preventivas por tempo). Entretanto, apesar das evidências de sucesso na redução dos custos diretos de manutenção reconhecidas pelo setor de manutenção do Porto Itapoá, não foi implementado um processo de avaliação de desempenho para a função de manutenção a fim de evidenciar a maximização da operacionalidade e desempenho dos equipamentos. Segundo Johnson e Kaplan (1987), a utilização de indicadores de desempenho de cunho não financeiro para avaliar o desempenho de uma organização, refletem efetivamente a integração e a flexibilidade dos recursos do setor, além de prever melhor suas metas de rentabilidade de longo prazo. Desta forma, o presente trabalho propõe uma análise da eficácia do projeto de manutenção implantado no Terminal, através dos valores expressos pelos guindastes de pórtico sobre pneus (RTG) – caracterizado como equipamento gargalo de um terminal portuário de contêineres e escolhido para o desenvolvimento do presente trabalho diante da sua importância na continuidade das atividades de um terminal portuário de forma eficiente – e utilizando o indicador de desempenho da manutenção OEE (Overall Equipment Effectiveness). Este indicador de eficiência global do equipamento – além de permitir mensurar a eficácia de ações de melhorias de um setor de manutenção – é, segundo a literatura, um indicador voltado a visão holística do sistema organizacional, permitindo não só retratar os esforços da equipe de manutenção em busca do sucesso da organização, mas integrá-la ao sistema de operação e juntas identificar interfaces de melhorias.

## 1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral, validar – através da utilização de um indicador de manutenção de desempenho – a eficácia de alterações feitas no plano de manutenção programada de um terminal portuário de contêineres após monitoramento do comportamento da vida útil do óleo de motor conforme horas trabalhadas em seus equipamentos pesados.

Sobre o objetivo geral do trabalho, objetivos derivados se associam. Logo, pontua-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir equipamento de estudo;
- Definir indicador de avaliação de manutenção e coletar os dados inerentes ao processo;
- Adequar o indicador para as concepções de interesse;
- Definir conjunto de parâmetros fixos necessários ao cálculo;
- Analisar isoladamente os resultados das três métricas que constituem o indicador;
- Contextualizar o valor final dos indicadores.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com o objetivo de proporcionar um melhor entendimento do conteúdo exposto, o presente trabalho encontra-se dividido em sete capítulos, representados na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura do trabalho



Fonte: Elaborada para este trabalho.

Seguindo a estrutura de trabalho proposto acima, os conteúdos são apresentados a seguir.

No segundo capítulo, são caracterizados os principais tipos de manutenção, com suas vantagens e desvantagens. Neste capítulo destaca-se a importância da abordagem das inspeções preventivas por sistemas de monitoramento das condições na gestão da manutenção de ativos.

No terceiro capítulo, define-se o indicador OEE para avaliar as alterações do plano de manutenção preventiva de óleo de motor. Após a escolha, há uma adequação da sua estrutura levando em consideração a organização onde o projeto analisado foi desenvolvido e as limitações encontradas no decorrer deste trabalho.

O quarto capítulo traz a caracterização de equipamentos de movimentação de carga em terminais portuários de contêineres, e por fim define-se o equipamento de pátio RTG para aplicação do estudo.

No quinto capítulo, disserta-se acerca da prática de manutenção preventiva por análise do óleo lubrificante como auxílio no gerenciamento da manutenção. Deterioração, coleta, análise laboratorial e substituição do óleo de motor são os principais tópicos comentados.

O sexto capítulo envolve a avaliação da eficácia do projeto estratégico do setor de manutenção do Porto Itapoá. Inicia-se apresentando a empresa onde foi realizado o estudo, localizada no município de Itapoá-SC. Caracteriza-se o porto, o equipamento RTG ao qual foram levantados os dados, bem como o óleo de motor utilizado neste. Ainda, contempla-se o levantamento e tratamento dos dados e os parâmetros estabelecidos conforme as características particulares dos equipamentos e do ambiente portuário em questão. Por fim, são realizadas as análises dos indicadores de manutenção e das métricas do indicador OEE adaptado para verificar a eficácia do “Projeto 500 horas”.

O sétimo e último capítulo apresenta as considerações finais acerca deste trabalho, bem como, o nível de atendimento aos objetivos, as limitações do estudo e as vantagens na adoção de uma metodologia de gestão estratégica na manutenção. Finalmente, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros, complementares ao presente trabalho.

## 2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os diversos tipos de manutenção existentes atualmente. Há uma variedade de termos destinados a caracterizar as diferentes atuações da manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009). Diante das diversas literaturas encontradas com conceituação de tipos de manutenção, Martins e Paura (2019) destacam a manutenção corretiva e preventiva por tempo (programada) e por condição (preditiva) como os tipos de manutenção comumente utilizados na manutenção portuária. A Figura 2 apresenta uma classificação da manutenção em seus tipos.

Figura 2 – Classificação dos tipos de manutenção.



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009).

Cada tipo de manutenção possui suas vantagens e desvantagens. O tipo mais apropriado irá depender de cada situação em específico, ou seja, a escolha do melhor tipo irá depender, por exemplo, da criticidade do equipamento, analisando para isso, o mais eficiente, adequado e econômico para a ocasião. (XENOS, 2014).

### 2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Conhecida como a forma de manutenção mais simples e primitiva, pois se trata da manutenção executada popularmente por “consertar o que está quebrado”, a manutenção corretiva é aquela em que atua nos equipamentos quando estes já estão quebrados. Considerando que a falha é caracterizada por ser um evento discreto, Monchy e Vernier (2000) definem a manutenção corretiva como a manutenção realizada a partir da

ocorrência/detecção de uma falha, e assim destinada a restaurar um item para um estado em que ele possa executar novamente sua função requerida.

Segundo uma análise dos custos da manutenção desenvolvida por Mobley (2008), os maiores custos da manutenção estão associados à estratégia de manutenção corretiva que aguarda a falha do equipamento antes de qualquer ação de manutenção, indicando que um reparo realizado no modo corretivo não planejado, ou executado até a falha, terá em média um custo cerca de três vezes maior que o custo do mesmo reparo feito em um modo programado ou preventivo. Em contrapartida, Xenos (2014) afirma que fatores como inviabilidade de ações preventivas para evitar a ocorrência de falha e reparos com pouca decisão humana, devem ser considerados, pois podem ser de fácil correção.

Em tese, segundo Rosa (2006), a manutenção corretiva é usada com frequência em três situações: quando o reparo é fácil, logo a consequência da falha é pequena; quando uma manutenção preventiva é muito dispendiosa; ou quando a falha não é previsível de nenhuma forma (ou seja, falha aleatória), logo não há vantagem em se utilizar a manutenção preventiva, porque a falha apresenta a mesma probabilidade de acontecer antes ou depois do reparo. Para este último caso, matematicamente pode-se mostrar que as falhas aleatórias comportam-se como uma distribuição exponencial. Esta hipótese pode significar que depois que a peça estiver em uso, independente de quanto tempo os equipamentos tenham operado, sua probabilidade de falha não se altera, ou seja, seu estado de condição equivale a um equipamento novo.

Por fim, Mobley (2008) indica que os altos prejuízos da manutenção corretiva estão relacionados entre outros, a paradas imprevistas com consequente indisponibilidade do ativo gerando perdas na produção, além do custo de mão de obra visto que a equipe de manutenção deve estar apta a reagir imediatamente às falhas.

## 2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Em oposição à manutenção corretiva, a manutenção preventiva visa evitar a ocorrência de falhas nos equipamentos durante a operação. Para Monchy e Vernier (2000), o objetivo de um plano de manutenção preventivo é reduzir a probabilidade de supostas falhas no equipamento, aumentando assim sua disponibilidade e reduzindo seus custos com falhas inesperadas. De forma abrangente, Higgins et al. (1995) afirma que a manutenção preventiva utilizará avaliação regular dos equipamentos críticos da planta para detectar possíveis

problemas e agendar tarefas de manutenção para impedir a degradação das condições operacionais além do tolerável – i.e., sua falha.

É uma intervenção planejada, proativa; portanto, pode ser programada e ter sua execução preparada, antes mesmo da caracterização do estado da falha. A forma de antecipação às falhas pode ser feita das seguintes maneiras: manutenção preventiva por tempo (programada) e manutenção preventiva por condição (preditiva).

### **2.2.1 Manutenção preventiva por tempo (Programada)**

A manutenção programada é uma intervenção realizada, por exemplo, através do cumprimento de atividades recomendadas pelo fabricante do equipamento (OEM – Original Equipment Manufacturer) nos manuais de manutenção e operação do equipamento, que geralmente contêm as tarefas sugeridas de serviço e reparo com base no conhecimento e domínio da degradação do equipamento, tipicamente condicionada ao tempo de funcionamento ou ao número de operações (partidas).

Segundo Mobley (2008), é um tipo de manutenção eficaz quando o mecanismo de falha é típico de desgaste e se comporta de maneira previsível durante a operação do item. Um programa de manutenção preventiva por tempo obedece a um plano de intervenções predeterminadas e resultam de cuidadosa consideração de fatores relacionados com a confiabilidade inerente dos equipamentos e seus subsistemas (MOBLEY, 2008). Entretanto, Nowlan e Heap (1978, p. 5 e 6) concluíram em seus estudos realizados para determinar normas e procedimentos de manutenção com base numa ampla análise estatística, que revisões programadas baseada no tempo têm pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha dominante, como o desgaste apontado por Mobley (2008).

Para Hampapur et al. (2011), o potencial do processo está em examinar dados históricos de defeitos, especificações do fabricante, relatórios de análises de condição, medições de sensores e outros dados relevantes para assim reunir informações sobre o processo de degradação do equipamento. De modo que, possibilite a maximização dos intervalos de tarefas rotineiras de manutenção programada de forma mais confiável (manutenção preventiva por tempo), além de minimizar o número e o custo das paradas não programadas (manutenção corretiva) e maximizar o rendimento do processo produtivo, visto que os

equipamentos estarão o maior tempo possível disponível para operação. (MOBLEY, 2008; HAMPAPUR et al., 2011).

### **2.2.2 Manutenção preventiva por condição (Preditiva)**

O conceito de manutenção preventiva por condição está inserido na modalidade de manutenção há aproximadamente oito décadas, porém como outras modalidades de manutenção, se efetivou como importante técnica de produtividade a partir dos anos 70, sendo que sua evolução se destaca nas duas décadas mais recentes, como destacado por diversos estudiosos das modalidades de manutenção. Embora seu conceito não abranja um programa completo de manutenção, a técnica de manutenção preventiva por monitoramento de condição adiciona uma valiosa colaboração em um programa de gerenciamento de ativos. Enquanto técnicas de manutenção preventiva programada e manutenção corretiva se baseiam em serviços de rotina de todo o equipamento e resposta rápida a falhas inesperadas respectivamente, um programa de manutenção preventivo por monitoramento de condição compreende tarefas específicas de manutenção que permitem uma análise real da vida útil do ativo e seus subsistemas (elétrico, mecânico, hidráulico) para modelar seu comportamento de deterioração, e então projetar probabilidades de falhas e melhorias contínuas com boas relações custo-benefício.

Manutenção preditiva é definida por Monchy e Vernier (2000, p. 48) como uma “manutenção preventiva sujeita à análise do comportamento de parâmetros significativos da deterioração da propriedade, permitindo adiar e planejar intervenções”. Os autores, Kardec e Nascif (2009, p.44) acrescentam que o monitoramento é “baseado na condição ou estado que o equipamento se encontra, onde o acompanhamento segue uma sistemática através de técnicas e análises.” Em suma, a manutenção preditiva tem sua intervenção realizada com base no acompanhamento da condição e/ou desempenho do ativo e previne falhas através do acompanhamento de diversos parâmetros representativos da situação do equipamento em relação a referenciais máximos ou mínimos predeterminados – i.e., o padrão de funcionamento.

Esta abordagem reduz o elemento probabilístico da falha, e maximiza a vida útil do bem. Realiza-se o monitoramento da condição de fabricação, eficiência do equipamento e outros indicadores para determinar o tempo médio até a falha ou perda de eficiência do ativo e seus insumos, utilizando-os até o limite de sua vida útil com confiabilidade, podendo-se assim

definir o ponto ótimo de intervenção, e conseqüentemente aumentando a disponibilidade operativa do ativo. O monitoramento das condições é uma combinação de técnicas, ou seja, acompanhamento de vibrações, termografia, tribologia, inspeção visual e outras técnicas de testes não destrutivos que devem ser adequadas a cada situação em particular e deve ser realizado com o equipamento em serviço. (MOBLEY, 2008).

Rosa (2006), afirma que a adoção dessa estratégia traz uma série de vantagens, entre as quais:

- Maior disponibilidade do equipamento pelo menor tempo de manutenção. Permite a parada da máquina antes que ocorram maiores danos que requeiram um tempo de reparo excessivo;
- Maior produção líquida. Algumas máquinas podem ser operadas com mais carga e/ou maior velocidade e é possível detectar reduções da eficiência da máquina ou um consumo maior de insumos;
- Melhor qualidade do serviço. Possibilita um melhor planejamento para reduzir o efeito das paralisações sobre os clientes do serviço. Permite a redução de incidência de serviços abaixo do nível de qualidade exigido.

Dentro deste contexto, em uma pesquisa a respeito dos fatores de sucesso na gestão da manutenção de ativos, Wireman (1998) encara a abordagem das inspeções preventivas por sistemas de monitoramento das condições como fator de sucesso que proporciona uma amplitude maior no que toca as definições técnicas do ativo, entendendo-as não só como técnica ou tipo de manutenção, mas como fundamento sistemático da gestão da manutenção e conseqüentemente no caráter de estratégia de abordagem de intervenção de ativos.

Em 1988, com a finalidade de quantificar o impacto da inclusão de técnicas de manutenção preventiva por condição como parte de projetos de gerência da manutenção, a Plant Performance Group (uma divisão da “Technology for Energy Corporation”) realizou uma pesquisa em 500 empresas do ramo de energia elétrica, papel, celulose, processamento alimentício, têxteis, ferro e aço e outras indústrias de manufatura ou de processo localizadas nos países do Canadá, Estados Unidos, Grã-Bretanha, França e Austrália. Cada um dos participantes informou que em algum momento já se utilizou de algum tipo de programa de monitoramento por condição em sua empresa. (RAO, 1996).

De acordo com os participantes, de modo geral os programas foram bem sucedidos. Segundo os resultados do levantamento, das melhorias que puderam ser obtidas, se destacaram: custos de manutenção, falhas não programadas do equipamento, tempo parada de

equipamento, redução de peças no estoque, e recompensas diretas e indiretas de hora extra. Em complemento, o levantamento indicou uma melhoria substancial na vida do equipamento, produção, segurança do operador, qualidade do produto e lucro global. Em suma, melhorias substanciais na contabilidade, disponibilidade e custos operacionais.

Faz-se a ressalva de que apesar de todas as 500 empresas possuírem programas de manutenção preventiva por condição com sucesso, há centenas de outras empresas que não têm obtido sucesso. Muito embora a manutenção preventiva por condição seja uma filosofia comprovada, muitos programas falham. Para IAM Annual Conference Warwick (2012), a razão predominante é a falta de planejamento e suporte da gerência. O autor salienta que, se não há a intenção de utilizar os dados, não há motivos para despender tempo em coletar essas informações, citando casos em que as informações são geradas, porém as diretorias não se baseiam nas mesmas para determinar o futuro dos ativos, tomando decisões errôneas baseadas em outros critérios. Também, visto que em muitos casos os colaboradores que atuam nessa área não entendem o quão útil e favorável é realizar a tarefa de análises, IAM Annual Conference Warwick (2012) reforça a necessidade de investimento interno das organizações na comunicação dos valores e das políticas adotadas, além da conscientização dos profissionais da área quanto às suas responsabilidades e poder de influência nos resultados.

A implantação de técnicas por monitoramento de condição geralmente começa com a observação da capacidade de otimização de processos na busca por um melhor programa de intervenções programada do equipamento. Um próximo passo é desenvolver modelos de suporte à tomada de decisões estratégicas que auxiliarão a entender o comportamento dos ativos e seus subsistemas críticos para refinar os modelos de intervenções programadas de manutenção já existentes, criando novas abordagens. Em conclusão, um programa baseado em monitoramento de estado real do equipamento como gestão de manutenção, oferecerá a capacidade de otimizar a disponibilidade dos equipamentos de serviço e reduzirá o custo da manutenção.

### **2.2.3 Considerações finais sobre manutenção preventiva**

A manutenção preventiva promove a retirada do equipamento de operação, caso a execução dos serviços programados seja realizada fora do período de ociosidade, gerando assim possíveis questionamentos sobre sua conveniência. Outro inconveniente com relação a esse tipo de manutenção é a introdução de defeitos não existentes no equipamento devido a

falha humana, danos durante partidas e paradas, falhas dos procedimentos de manutenção e contaminações introduzidas no sistema de óleo. Por exemplo, Dias et. al. (2013) em sua metodologia para análise de risco, apresentaram como uma das soluções para mitigar os problemas com vazamento de gás SF<sub>6</sub> em disjuntores em uso, suspender as manutenções preventivas por estarem encadeando falhas no componente.

Desta forma, a manutenção preventiva por tempo (programada) terá maior aplicabilidade quando o mecanismo de falha é predominante e em tempo estimado, enquanto a manutenção preventiva por condição (preditiva) em um mecanismo de falha predominante e em tempo incerto. Como exposto anteriormente, não existe um método mais adequado de manutenção, cada qual possui sua importância para o processo produtivo e dependerá da ocasião, e segundo Xenos (2014), é comum a utilização de combinações desses tipos de manutenção em razão das diferentes particularidades dos equipamentos.

### 3 INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE EQUIPAMENTOS

Segundo Fuentes (2006), a análise de eficiência assegura que os esforços dedicados ao melhoramento são voltados a tarefas significativas. Uma forma de materializar a eficiência de planos estratégicos de manutenção é utilizar de um adequado sistema de medição que auxilie na avaliação do desempenho de atividades ou processos de transformação que agregam valor e provocam efeitos nos sistemas a jusante.

Para que o estudo da eficácia de um projeto seja rico e relevante é necessário associar os dados quantitativos dos eventos experimentados e registrados em históricos de equipamentos a indicadores no qual, de acordo com Rosa (2006), são medidas ou dados numéricos estabelecidos e ajustados às características do que se pretende controlar. Biasotto (2006), afirma que é através de indicadores que é possível monitorar o progresso alcançado, comparando e avaliando os resultados ao longo do tempo e, no nível organizacional, o sistema de medição – também chamado de sistema de avaliação – deve estar presente pois sem ele não há gerenciamento. De modo que, o que não é medido, não pode ser gerenciado e o que não esteja sendo gerenciado, não pode ser melhorado (NEVES, 2009).

A melhoria de processos subjacentes de um setor, desde formas de controle, eficiente utilização de recursos e a diminuição de custos de operação, depende do ambiente fabril analisado: em se tratando do setor de manutenção portuária, onde há a presença de processos contínuos e onde o custo de paradas é elevado, é fundamental garantir a melhoria da disponibilidade e confiabilidade dos ativos. Takahashi e Osada (1993) apud Furmann (2002) atribuem a atividade de melhoria da eficiência do equipamento ao departamento de engenharia de manutenção. Na manutenção, o diagnóstico gerencial através da observação de indicadores é o ponto de partida quando se trata do estudo cuidadoso de um fenômeno. Elas são a base de uma abordagem de progresso que devem ser feitos na parte interior da máquina e em tempo real, tanto em termos de solicitações quanto de relatórios. (MONCHY; VERNIER, 2000).

Monchy e Vernier (2000) continuam sinalizando que os indicadores devem ser simples, visuais e claros para ser facilmente compreensível e interpretáveis – sendo importante que eles sejam estabelecidos durante um período de referência significativo. E, na opinião dos autores, o indicador analógico “valor medido” não tem muito significado em valor absoluto, mas quando expresso em valor relativo (porcentagem, por exemplo), torna-se interessante e, diante disso, demonstra a importância em usar as ferramentas visuais da estatística descritiva

para processar uma amostra de “n” valores, de preferência à tabelas de valores menos fáceis de interpretar e/ou em gráficos.

A literatura disponível para o setor da manutenção nos aponta inúmeros indicadores. Apesar da recorrência do uso de indicadores de natureza econômico-financeira, um adequado sistema de avaliação de desempenho para a função manutenção é crucial para a maximização da operacionalidade e desempenho dos equipamentos, para então a obtenção de melhores resultados econômico-financeiros. Johnson e Kaplan (1987) defendem a utilização de indicadores de desempenho de cunho não financeiro para avaliar o desempenho de uma organização. Para os autores, este panorama é justificado pela necessidade de novos atributos de avaliação que reflitam efetivamente a integração e a flexibilidade dos recursos do setor, além de prever melhor suas metas de rentabilidade de longo prazo. Pode-se afirmar então, que o desempenho é gerenciável na proporção em que é medido, avaliado e comparado a padrões iniciais e possíveis desperdícios existentes. Por fim, a medida do desempenho de um sistema organizacional é importante, na medida em que direciona ações e recursos para aqueles processos que estão aquém de suas potencialidades. Assim, a medição do desempenho só se justifica no sentido de aprimorá-lo.

Conforme classificação de Campbell (1995) apud Biasotto (2006), os indicadores de desempenho da manutenção comumente usados baseiam-se em três focos:

- **Indicadores de desempenho do equipamento:** disponibilidade, confiabilidade, eficiência global do equipamento (OEE – Overall Equipment Effectiveness), etc.;
- **Indicadores de desempenho do custo:** suporte a operação & manutenção, custo de materiais, etc.;
- **Indicadores de desempenho do processo:** razão do trabalho planejado pelo não planejado, grau de programação, etc.;

Percebe-se assim, que os indicadores de desempenho podem alcançar diferentes focos. Levando em consideração que o indicador OEE tem sido adotado principalmente por organizações que precisam assegurar elevada disponibilidade e eficiência de seus equipamentos, identificou-se no indicador uma ferramenta para análise comparativa das reais condições de utilização dos ativos (NAKAJIMA , 1989 apud SANTOS , 2009). Aqui vale lembrar que, segundo SÁ (2020), um equipamento é eficiente quando sua função é realizada da melhor maneira possível, ou seja, consumindo o mínimo de recursos ou em menor tempo. Além disso, a escolha do indicador OEE com foco na eficiência de um equipamento assenta-

se ao objetivo deste trabalho de avaliar a eficácia, isto é, quando um projeto atinge seu objetivo ou meta, do projeto de manutenção do Porto Itapoá analisando a eficiência do RTG.

Sustentando as afirmações de Monchy e Vernier (2000), de acordo com Ron e Rooda (2005) apud Santos (2009), o indicador OEE é uma métrica simples, clara e global. Para esses autores, o indicador é recomendado para ambientes de alta demanda de serviço ou produção, onde a utilização da capacidade produtiva é um item de alta prioridade e paradas ou interrupções são caras em termos de perda de capacidade. Também, de acordo com Ljungberg (1998), o indicador promove a análise dos problemas de modo a direcionar as ações de melhoria dos processos.

Outro fator levado em consideração na escolha do indicador para avaliação do desempenho global de um equipamento são suas características descritas na literatura voltadas a uma visão holística do sistema organizacional – de modo que, o setor de manutenção seja integrado ao sistema de operação mediante avaliação das práticas de gestão de equipamentos para identificar interfaces de melhorias.

### 3.1 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE)

O indicador OEE, do inglês *Overall Equipment Effectiveness*, foi desenvolvido pelo Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM), órgão máximo da disseminação da metodologia TPM (Total Productive Maintenance) no mundo (PALMEIRA, 2002 apud BIASOTTO, 2006) e onde o indicador teve origem através da figura de Nakajima, pioneiro do sistema. A política de manutenção TPM não é simplesmente manter os ativos trabalhando, mas sim analisar o desempenho de cada equipamento e avaliar se é possível aumentar sua produtividade, gerenciando-a, buscando a melhoria de processos, eliminação de quebras e desperdícios de recursos.

O JIPM oficializou como calcular o OEE, e indicou que ele deve ser capaz de responder a três perguntas fundamentais dentro do meio organizacional:

- Com que frequência os meus equipamentos ficam disponíveis para operação?
- O quão rápido estou produzindo?
- Quantos produtos foram produzidos e não geraram perdas de produção?

Basicamente, como abordado por Slack et al (1997) apud Santos (2009), o OEE faz medições em três aspectos: tempo disponível para produzir; velocidade ou taxa de produção do equipamento e qualidade dos produtos ou operações produzidas. Esses três fatores principais são as partes componentes da eficiência global do equipamento (OEE) e quando afetados através das perdas abordadas pela TPM, comprometem diretamente a eficiência dos equipamentos ou dos sistemas de produção. (BIASOTTO, 2006).

Reconhecendo a importância dos critérios acima e assumindo que eles influenciam nas condições de uso dos ativos, o OEE é então, matematicamente, o produto da disponibilidade, desempenho e qualidade do equipamento na sua forma percentual, e originalmente considera o que Nakajima (1988) chamou de “6 grandes perdas dos equipamentos”, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Fatores de Nakajima para determinação do OEE.

		<b>TEMPO TOTAL</b>						
<b>OEE% = Disponibilidade% x Performance% x Qualidade%</b>	<b>Disponibilidade = B/A</b>	<b>A</b>	<b>TEMPO PROGRAMADO PARA PRODUZIR</b>		Paradas não Planejadas	Horário não alocado		
		<b>B</b>	<b>TEMPO PRODUZINDO</b>		<b>6 Grandes Perdas</b>	Horário de não responsabilidade da equipe de produção	Horário em que a empresa está com as portas fechadas	
	<b>Performance = D/C</b>	<b>C</b>	<b>PRODUÇÃO TEÓRICA</b>					PERDAS DE DISPONIBILIDADE: quebra/afalha, setup/ajustes
		<b>D</b>	<b>PRODUÇÃO REAL</b>					
	<b>Qualidade = F/E</b>	<b>E</b>	<b>BOAS + RUINS</b>					
		<b>F</b>	<b>BOAS</b>		PERDAS DE QUALIDADE: refugos de partida, refugos de produção			

Fonte: Adaptado de Santos (2009).

Do tempo total de um equipamento, é considerado para cálculo do indicador apenas o tempo que é de responsabilidade da equipe de produção. Ou seja, o tempo que o equipamento não produziu devido à empresa não estar em seu horário de funcionamento, ou aquele tempo que o equipamento não produziu, apesar de estar no horário de trabalho, por razões alheias à equipe de produção, tal como horas utilizadas para manutenção preventiva programada e falta de demanda, não entram no cálculo do OEE. Retirando estes tempos do tempo total, fica o

tempo em que a equipe de produção tem para produzir o que precisa ser produzido, ou seja, o tempo onde é realizado o programa de produção, e é com base neste tempo que se calcula o OEE.

Para melhor entendimento, explica-se detalhadamente as equações dos três principais fatores da OEE da seguinte forma:

- **Índice de disponibilidade:** expressa a relação percentual entre o tempo em que o equipamento operou e o tempo que tinha disponível para operar, conforme Equação 1:

$$Disp (\%) = \frac{\text{Tempo Produzindo}}{\text{Tempo total} - \text{paradas não planejadas pela equipe de operação} - \text{horário não alocado}} \cdot 100 \quad (1)$$

- **Índice de desempenho operacional:** compara a quantidade produzida com a quantidade teórica que poderia ter sido produzida enquanto o equipamento estava em operação; é a relação percentual entre o tempo de ciclo real do equipamento quando o mesmo está em operação e o tempo teórico de ciclo em que o equipamento foi planejado, conforme Equação 2. Esse índice é normalmente afetado por reduções intencionais na velocidade de operação dos equipamentos, por pequenas paradas não registradas, por espera de algum recurso faltante ou por bloqueio causado por algum outro recurso à frente no fluxo de produção.

$$Desempenho(\%) = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Teórica}} \cdot 100 \quad (2)$$

- **Índice de qualidade do produto:** expressa a capacidade de fazer o produto corretamente na primeira vez. Relaciona percentualmente, a quantidade de peças refugadas e retrabalhadas com a quantidade total de peças produzidas que atendem os padrões de qualidade, conforme Equação 3:

$$Qualidade(\%) = \frac{\text{Produção boa}}{\text{Quantidade total produzida}} \cdot 100 \quad (3)$$

Não há um consenso sobre qual é o índice mínimo ideal de OEE, e, na literatura encontram-se valores desde 30% até 85%. Hansen (2006) propôs a classificação do OEE conforme ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos valores percentuais de OEE.

Valores de OEE	Classificação
OEE < 65%	Inaceitável
65% ≤ OEE ≤ 75%	Aceitável
75% ≤ OEE ≤ 85%	Muito bom
OEE > 85%	Classe mundial

Fonte: Hansen (2006, p. 45).

Ainda que existam literaturas com diversos valores sugestivos para o indicador OEE, é importante desmistificar a ideia de que se deve avaliar o sucesso ou insucesso de uma organização com base em um único valor, até porque aquilo que é considerado ideal varia de autor para autor e de empresa para empresa. Realizando simulações, Borris (2006) concluiu que uma perda em qualquer um dos três fatores pode afetar drasticamente o valor do OEE. A título de exemplo, se uma empresa alcança 85% de resultado para os três indicadores, fica com um OEE de apenas 61%. Ou ainda, se dois dos indicadores alcançarem um valor alto e o terceiro um valor baixo, o valor do OEE se tornará baixo. De modo que, a vantagem do OEE, nesse caso, é chamar a atenção para a melhoria potencial de um dos níveis em específico, o que evidência a relevância da análise individual dos três componentes presentes na métrica.

Note-se que o cálculo do OEE sugerido por Nakajima (1988) não leva em consideração fatores que reduzem a utilização da capacidade do equipamento e que, se consideradas no cálculo, possibilitariam uma análise mais aprofundada das oportunidades de ganho existentes neste. Jeong e Phillips (2001) destacam que a definição original do OEE não é apropriada para as indústrias de capital intensivo sob foco da análise de tempos de carga. Nessas análises, a equação do OEE desconsidera, por exemplo, os tempos de manutenção preventiva e refeições dos operadores, bem como tempo ocioso por falta de demanda. Por isso, a partir das 6 grandes perdas de Nakajima (1988), iniciou-se uma busca de uma adequação do indicador que cobrisse as principais causas de paradas de um equipamento para que assim sua aplicação permitisse traçar ações de melhorias mais abrangentes.

A literatura relacionada está repleta de adequações diferentes na estrutura original do OEE a fim de integrar atividades, funções e processos e compará-los em alguns níveis. Porém, não há um consenso sobre a magnitude dos diferentes tipos de perdas, nem sobre seus motivos. Portanto, é apropriado formular um modelo baseado em hipóteses de paradas para os principais fatores que influenciam a eficiência do ativo que se deseja avaliar. Reconhecendo que as três parcelas do cálculo do OEE podem ser afetadas por estratégias do setor de manutenção, buscou-se na literatura autores que introduziram na estrutura de medição do OEE uma adequação útil que fornecesse uma linha de orientação holística do equipamento, integrando manutenção – entendendo a importância da eficácia do gerenciamento de ativos para uma alta disponibilidade – e operação (responsável pelo uso do equipamento), sem se afastar da estrutura original de cálculo apresentada por Nakajima (1988).

Em seu artigo, Jeong e Phillips (2001) propuseram um esquema de classificação de perdas importantes de equipamentos de indústrias de capital intensivo. Deste modo, e levando em consideração uma limitação na obtenção de dados para realização do estudo, oito das dez classificações elencadas pelos autores foram consideradas para a obtenção da estrutura adaptada do indicador OEE, sendo elas:

- 1) Hora não programada: duração para a qual o equipamento não está programado para operar. Este período inclui almoço, férias, feriados, etc.
- 2) Tempo de manutenção programada: tempo gasto para manutenção preventiva do equipamento.
- 3) Tempo de manutenção não programada: tempo gasto para resolução de avarias (falha mecânica, elétrica ou demais sistemas do equipamento).
- 4) Tempo de instalação e ajuste: tempo gasto na instalação e ajuste de operação (checklist de operadores, regulagem de parâmetros).
- 5) Tempo de inanição WIP: tempo em que o equipamento está disponível para operar, mas não há demanda.
- 6) Tempo ocioso sem operador: tempo para o qual o equipamento está disponível para operar, há demanda, porém não há operador disponível.
- 7) Perda de velocidade: perda de tempo devido ao equipamento que opera abaixo da velocidade especificada. Ou, todas as ocorrências que impossibilitam produzir à velocidade máxima especificada para o produto.
- 8) Perda de qualidade: tempo durante o qual ocorrem movimentos errados e/ou retrabalhos.

Com base nessa referência, assume-se a configuração proposta apresentada na Figura 4, onde designa-se o indicador adaptado e OEE-8. Basicamente, ocorre a inclusão do tempo de inatividade por manutenção planejada (item 2 da lista) no horizonte total de tempo planejado, distinguindo este do tempo de inatividade não planejado e possibilitando uma análise mais realista do quanto a manutenção contribui para a produtividade da planta.

Figura 4 – Estrutura adaptada do indicador OEE-8.

		<b>TEMPO TOTAL</b>	
<b>OEE% = Disponibilidade% x Performance% x Qualidade%</b>	Disponibilidade = B/A	<b>A</b>	<b>TEMPO PROGRAMADO PARA PRODUZIR</b>
		<b>B</b>	<b>TEMPO PRODUZINDO</b>
	Performance = D/C	<b>C</b>	<b>PRODUÇÃO TEÓRICA</b>
		<b>D</b>	<b>PRODUÇÃO REAL</b>
	Qualidade = F/E	<b>E</b>	<b>BOAS + RUINS</b>
		<b>F</b>	<b>BOAS</b>
		<b>PERDAS DE DISPONIBILIDADE:</b> Paradas de manutenção planejada (preventiva), almoço, feriado	<b>PERDAS DE DISPONIBILIDADE:</b> tempo de manutenção não planejada (corretiva), setup/ajustes
		<b>PERDAS DE PERFORMANCE:</b> velocidade reduzida, pequenas paradas ( sem demanda e sem operador)	<b>8 PERDAS OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO</b>
		<b>PERDAS DE QUALIDADE:</b> refugos de partida, refugos de produção	

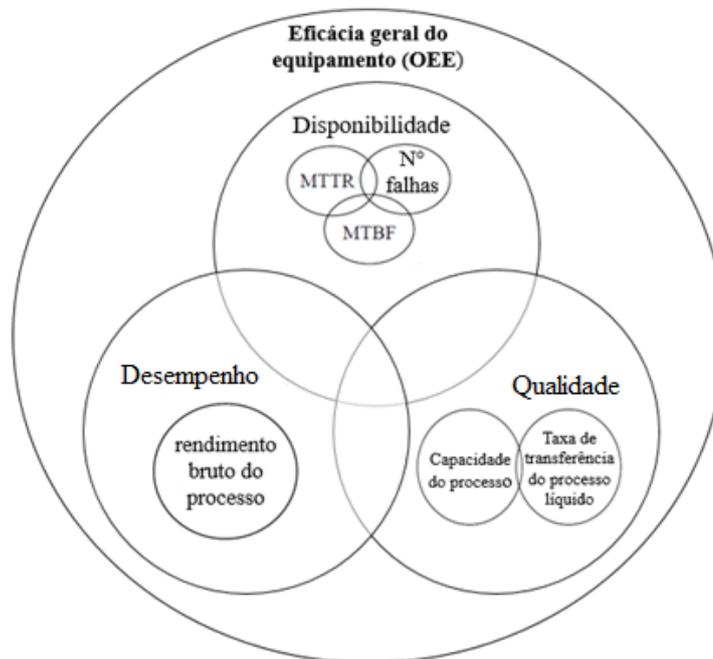
Fonte: Adaptado de Santos (2009).

Suehiro (1992) apud Jeong e Phillips (2001) mostrou que o tempo de pequenas paradas e de paradas ociosas é de 20 a 30% do valor de OEE na maioria das linhas automatizadas, e Leachman (1995) apud Jeong e Phillips (2001) observou que o tempo de inanição WIP (item 5 da lista) e o tempo ocioso sem operador (item 6) foram os mais significativos componentes de pequenas paradas. Como consequência, ambos são considerados neste trabalho. Vale ressaltar que, segundo Jeong e Phillips (2001), o tempo de inanição WIP é principalmente causado pela diferença na capacidade de produção entre antecessor e processos sucessores. Os conceitos para tempo de instalação e ajuste (item 4),

perda de velocidade (7) e perda de qualidade (8) correspondem à abordagem original de Nakajima (1988).

Neely et al. (1995), sugerem que todos os sistemas de medição de desempenho consistem em várias medidas individuais de desempenho. Desta forma, será realizada a análise isolada de cada métrica que constitui o indicador OEE-8. A Figura 5 mostra os elementos individuais do sistema de avaliação de desempenho e sua relação com a medida de desempenho OEE-8.

Figura 5 – Sistema de avaliação de desempenho.



Fonte: Adaptado de Neely et al. (1995).

Isto posto, a análise da métrica disponibilidade do indicador OEE-8 terá maior enfoque no presente trabalho – uma vez que o objetivo geral é reconhecer a eficácia de um projeto de manutenção consolidado mediante técnicas de monitoramento de estado na busca por melhores resultados de disponibilidade operacional dos seus equipamentos para realizarem suas funções requeridas. Ademais, a literatura especializada cita a disponibilidade operativa como um dos principais fatores dos objetivos estratégicos da manutenção.

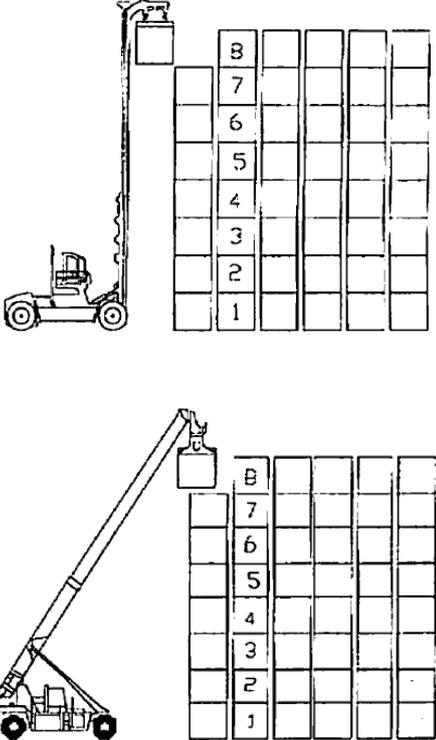
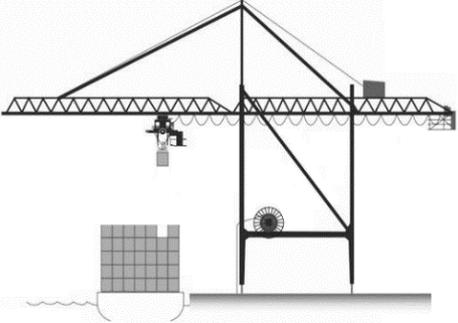
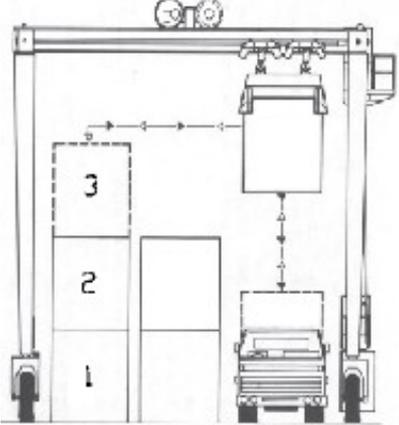
#### **4 EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA EM TERMINAIS PORTUÁRIOS DE CONTÊINERES**

A infraestrutura portuária permite criar uma transferência rápida e eficiente das cargas para os locais de origem e destino. Uma vasta gama de equipamentos de transporte é usada para levar as mercadorias de um lugar para outro e estão ligados de forma direta com a produtividade e capacidade dos terminais e dependem do tipo de carga movimentada. Um terminal de contêineres é caracterizado pelo manuseio de unidades únicas – contêineres – focando no transbordo, transporte e armazenamento dessas mercadorias utilizando equipamentos específicos. Esses equipamentos são, na maioria das vezes, os responsáveis por realizarem o maior esforço e trabalho, necessitando, desta forma, maior atenção por parte dos gestores de manutenção desses ativos. Nessa perspectiva, os principais tipos de equipamentos de movimentação de contêineres geridos pelo departamento de manutenção, de acordo com Martins e Paura (2019), são descritos brevemente no Quadro 2.

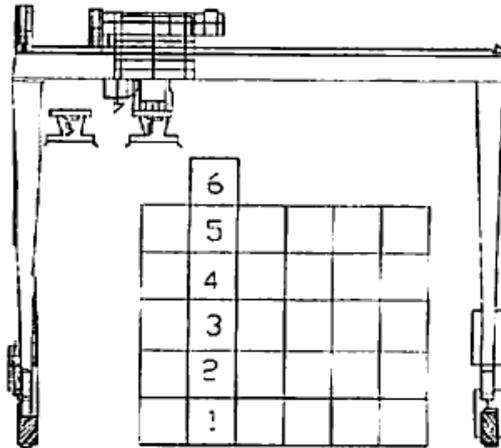
Esses equipamentos de movimentação de carga possuem grande influência na produtividade do setor portuário devido à importância da sua capacidade nominal: movimentação de uma mercadoria específica em condições operacionais próximas do ótimo (UNCTAD, 1987). Sua produtividade, medida em termos de movimentos por hora, gera receita e agrega valor ao sistema, abrindo uma porta com vantagem competitiva que pode aumentar significativamente o crescimento e a lucratividade portuária. (BURNS, 2014). De modo que, do ponto de vista financeiro, uma análise de eficiência deve ser realizada em equipamentos que agregam valor ao processo.

Isto posto, e considerando os equipamentos abordados no Quadro 2, Zhang et al. (2002) caracterizam os guindastes de pórtico sobre pneus (RTG) como gargalo no processo de manuseio de contêineres por desempenharem papel importante na continuidade das atividades de um terminal portuário de forma eficiente, visto que a produtividade é limitada à sua velocidade de operação. Além do mais, como sugerido por Furmann (2002), a aplicação de indicadores para a verificação da eficiência dos procedimentos de manutenção deve ser realizada em equipamentos gargalos onde há alto grau de risco de falhas devido ao grande volume de trabalho despendido nas suas tarefas. Desta forma, define-se o equipamento de estudo para o presente trabalho.

Quadro 2 – Equipamentos de movimentação de contêineres.

<p><b>Empilhadeiras:</b> Equipamentos apoiados sobre rodas, destinados aos trabalhos de elevação, transporte e empilhamento de cargas. As empilhadeiras menores, que atuam com dois garfos frontais paralelos, possuem menor capacidade de elevação de carga, movimentando pallets, sacarias e carga geral. (MORAES, 2017). Para a manipulação de contêineres com cargas, faz-se o uso das empilhadeiras de grande porte conhecidas como Reach Stackers, com capacidade maior de elevação de carga; enquanto que as empilhadeiras chamadas de Empty Loader movimentam contêineres sem carga.</p>	
<p><b>Ship to Shore:</b> Também conhecido como portêiner, é um guindaste portuário de grande dimensão instalado na área do cais. Com spreader acoplado, segurando e suspendendo os contêineres, o portêiner cumpre a crucial tarefa de embarcar e desembarcar contêineres do navio.</p>	
<p><b>Terminal Tractor (TT):</b> Chamado de chassi por Moraes (2017), é utilizado para deslocamento do contêiner dentro da área portuária. São caminhões com equipamentos de rolamento para tração de atrelados e possíveis de movimentos giratórios.</p>	

**Rubber Tyred Gantry (RTG):** Também chamado de transtainer, são guindastes de pórticos móveis destinados a movimentação de contêineres no pátio de armazenagem de um porto. Seu deslocamento faz-se sobre rodas ao longo das pilhas de contêineres, oferecendo assim o design ideal para o fluxo de tráfego dos demais veículos e para o máximo espaço de armazenamento. Com um RTG é possível recolher um contêiner de uma pilha, do solo, de um trailer ou de um vagão, e depositá-lo no chão, na pilha de contêineres, sobre o trailer ou sobre um vagão. Segundo Moraes (2017), existem variações na capacidade de empilhamento, ou seja, altura das pilhas de contêineres. Normalmente a capacidade de empilhamento é de 3 a 4 alturas, sendo que há transtêineres que permitem a sobreposição de até 5 contêineres.



Fonte: Adaptado de Magalhães (2011).

## 5 ÓLEO LUBRIFICANTE PARA MOTOR

Como mencionado em seções anteriores, a prática de manutenção preventiva por análise do óleo lubrificante, apesar de ser colocada apenas como uma das técnicas disponíveis para determinar as condições de um equipamento, certamente produz informações que contribuem para o gerenciamento das práticas de manutenção em busca de melhorias.

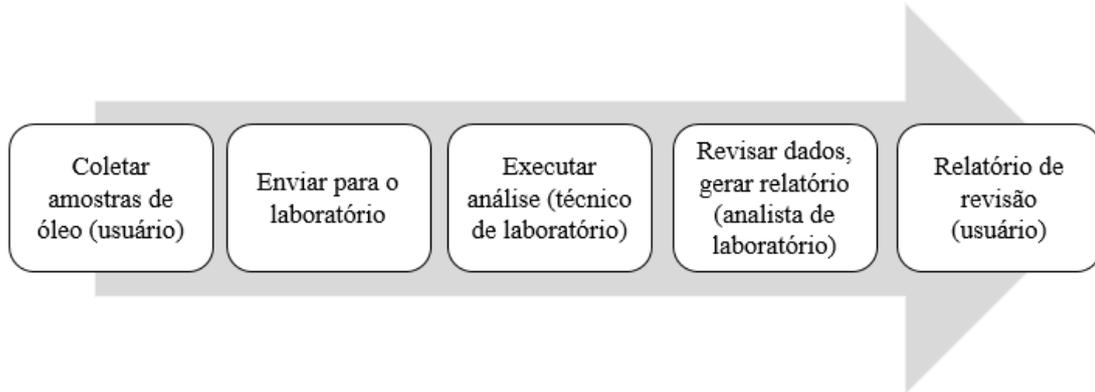
A própria natureza do serviço de um lubrificante significa que os lubrificantes se deterioram durante o tempo de serviço. Segundo Abner Jr (1983), a deterioração do lubrificante é a perda de capacidade de um lubrificante para desempenhar efetivamente a função pretendida. Um óleo usado pode ficar muito sujo ou viscoso para uso posterior. Pode tornar-se corrosivo para os componentes do sistema ou formar depósitos prejudiciais. Os aditivos necessários compostos no lubrificante podem ficar esgotados. A contaminação por materiais abrasivos ou corrosivos pode causar danos graves ao equipamento, e às vezes os contaminantes agem como agentes catalíticos acelerando a decomposição química do lubrificante. Esses são alguns dos principais parâmetros responsáveis pela deterioração de um óleo lubrificante e sua perda de eficiência, que monitorados reproduzem a condição do lubrificante. Assim, se houver uma boa caracterização do seu estado, é possível adequar as intervenções de manutenção preventivas programadas.

A deterioração do lubrificante ocorre ao longo de sua vida útil e geralmente é uma função do tempo de serviço, da temperatura do sistema, taxa de reposição e das condições ambientais em que o equipamento está operando. Uma das maneiras mais comuns de executar a análise de óleo em serviço é através da terceirização para laboratórios privados. A Figura 6 ilustra um fluxo de processos típico que envolve um usuário do setor de manutenção coletando amostras de óleo dos equipamentos, a intervalos determinados e enviando-as para um laboratório; posteriormente, técnicos de laboratório realizando testes de análise de óleo solicitados (seguindo as determinações de normas) e um analista revisando os dados e fornecendo recomendações. O relatório é então enviado à equipe de gerenciamento de manutenção para revisão e, se necessário, são executadas ações de manutenção. (ZHAO, 2014).

Segundo Kardec e Nascif (2009), se o lubrificante mantém suas características pode continuar em uso, e a condição de lubrificação adequada está garantida sob esse aspecto. De modo que, quando um limite está próximo ou quando é atingido, o diagnóstico possibilita a

preparação e o planejamento de uma intervenção preventiva com consequências muito menos sérias do que a intervenção corretiva. (MONCHY; VERNIER, 2000).

Figura 6 – Fluxograma de processo de análise de óleo terceirizada.



Fonte: Adaptado de Zhao (2014).

Monchy e Vernier (2000), afirmam que a frequência da coleta de amostra é realizada com base em horas de operação do equipamento e inicialmente segue as recomendações do manual do fabricante. Para Kardec e Nascif (2009), se em uma determinada periodicidade o óleo não acusa qualquer alteração nas suas características básicas, é razoável melhorar o plano de intervenção preventivo e aumentar um pouco o intervalo. Outro ponto destacado por Mobley (2008), e que serve de motivação para esta prática, envolve a redução de estoque e descarte do óleo lubrificante.

Conforme afirma Totten (2006), a abordagem para a troca de lubrificante baseada em uma deterioração controlada, assume os dois tipos de manutenção preventiva:

- **PROGRAMADA:** Um período definido de tempo de substituição do lubrificante com base no conhecimento e domínio da lei de degradação do equipamento, sem levar em consideração o estado real do lubrificante. O costume e a prática mostram que o intervalo de serviço definido é suficiente para garantir que não ocorra desgaste excessivo – um princípio de precaução. A questão é que o lubrificante é substituído por uma quantidade substancial de “vida útil” restante, tendendo, portanto, a desperdiçar recursos;
- **PREDITIVA:** No outro lado, uma avaliação quantitativa do estado do lubrificante, amostrando a intervalos regulares e monitorando parâmetros que forneçam uma avaliação coletiva da condição do lubrificante, “monitoramento da condição”. O

banco de dados criado ao longo do tempo tem valor no longo prazo e está preocupado com as tendências dos parâmetros do lubrificante, como concentrações de metais desgastados, viscosidade e níveis de partículas. Para um programa completo de monitoramento de condições, o lubrificante é substituído quando sua condição atinge um limite inferior de parâmetros agregados e considera-se inadequado ou quase inadequado para a finalidade de lubrificar e proteger o sistema mecânico.

O objetivo no final do período de serviço deve ser que o lubrificante ainda esteja “na categoria”; portanto, dentro da especificação, e que o equipamento, bem como seus subsistemas, não tenha sofrido “desgaste excessivo” ou danos em seus componentes. Entende-se ainda que, se por um lado há uma perda pelo descarte do lubrificante com alguma vida útil na manutenção programada; existe um custo adicional pelas análises do lubrificante na manutenção preditiva – e a decisão de qual tipo de manutenção adotar também deve considerar estes custos.

Mobley (2008) ressaltou a importância da técnica de análise do óleo em um programa de manutenção preditivo do ponto de vista financeiro. O autor afirma que nas empresas de médio e grande porte, uma redução no número de trocas de óleo e conseqüentemente de níveis de estoque de insumos (incluindo os filtros) necessários pode resultar em uma redução anual considerável nos custos de manutenção. Corroborando com o que foi dito por Rosa (2006) anteriormente na Seção 2.2, Monchy e Vernier (2000) afirmam que no âmbito da produção, a redução nas intervenções preventivas para troca de óleo lubrificante tende a diminuição de paradas dos equipamentos, proporcionando maior disponibilidade para utilização e produtividade do equipamento nas operações.

A adoção da manutenção preventiva por condição de óleo lubrificante, aliada a um bom diagnóstico baseado em análises reais de amostras destes, podem auxiliar significativamente o gerenciamento da manutenção. Dentro deste contexto, Mobley (2008) chama atenção para uma questão fundamental: o benefício das análises do óleo é alcançado ao passo que as amostras são colhidas e os dados contabilizados. A técnica fornece uma grande quantidade de informações nas quais se pode basear as decisões de manutenção; no entanto, grandes retornos raramente são possíveis sem um programa consistente de investigação. De modo que, justifica-se a importância de um programa de análises com treinamento adequado dos responsáveis pelas atividades correspondentes, além de ser necessária uma comunicação

imediate entre laboratório e manutenção e demandar investimentos especiais, devendo ser realizado com bastante rigor, organização e racionalização, para que os resultados das análises sejam bem utilizados.

Por fim, vale ressaltar que a substituição do óleo lubrificante dentro dos prazos estabelecidos pelo fabricante só pode ser desprezada diante de um plano de controle do estado deste óleo, que acompanhe as suas características por análises e permita a modificação da periodicidade da sua troca. Este procedimento assegurará que o ativo trabalhe adequadamente lubrificado.

## **6 APLICAÇÃO DE INDICADOR DE MANUTENÇÃO PARA AVALIAR A EFICÁCIA DE ALTERAÇÕES DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE ÓLEO DE MOTOR**

O terminal portuário de contêineres de Itapoá iniciou suas operações em junho de 2011 e desde então é considerado um dos terminais mais ágeis e eficientes da América Latina e um dos maiores e mais importantes do País na movimentação de cargas containerizadas. Localizado no litoral norte do estado de Santa Catarina, estrategicamente posicionado entre as regiões mais produtivas do Brasil que contemplam importadores e exportadores dos mais diversos segmentos empresariais, além de integrar a Baía da Babitonga que assegura condições favoráveis para a atracação dos navios. O Terminal está entre os maiores terminais portuários de contêineres do Brasil, tendo potencial de movimentação de 1,2 milhões de TEUs (Twenty Foot Equivalent Units, i.e, equivalente em unidades de contêiner de 20 pés) por ano em um pátio de 250 mil m<sup>2</sup>. Na sua atual configuração, o Porto Itapoá possui dois berços de atracação que somam um comprimento total de 800 metros de comprimento por 43 metros de largura, e uma profundidade natural de 16 metros – que permite a atracação simultânea de dois navios Super Post Panamax. (ITAPOÁ, 2020).

Para alcançar níveis elevados de competitividade é fundamental o investimento tecnológico em equipamentos, e para isso o Terminal apresenta equipamentos de última geração, que resultam em ganhos de produtividade e segurança operacional. O pátio do Terminal é automatizado com painéis e KPI's (Key Performance Indicator, i.e., Indicador-chave de desempenho) fornecendo controle de produtividade em tempo real, e onde todas as atividades das cargas e dos equipamentos são registradas nos coletores disponibilizados para os colaboradores da operação e manutenção. O Terminal investe em uma dinâmica na logística de caminhões para melhorar o fluxo e evitar congestionamentos de tráfego – além de utilizar sistema Navis Sparcs N4 para o planejamento sincronizado de pátio e cais. (ITAPOÁ, 2020).

Devido ao crescimento das operações, e da própria demanda do mercado por terminais ágeis e eficientes, o Porto Itapoá está rumo à sua última fase do projeto de extensão física e operacional. Com a finalização do projeto de expansão, o Porto terá três berços, somando um píer de 1.200 metros, e uma área de armazenamento com capacidade quatro vezes maior que a área atual, isto é, cerca de 2 milhões de TEU's. Para isso, o Terminal dispõe basicamente dos equipamentos de movimentação de carga citados no Capítulo 4, que dão suporte às operações

de carga e descarga dos navios e a armazenagem e organização de contêineres no pátio do Terminal, ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Área de pátio do terminal portuário de contêineres de Itapoá



Fonte: Porto Itapoá (2021, p. 1).

Nesse contexto, tais estimativas de crescimento após o projeto de ampliação do Terminal justificam a busca por recursos e meios de produção disponíveis para o alcance e superação das metas estabelecidas pela organização – onde o setor de manutenção torna-se assim uma das atividades de apoio à produção chave neste processo, por afetar diretamente a capacidade e habilidade dos processos produtivos de uma empresa de responderem rápida e eficazmente às demandas do mercado.

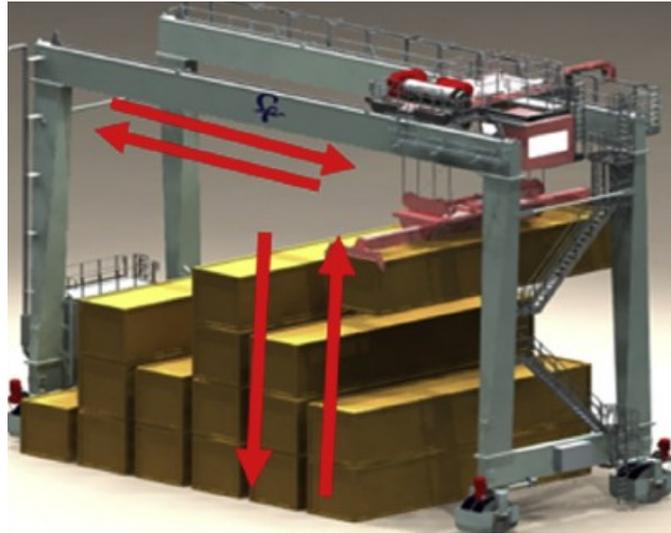
## 6.1 CARACTERIZAÇÃO DO RTG DA ZPMC

Conforme ilustrado na Figura 8, os guindastes de pórtico com pneus de borracha (RTGs) ficam sobre um espaço de blocos de armazenamento de contêineres e podem ser transferidos de bloco em bloco, oferecendo maior flexibilidade de manipulação.

Na prática, o RTG é um imenso pórtico, tipicamente com mais de 30 metros de altura, capaz de passar sobre os pátios de armazenagem e deslocar por um sistema de cabos de içamento qualquer contêiner, mesmo que ele esteja no meio da pilha, sem a necessidade de movimentar ou transportar outras unidades. De acordo com Linn et al. (2003), devido a tal mobilidade e flexibilidade de movimentação, esses equipamentos são os mais utilizados em

operações de pátio de um terminal de contêineres, onde o rendimento é medido pelo número de TEUs movimentados. Desta forma, e segundo Zhang et al. (2002), a eficiência das operações dos terminais de contêineres depende em grande parte da produtividade desses RTG e uma alta produtividade é alcançada quando seu uso é bem planejado.

Figura 8 – Um guindaste típico Rubber Tyred Gantry (RTG).



Fonte: Corral-Vega et al. (2019, p. 312).

Para potencializar o uso dos ativos, os guindastes devem ser confiáveis e com disponibilidade máxima (funcionando 24 horas por dia, 7 dias por semana), e seu gerenciamento – incluindo tarefas de manutenção e serviço – eficaz. Manutenção inadequada bem como falhas e desgastes dos elementos de trabalho são uma das causas frequentes de tempo de inatividade não planejado de um RTG e que, posteriormente, levam a uma redução da eficiência do terminal. Além disso, eficiência, desempenho, alta disponibilidade e confiabilidade são uns dos parâmetros operacionais mais importantes do ativo em questão. Portanto, é necessário o monitoramento contínuo das condições técnicas do equipamento, bem como a manutenção contínua destes. (KOCIELSKI, 2016).

O guindaste em estudo é um guindaste de contêiner Rubber Tyred Gantry, cujo fabricante é a ZPMC (Zhenhua Port Machinery Company) que segundo o próprio site na internet, é um dos maiores fabricantes de equipamentos pesados para máquinas portuárias do mundo (ZPMC, 2020). A velocidade na qual o contêiner é levantado depende do peso dos contêineres. Em princípio, de acordo com Steenken et. al. (2004), o desempenho técnico de um RTG (usando como referência guindastes de pórtico de borracha alimentado por motor

diesel) é de aproximadamente 20 movimentos/hora. Não foram encontrados manuais do fabricante ZPMC com informações de desempenho técnico.

O guindaste RTG fabricado pela ZPMC possui motor diesel modelo Cummins série QSK23 que fornece alta potência durante o ciclo de trabalho do guindaste. Os motores a diesel são bem conhecidos por sua robustez operacional e desempenho eficiente. Considerando que equipamentos portuários são submetidos ininterruptamente a condições extremas de trabalho, como exposição ao calor, umidade, salinidade, poeira abrasiva, altas pressões e altas cargas de impacto, o uso de lubrificantes de alta qualidade é fundamental para impedir paradas inesperadas e a perda de produção. Logo, recomendado para as condições acima citadas, o óleo lubrificante tipo Urania K 10w40 Petronas é utilizado nos motores dos equipamentos em estudo, garantindo maior intervalo de troca, diminuição do consumo de combustível e aumentando a vida útil do motor. (PETRONAS, 2020).

## 6.2 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO URÂNIA K 10W-40

A função principal do óleo de lubrificação é fornecer uma camada de filme contínuo entre as superfícies em movimento para reduzir o atrito e evitar o desgaste, e assim evitar a apreensão das peças correspondentes. As funções secundárias são resfriar as peças de trabalho; proteger as superfícies metálicas contra a corrosão; lavar ou prevenir a entrada de contaminantes; e manter o componente de acoplamento razoavelmente livre de depósitos. (SHARMA; GANDHI, 2008).

O óleo lubrificante atende a uma quantidade de horas de funcionamento do motor, durante as quais recebe continuamente um acúmulo de contaminantes formados pelo desgaste mecânico, ou seja, da própria deterioração dos componentes do motor, e das impurezas dos produtos contidos no ar atmosférico, o que leva à degradação nas propriedades protetoras. Uma variação física, química, propriedades elétricas (magnéticas) e óticas alteram as características do óleo lubrificante.

Em geral, as razões da deterioração do lubrificante são oxidação, contaminação por partículas de desgaste e contaminação da água. Os parâmetros que descrevem o desempenho incluem viscosidade, contagem de partículas, teor de água, e assim por diante. Os autores argumentam que a viscosidade é uma das propriedades mais importantes de um óleo lubrificante. Totten (2006) define a viscosidade como a resistência que um fluido oferece ao seu próprio movimento, aspectos importantes que caracterizam um óleo lubrificante. Uma

viscosidade baixa reduz a força do filme de óleo, enfraquecendo sua capacidade de impedir o contato de metal com metal. Em oposição, uma viscosidade alta pode impedir o fluxo do óleo para locais vitais na estrutura de suporte de rolamentos, reduzindo sua capacidade de lubrificação.

Em tese, a oxidação do óleo é um processo químico da reação do lubrificante com o oxigênio e tem como consequência, formação de segmentos, corrosão do metal ou aumento da viscosidade do lubrificante (espessamento do óleo). A maioria dos lubrificantes contém inibidores de oxidação. No entanto, quando os aditivos são usados, a oxidação do próprio óleo começa. A abrasão é o desgaste consequente da fricção entre superfícies de contato. Isto tanto pode ocorrer lentamente, se o desgaste for normal, ou rapidamente, se a lubrificação for insuficiente. (TOTTEN, 2006).

A Figura 9 ilustra as funções desempenhadas pelo óleo lubrificante Urania K 10w40 Petronas, utilizado nos equipamentos RTGs estudados.

Figura 9 – Recursos e benefícios do óleo lubrificante Petronas tipo 10w40 sintético.

 <b>Alto índice de viscosidade</b>	 <b>Proteção a baixas temperaturas</b>	 <b>Alta proteção antidesgaste</b>	 <b>Alta filtrabilidade a seco e molhado</b>
Garante desempenho e proteção superior em uma ampla faixa de temperatura	Garante a devida proteção de componentes do equipamento nas partidas a frio	Protege componentes do equipamento contra desgaste excessivo proporcionando longa vida útil	Mantém um alto nível de eficiência dos filtros sem gerar quedas de pressão indevidas, aumentando assim a vida útil dos filtros

Fonte: Petronas (2020, p. 1).

Em específico, o óleo lubrificante Urania K 10w40 Petronas auxilia no controle de formação de depósitos para uma maior vida útil do motor, prevenindo o desgaste por abrasão e oxidação, mantendo a viscosidade ideal por mais tempo, logo garantindo o funcionamento do motor por mais tempo. Portanto, os lubrificantes modernos de alto desempenho têm uma atuação muito mais importante do que simplesmente reduzir o atrito e o desgaste. Os lubrificantes de última geração podem também controlar a formação de depósitos, contaminantes suspensos, proteger da corrosão, limpar componentes e manter a temperatura de operação correta.

### 6.3 ESTUDO DE MELHORIA DO PLANO DE MANUTENÇÃO (PROGRAMA 500HORAS)

A garantia da qualidade dos processos de operação de carga portuária para obter maior receita e vantagem competitiva, está diretamente ligada à manutenção dos equipamentos da companhia – pois é através desse setor que os ativos são mantidos em condições de pleno funcionamento. Assim sendo, e tomando como compromisso o zelo dos ativos, a equipe de manutenção do Porto Itapoá trabalha para prolongar o tempo de vida útil de seus equipamentos, refletindo no aumento da disponibilidade e conseqüentemente na produtividade do setor portuário. Sua gestão é pautada em normas e especialistas da área, que através de técnicas de manutenção e ferramentas de controle dos processos (indicadores de desempenho e custo de manutenção) mensuram a efetividade de suas práticas, para assim atingir segundo Paura e Martins (2019), a principal meta da área: maior disponibilidade dos equipamentos com a melhoria do uso de seus recursos.

A concepção da manutenção é materializada na forma de plano de ações de manutenção desenvolvido conjuntamente com um programa de gestão (FUENTES, 2006). O departamento de manutenção do Porto Itapoá conta com uma equipe de planejamento e controle de manutenção e outra para a gestão da manutenção. A primeira tem como responsabilidades organizar as demandas do setor, acompanhar os desvios do processo, realizar planos de ação, implantar melhorias quando possível e rever o processo se necessário; enquanto a segunda acompanha os resultados dos indicadores de custo e desempenho buscando atender as metas preestabelecidas para maior disponibilidade com menor custo de suas atividades.

Assim, em 2016, fundamentados e motivados pelo que se encontra disponível na literatura (alinhado ao que foi apresentado no Capítulo 2, Seção 2.2 e Capítulo 5 deste trabalho), a equipe de planejadores e gestão de ativos do setor, enxergando potencial em técnicas de análise de estado do óleo lubrificante de motor que pudessem dar suporte a melhorias no planejamento de intervenções para manutenções preventivas, se propuseram em estabelecer e implantar um programa de monitoramento regular das condições do óleo lubrificante do motor de seus ativos que impactasse na produção – visando primordialmente a melhoria da disponibilidade e produtividade do equipamento nas operações – e no âmbito financeiro, com uma redução anual considerável nos custos associados ao setor de manutenção.

Posto que um equipamento que se integra a uma linha de produção introduz nela todo o seu conteúdo tecnológico e sua necessidade de manutenção, aprimorar e modificar sua configuração original de operação, desempenho e confiabilidade intrínseca demanda grande experiência e conhecimento envolvido por parte dos gestores – bem como aplicação de técnicas de análises, introduções de novas tecnologias e novas informações. Desta forma, o projeto foi justificado considerando fatores internos, como perdas por indisponibilidade dos ativos, custo de falha com valor significativamente alto, incluindo-se aí os custos da atividade de manutenção para restaurar a função do ativo e pessoal requerido; e fatores externos, como o custo de capital investido no projeto versus retorno financeiro com a consolidação deste.

O projeto implantado pelo setor de manutenção do Porto Itapoá baseou-se em analisar a ocorrência de descarte prematuro do óleo lubrificante 10w40 utilizado em motores à combustão interna de equipamentos pesados do porto. Em síntese, o programa estudou o comportamento da vida útil do óleo do equipamento – utilizando-se de análises laboratoriais das suas propriedades físicas e químicas – conforme horas trabalhadas para determinar o tempo da manutenção programada inicialmente especificado com base nas recomendações do fabricante do equipamento. O setor iniciou o projeto em um equipamento piloto da linha de operação do pátio, citado no Capítulo 4 como Terminal Tractor (TT), e posteriormente, ao ter a estabilidade pretendida alcançada, foi replicado para os demais equipamentos de movimentação de carga do pátio da organização. De certa forma, pode-se dizer que se realizou um projeto de confiabilidade do ciclo vida do óleo lubrificante do motor dos equipamentos do Terminal, visto que, segundo a norma NBR 5462 (ABNT, 1994), a confiabilidade se propõe a determinar a probabilidade de ativos desempenhar sua função de forma adequada, durante um intervalo de tempo, sob condições específicas, ao longo do ciclo de vida.

Neste momento, o plano das atividades de manutenção preventivas foi atualizado com a inclusão das coletas de amostras de óleo do motor durante 3 meses do ano de 2016. O plano passou a contemplar as coletas de óleo lubrificantes a serem realizadas no ativo e foram gerenciadas através da quilometragem de abastecimento do equipamento no momento da execução das coletas de amostras (medidas por um horímetro), que corresponde às horas trabalhadas. A avaliação da condição do óleo no Porto Itapoá utiliza-se de serviços terceirizados, pois apesar de não ser uma técnica de manutenção muito recente, necessita de ferramentas de monitoramento com um alto custo e pessoas qualificadas para a execução das atividades e análise das informações obtidas.

O processo de monitoramento do estado do óleo lubrificante do setor de manutenção do porto segue a metodologia citada no Capítulo 5, Figura 6. Resumidamente, três etapas: amostragem, laboratório e análise dos resultados. No primeiro momento ocorre a coleta de amostras de óleo lubrificante das partes desejadas do equipamento. O setor de manutenção realiza o procedimento em concordância com as melhores práticas de coleta de amostras necessárias para que os resultados sejam os mais significativos e confiáveis. De forma padronizada, o óleo é coletado com o equipamento ainda “quente”, ou seja, nas suas condições normais de funcionamento (temperatura, velocidade, ciclos e cargas). Para uma coleta rápida e fácil de amostras representativas, os fabricantes de equipamentos fornecem pontos de amostragem nos equipamentos, “zonas vivas”, que melhor representarão as condições sobre os equipamentos que se deseja monitorar.

Seguindo as recomendações do catálogo do fabricante do equipamento, durante o ano do projeto piloto, as coletas de amostras de óleo lubrificante para análises laboratoriais foram realizadas inicialmente a 250 horas de operação do equipamento. Após a coleta, para uma boa documentação e rastreamento junto ao laboratório, toda amostra é imediatamente tampada, rotulada e identificada. A etiquetagem contém a identificação do Porto Itapoá, o tipo de equipamento de onde foi extraída a amostra, data da amostragem, bem como seu ponto de retirada (no caso em questão, o motor). Devidamente etiquetadas, as amostras de óleo Urania K 10w40 são encaminhadas ao laboratório para análise, onde são realizadas análises de contaminantes no óleo. Aqui vale lembrar que para uma eficiente gestão, o setor de manutenção mantém um software de manutenção com as informações das amostras enviadas ao laboratório.

Em um segundo momento, a empresa terceirizada emite os laudos técnicos contendo indicações de condições de uso do óleo lubrificante, geralmente distinguidas em: normal (significa que o óleo está em plena condição de uso); monitorar (significa que o óleo pode ter sofrido alguma alteração de composição, porém ainda está em condição de uso); e crítico (significa que o lubrificante não está em condição de uso).

Em posse de um laudo técnico positivo para “óleo em condição de uso”, o óleo tem sua substituição postergada e continua em uso, sendo monitorado por inspeções visuais. O planejador de manutenção continua com o gerenciamento de monitoramento da condição do óleo em horas mais avançadas de operação, até que os laudos detectem alguma anormalidade nos componentes do óleo. É aqui nesse momento que se transformam os dados de análise de fluidos em informações valiosas capazes de auxiliar na tomada de decisões cabíveis. Vale

ressaltar que a análise de óleo para viabilidade do projeto precisou ser um processo de acompanhamento, devendo os dados serem armazenados em programas específicos, de modo que o seu histórico possa ser verificado e analisado com o decorrer do tempo.

Deste modo, a proposição apresentada pela área de manutenção, foi a extensão do tempo de uso do óleo lubrificante do motor de veículos abastecidos com óleo lubrificante 10w40, definindo as premissas do projeto preventivo consolidado no início do ano de 2017 e vigente até o atual ano. Evidenciando o que foi mencionado na Seção 2.2.2, de que o gerenciamento da manutenção de ativos transforma a intenção estratégica em atividades técnicas que geram decisões de otimização do processo, o plano de manutenção preventiva foi atualizando, diante das técnicas de análises do projeto piloto, para paradas a cada 500 horas de operação do ativo – garantindo com confiabilidade que o mesmo manterá suas propriedades lubrificantes por mais tempo e esperando-se que o projeto permita dentre outras, maior disponibilidade do equipamento, redução de custos diretos na manutenção (volume de óleo lubrificante consumido e filtro de reposição, por exemplo) e sustentabilidade (descarte de insumos e resíduos).

### **6.3.1 Levantamento de dados**

A principal limitação para se realizar qualquer técnica de análise quantitativa, na perspectiva do atributo de confiabilidade, está na disponibilidade dos dados necessários. Uma gestão de informações, através do armazenamento de um consistente banco de dados com o registro de processos e histórico de eventos, oferece informações mais precisas e auxiliam na tomada de decisão para melhorias e novas abordagens. A equipe de manutenção do Porto Itapoá preza pela conscientização de seus profissionais quanto à responsabilidade do registro das atividades do setor realizadas em cada equipamento, feitas através de lista de verificação de tarefas (checklist) elaboradas pelo setor de planejamento e que são registradas em um software de manutenção. Do mesmo modo, reforçando a importância da utilização dos dados coletados comentadas no decorrer deste trabalho, o setor de planejamento analisa dados, laudos e informações, organiza seus resultados e ajusta para que as ações de manutenção sejam mensuradas e revistas caso ocorra desvios dentro do processo.

O levantamento dos dados necessários para alcançar os objetivos propostos neste trabalho só foi possível porque o Terminal armazena um histórico de dados confiáveis de seus equipamentos e suas operações. No Capítulo 4, justificou-se a utilização dos guindastes de

pórtico sobre pneus (RTG) para aplicação do indicador OEE-8. Para uma margem considerável de análise entre desempenho atual com desempenhos anteriores, foram solicitados dados referentes a dois anos antes da consolidação do projeto no Terminal (2015 e 2016) e dois anos com o projeto em vigência (2017 e 2018). Os dados disponibilizados pelo Terminal portuário limitaram-se em: horas em que o equipamento ficou em operação; horas requeridas com manutenção corretiva; horas requeridas com manutenção preventiva; quantas vezes o equipamento falhou; quantidade de contêineres movimentados pelo equipamento; movimentos improdutivos realizados pelo equipamento; MTTR (média de tempo que dura um reparo) e MTBF (tempo médio entre as falhas, que é a média dos tempos disponíveis para a operação).

O ideal seria ter disponível todos os dados de tempo de paradas do equipamento presentes na estrutura adaptada do indicador OEE-8 apresentada na Seção 3.1, porém esses dados não foram disponibilizados. Assim, alguns valores de entrada, bem como ajustes requeridos para adequar-se à complexidade do indicador, foram adotados mediante consulta na literatura e informações do pessoal da área da manutenção do Porto Itapoá.

### **6.3.2 Considerações para o cálculo do OEE-8**

Após o levantamento de dados, com a finalidade de transformá-los em um conjunto de informações quantitativas para o diagnóstico do desempenho de equipamentos do tipo RTG, utilizou-se uma planilha eletrônica como ferramenta computacional para processamento dos dados.

Conforme comentado na seção anterior, a Figura 10 ilustra os valores adotados como fixos, e que se repetiram para todos os RTGs em estudo, para que se tornasse possível o cálculo do indicador OEE-8.

Em (a), para obter o valor das horas planejadas para produzir, foi considerado, segundo informação da área de manutenção do Porto Itapoá, que os equipamentos estão disponíveis para operar 24 horas por dia, 7 dias da semana; em (b), partindo do que se encontra na literatura, o tempo de inatividade planejado por almoço, reuniões, etc. e tempo de ajuste e setup, considerado por Ljungberg (1998) com base em observações de equipamentos gargalos, foram em média 5% e 8% respectivamente das horas tripuladas; e baseado nos estudos de Jeong e Phillips (2001), as paradas por tempo de inanição WIP e tempo ocioso sem operador foram considerados em média 8% das horas tripuladas; por fim, em (c), em seu

estudo sobre o uso do indicador OEE, Costa e Lima (2002) concluíram que para a definição do tempo de ciclo teórico na descrição deste indicador, o ideal é usar o tempo de ciclo planejado calculado pelo departamento de engenharia da organização para operação – e não o tempo de ciclo especificado pelo catálogo do equipamento. Como não foi possível ter acesso à informação de velocidade de projeto ou velocidade operacional real dos RTGs em estudo, a fim de adotar um valor com maior confiabilidade, utilizou-se os dados disponibilizados pelo Terminal para determinar um índice de desempenho dos equipamentos.

Figura 10 – Conjunto de parâmetros fixos para a realização dos cálculos.



Fonte: Elaborada para este trabalho.

Durante a análise, foi possível constatar a taxa de desempenho máxima registrada pelos ativos para um cenário ótimo de fatores internos e externos, assumindo este como parâmetro de movimentos por hora (MPH) teórico dos RTGs; no entanto, por motivo de sigilo o valor será ocultado.

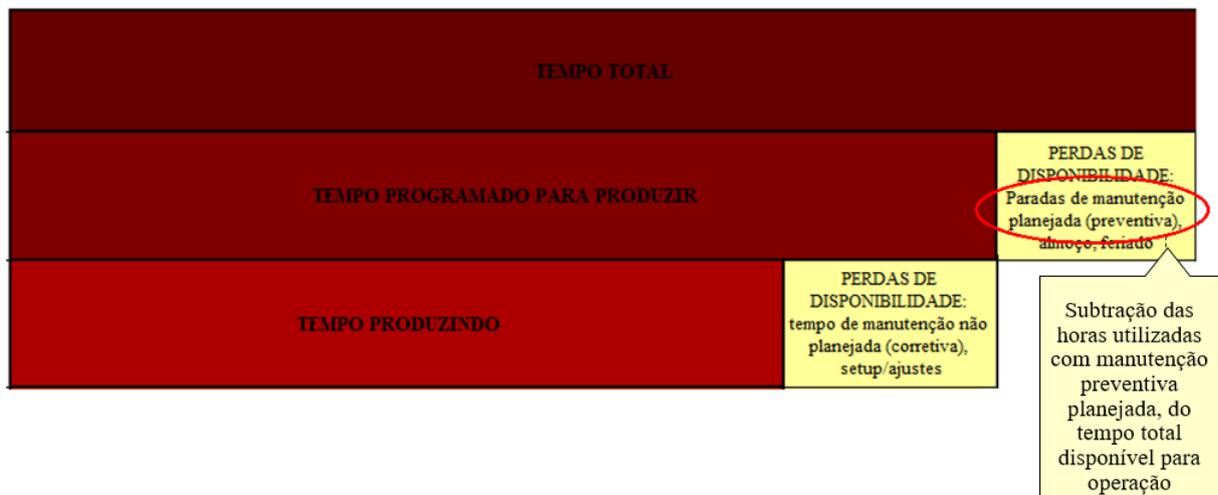
Como há um objetivo em identificar os impactos que a manutenção traz à produtividade portuária, para a avaliação da métrica de desempenho, a proposta considerada neste estudo está em ter como um bom número de movimentações total de contêineres em cada ano, isto é, a quantidade produzida é a soma dos movimentos produtivos e improdutivos realizadas pelos equipamentos RTGs do Porto Itapoá em cada ano de análise. Sendo a primeira referente a movimentos que dão condição de maximizar a utilização dos recursos do costado, e o segundo, movimentos destinados a armazenagem, remoções e organização no pátio.

Em relação a uma das limitações encontradas nesse estudo, os dados pertinentes para alimentar o cálculo da métrica qualidade não foram possíveis de disponibilização, inviabilizando a análise da influência das atividades de manutenção após o projeto para essa

métrica. Neste sentido, adotou-se o valor percentual de 100% na métrica qualidade durante os quatro anos em estudo.

Revisando os conceitos abordados na Seção 3.1, a estrutura original do indicador OEE foi adequada, incluindo o tempo de inatividade por manutenção planejada como tempo de parada planejada. Portanto, torna-se importante esclarecer que, partindo do que se encontra na literatura, onde o indicador OEE tem como base o tempo de horas planejado para produzir, é justamente nesse momento que a diferença entre os intervalos de manutenções preventivas, antes e depois da consolidação do projeto, modificam o valor dessa base de cálculo e consequentemente impactam nas horas disponíveis que o equipamento está apto para ser utilizado. Para melhor entendimento, a Figura 11 mostra a visão geral desta relação.

Figura 11 – Subtração das horas utilizadas com manutenção preventiva planejada.



Fonte: Adaptado de Santos (2009).

Feitas as considerações expostas até agora, as variáveis de estado, segundo Ventura (2018, p.31), “conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema (ou no modelo que representa esse sistema) num determinado instante de tempo, com relação aos objetos de estudo”, foram inseridas na planilha eletrônica. Para fins de simplificação na construção do modelo, foram realizadas médias aritméticas simples dos dados dos 11 modelos de RTG analisados, condensando os equipamentos em 4 amostragens com dados anuais. Em concordância com a configuração de tempo de paradas proposto na Seção 3.1, todos os valores foram rearranjados e substituídos nas equações dos indicadores de

disponibilidade (Equação 1), desempenho (Equação 2), qualidade (Equação 3) e na fórmula geral do indicador OEE-8 que é a multiplicação dessas três métricas.

Finalmente, tendo em vista o período de análise deste trabalho, no primeiro semestre de 2018 ocorreu um evento de grande impacto no Brasil – a greve dos caminhoneiros – cuja funcionalidade impactou na distribuição de recursos, bem como logística para o habitual desempenho das atividades portuárias. Com o tratamento dos dados na planilha eletrônica, e em seguida uma análise mais acurada, observou-se impactos negativos da greve durante os meses de maio e junho, portanto, para atingir o objetivo do estudo e ter resultados mais próximos da realidade, foi necessário desconsiderar tais meses.

#### 6.4 ANÁLISE DOS INDICADORES

A análise da eficácia do projeto implantado pelo setor de manutenção do Porto Itapoá, deu-se a partir do aspecto de periodicidade das ações de manutenção corretiva. Entende-se que esse valor torna-se importante pois, segundo Feeling (1997) apud Furmann (2002), é uma das condições de melhoria da disponibilidade operacional dos equipamentos para realizarem suas funções requeridas e com confiabilidade. A comparação usou a frequência de falhas inesperadas dos equipamentos, isto é, em número e intervalo, antes da consolidação do programa de manutenção preventiva 500 horas, e a taxa de falha durante o período de dois anos com o programa consolidado. A Tabela 1 apresenta uma média por ano desses valores quantificados.

Tabela 1 – Média de parâmetros da manutenção.

<b>Intervalo</b>	<b>Nº Preventiva</b>	<b>Nº Falhas</b>	<b>MTBF (Hrs)</b>	<b>MTTR (Hrs)</b>
<b>250 horas</b>	25	130	49	0,36
<b>500 horas</b>	13	96	71	0,39

Fonte: Elaborada para este trabalho, com base nos dados fornecidos pelo Porto Itapoá.

Analisando os valores da Tabela 1, note-se que, no contexto da confiabilidade, as projeções dos resultados do levantamento indicam que existiu uma redução de manutenções corretivas de aproximadamente 26%, porém cabe destacar que esse resultado pode não ser consequência do programa 500 horas principalmente por serem em sua maioria falhas de componentes eletrônicos, conforme será sinalizado mais adiante. Considerando os intervalos de

frequência de falha, como já esperado, obteve-se um aumento no tempo médio entre falhas dos equipamentos (MTBF), com uma melhoria média de aproximadamente 45%, validando mais uma vez a eficácia do projeto a partir de técnicas de monitoramento do estado e controle mecânico em um programa de gerenciamento de manutenção de ativos, além de vir ao encontro do objetivo de confiabilidade do setor de manutenção, manifestando a eficácia dos serviços da equipe nas suas tarefas e processos corretivos.

No que toca os valores de tempos médios para reparo (MTTR) alcançados pela empresa, identificou-se que permaneceram praticamente os mesmos, ou seja, em torno de 0,37 horas, aproximadamente 22 minutos, para um ativo voltar ao seu estado normal de funcionamento. Esses valores são condizentes com a visão de Borris (2006), que afirma que o MTTR é uma medida dos sistemas de suporte: habilidade da equipe técnica de manutenção, disponibilidade de peças de reposição e complexidade das falhas. A hipótese é de que a constância desse indicador reflete a capacitação e os recursos que a equipe de manutenção tem para se adaptar a este tipo de serviço, bem como sua agilidade na resolução das falhas, sem negligenciar suas responsabilidades.

Um aspecto interessante a se destacar, é que ainda que se evidencie a redução no número de manutenções corretivas, sua frequência de ocorrência possui valores relativamente altos. Segundo informações fornecidas pelo setor de manutenção do terminal em questão, de fato suas manutenções corretivas ocorrem com mais frequência em relação às preventivas, porém com pequenas durações, como observado no valor de tempo de reparo, por se tratarem muitas vezes de falhas elétricas possíveis de sanar rapidamente. Este fato condiz com o proposto por Rosa (2006), no qual foi apresentado na fundamentação teórica deste trabalho, que afirma a utilização de manutenção corretiva quando o reparo é fácil, logo a consequência da falha é pequena.

Essa forma de avaliação de perda, ou seja, porcentagem de tempo em que o equipamento está sem quebras não programadas, impacta a primeira métrica do OEE-8, indicador escolhido para a realização deste estudo, e será contemplada no parágrafo abaixo.

#### **6.4.1 Disponibilidade**

Relembrando a Figura 4 da Seção 3.1, das paradas consideradas no fator disponibilidade deste trabalho: paradas por manutenção corretiva e manutenção preventiva são as variáveis de estado variaram nos cálculos e possibilitaram a observação de mudança de estado do sistema;

as demais paradas mantiveram o mesmo valor durante os quatro anos, como explicado na seção anterior. Assim, o fator disponibilidade (e, portanto, o OEE-8) utilizados se diferem do originalmente proposto por Nakajima (1988) por incluir também as paradas programadas.

Inicialmente, chamando a atenção para a oportunidade de investigação de possíveis paradas ocultas por meio do indicador OEE-8, ao realizar os cálculos conforme o esquema proposto na Figura 4, observou-se uma queda no ano de 2016 no tempo de utilização efetivo do grupo de RTG, ou seja, uma considerável diferença entre o tempo disponível para operar, após as paradas serem subtraídas, e o tempo em que efetivamente operou, resultando em aproximadamente 1761 horas inativas. Esse valor obtido foi suficiente para pressupor que teoricamente os equipamentos não foram utilizados em sua disponibilidade total. Com base em observações nos dados disponibilizados pelo Porto Itapoá, as hipóteses plausíveis para justificar esse fato se devem a dois fatores, combinados ou não, sendo estes: capacidade operacional e falta de demanda. Ao questionar o setor de gestão da manutenção do porto, no ano de 2016 o Terminal recebeu 6 novos RTGs, ficando com um número de equipamentos maior do que sua capacidade operacional e demanda, o que levou a um rodízio entre as máquinas. Após as obras de expansão do pátio, em 2018, a utilização dos equipamentos atingiu um novo padrão de utilização, operando conforme demanda. Dessa forma, existia uma redundância dos equipamentos e, para que fosse possível uma melhor visualização e discussão da disponibilidade dos RTGs diante de tal ocorrência, o valor das horas inativas encontradas foram classificados como parada planejada.

Finalmente, os valores médios de disponibilidade obtidos do grupo de RTG em análise estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 – Média da disponibilidade dos equipamentos RTGs.

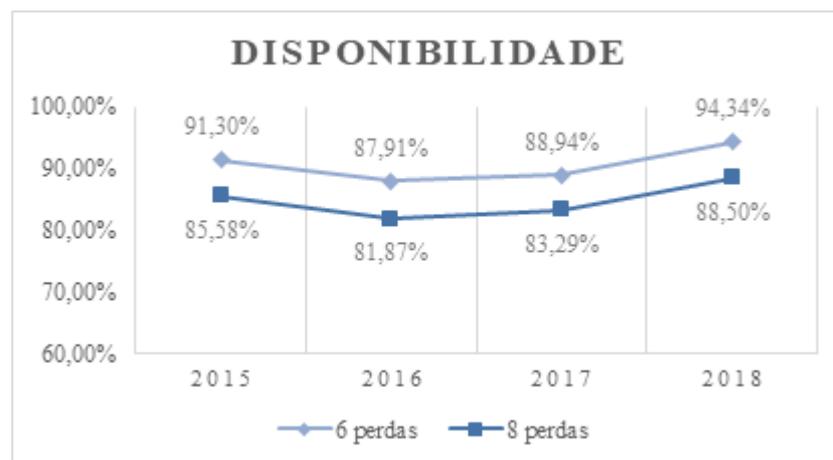


Fonte: Elaborada para este trabalho, com base nos dados fornecidos pelo Porto Itapoá.

Com base nos resultados apresentados na figura anterior, em uma visão geral do gráfico, a implantação do programa proporcionou valores de disponibilidade prósperos. Em específico, essa melhoria é mais visível na comparação entre os anos de 2015 e 2018, concluindo que o projeto auxiliou o Terminal a obter um aumento de cerca de três pontos percentuais nas horas disponíveis dos equipamentos RTGs, e sugerindo um possível crescimento para a curva de disponibilidade operacional nos anos seguintes.

A título de comparação, ao seguir a configuração apresentada na Figura 3 da Seção 3.1, onde considera as 6 grandes perdas sugeridas por Nakajima (1988), chegou-se aos resultados apresentados na Figura 13.

Figura 13 – Comparação entre as médias da disponibilidade dos equipamentos RTGs segundo Nakajima (1988) e a estrutura adaptada pelo indicador OEE-8.



Fonte: Elaborada para este trabalho, com base nos dados fornecidos pelo Porto Itapoá.

Como mencionado na Seção 3.1, o cálculo do indicador OEE proposto por Nakajima (1988) não leva em consideração fatores que reduzem a utilização da capacidade do equipamento. Confrontando as médias da disponibilidade dos equipamentos RTGs segundo Nakajima (1988) e a estrutura adaptada pelo indicador OEE-8, percebe-se uma diferença significativa – de aproximadamente 5% – que por si só demonstra a importância de uma linha de orientação holística, integrando manutenção e operação, e que levem em consideração os principais fatores que podem influenciar a utilização de um equipamento e proporcionem uma visão mais ampla na busca por ações de melhorias.

Contudo, é importante salientar que a disponibilidade dos equipamentos de uma linha de produção não garante sua continuidade em termos de desempenho e qualidade, podendo gerar análises equivocadas, visto que uma linha de produção pode passar um período sem nenhuma parada, mas trabalhar a uma velocidade menor do que deveria ou produzido um número grande de resultados com defeito. Nesse sentido, entende-se que as análises dos outros dois indicadores também afetam a eficiência da produção e devem ser realizadas.

#### **6.4.2 Desempenho**

A operação de carga e descarga de contêineres em um porto revela valores estratégicos, como a medida de velocidade dos portos brasileiros, representado pela quantidade de contêineres movimentados por hora (MPH). Teoricamente, o tempo de operação é determinado pelo manual operacional do fabricante do equipamento que fará a movimentação dos contêineres. O valor de referência de 20 MPH para o equipamento do tipo RTG proposto pela literatura, foi previamente apresentado na fundamentação teórica deste trabalho (Seção 6.1). Entretanto, como explicado na Seção 6.3.2, esse valor foi assumido mediante observações dos dados reais referentes aos equipamentos em estudo. Ainda assim, essa velocidade pode sofrer alterações ao longo de um mesmo dia, visto que o RTG é apenas um dos componentes de um terno (equipe de trabalho) de um terminal de contêiner. Um terminal portuário de contêiner é composto por uma rede de equipamentos profissionais, basta que um caminhão se atrase para levar um contêiner até o RTG para a operação de movimentação perder a velocidade.

Entre as dimensões manutenção e operação portuária, os fatores que explicam a influência pelo aspecto da manutenção é a percepção da importância que o serviço de manutenção dos equipamentos da planta gera na produtividade do complexo, ou seja, planos de manutenção eficiente, e até mesmo agilidade no atendimento, que podem evitar perdas no processo produtivo pelas paradas de manutenção. Portanto, este indicador foi utilizado para analisar como o gerenciamento de ativos por parte do setor de manutenção sugere um resultado positivo na utilização do equipamento para as atividades requeridas pela organização em questão: movimentos de contêineres.

Tomando o número de movimentos totais como um indicador de atendimento do processo operacional por parte dos RTGs, observou-se a evolução desses movimentos graças a uma maior disponibilidade dos equipamentos após a implantação do projeto. O cálculo

permitiu estimar o número de movimentos perdidos e mostra o número de unidades possíveis ou alcançáveis que poderiam ser realizados. A Tabela 2 mostra uma média de valores de movimentos totais realizados por ano, antes e depois da consolidação do projeto para os 11 RTGs em estudo.

Tabela 2 – Quantidade total de contêineres movimentados.

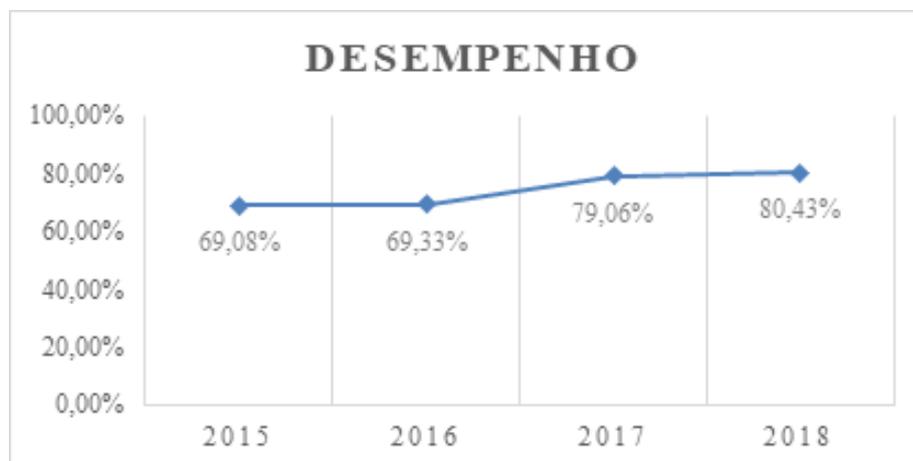
<b>Intervalo</b>	<b>Nº Contêineres Movimentados</b>	<b>Período</b>
<b>250 horas</b>	53000	Média de 2015 e 2016
<b>500 horas</b>	60751	Média de 2017 e 2018

Fonte: Elaborada para este trabalho, com base nos dados fornecidos pelo Porto Itapoá.

Com a consolidação do projeto em 2017, registrou-se um aumento de aproximadamente 13% na quantidade de contêineres movimentados no pátio do Terminal, fato que também teve como contribuição a expansão do pátio do Terminal e aquisição de novos RTGs, citado no Capítulo 6 e na Seção 6.4.1. De forma geral, à medida que os ativos se encontram mais disponíveis, as atividades destinadas a eles têm uma tendência a aumentar, o que indica menos ociosidade de operação e afeta positivamente os demais objetivos de desempenho de um terminal, como custos com perdas de operação e, diante da importância dos portos na cadeia logística, sua competitividade.

Para uma análise mais refinada, a Figura 14 apresenta os resultados da média dos movimentos totais em cada ano.

Figura 14 – Média do desempenho dos equipamentos RTGs comparado à referência obtida da literatura de 20 MPH.



Fonte: Elaborada para este trabalho, com base nos dados fornecidos pelo Porto Itapoá.

Evidenciando novamente a possibilidade de observações para possíveis melhorias através do indicador OEE-8, observa-se isoladamente o primeiro ano com o projeto consolidado (2017) que demonstra a tendência dos RTGs de executar mais atividades, ou seja, ter um melhor desempenho com os contribuintes do setor da manutenção. Apesar de corresponder às projeções de crescimento, no ano de 2018 observa-se um baixo crescimento – por volta de 1% – na movimentação de contêineres. A partir de observações dos dados disponibilizados pelo porto, no ano de 2018 os equipamentos operaram com velocidade reduzida. Levando em consideração que as prováveis paradas que diminuem a velocidade do equipamento foram consideradas nos cálculos, percebe-se que ainda assim a velocidade técnica de um equipamento portuário dentro da realidade do terminal pode ser afetada por outros fatores internos, como: particularidades operacionais do terminal portuário mediante os seus atributos (quantidade de operadores disponíveis, número de turnos, política de rotatividade dos operadores para uma mesma máquina em um dado turno), habilidades de manuseio dos operadores dos equipamentos, planejamento de operações de movimentação interna no pátio (distribuição e reposicionamento dos contêineres), capacidade operacional; e fatores externos, como a própria greve dos caminhoneiros mencionada no Capítulo anterior, além de: tempo de espera pela carreta para receber o contêiner, filas e atrasos de caminhões ou navios no costado, etc. Dentro deste contexto, esta análise leva a uma reflexão da existência de pequenas perdas ocultas que diminuem o tempo de ciclo dos equipamentos e que podem ser melhoradas se relatadas e analisadas. Outrossim, idealmente a velocidade do equipamento deve ser revisada constantemente para uma maximização da sua operacionalidade.

Vale lembrar que, no caso dos portos, pelo fato das suas características multimodais com multi-atividades complexas, não existe um método que sozinho possa fazer uma análise global de desempenho. É a união de técnicas de seus diferentes setores que pode contribuir na determinação e no avanço da eficiência de produtividade.

### **6.4.3 Qualidade**

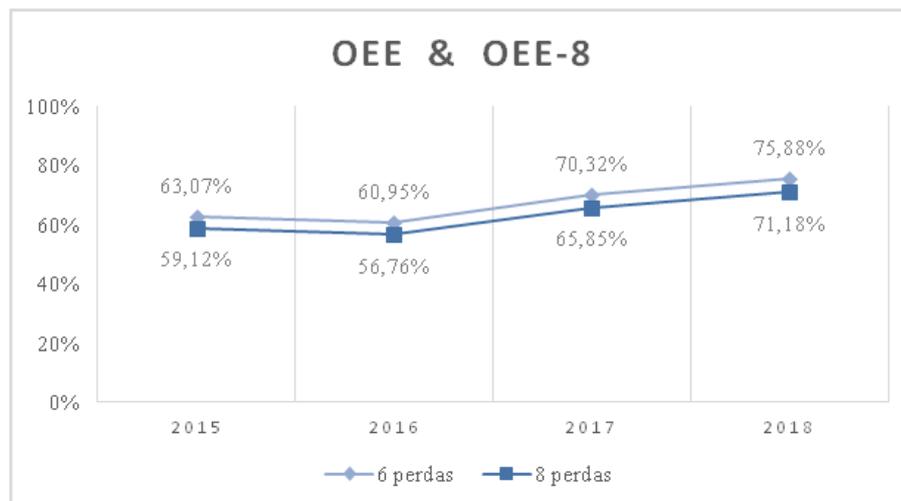
Conforme explicado na Seção 6.3.2, esta é uma etapa da análise que ficou limitada. A métrica de qualidade do indicador OEE-8, refere-se a não ocorrência de erros no processo de manuseio (içamento e translação) dos contêineres. Para o caso de se querer avaliar sob uma

perspectiva de importância por parte da área da manutenção, a análise seria fundamentada na garantia da qualidade e confiabilidade de seus serviços para garantir as movimentações livres de erros. Consequentemente, menos erros reduz o nível de refugos e retrabalhos, garantindo fluidez na produção. Deve-se lembrar que o sucesso na movimentação de contêineres envolve outros fatores além da manutenção – por exemplo, esse tipo de atividade é desempenhado manualmente por operadores, portanto há um fator de habilidade a ser levado em consideração.

#### 6.4.4 OEE-8

Os resultados da análise contendo a multiplicação dos três fatores discutidos acima podem ser exibidos graficamente através dos valores de OEE-8 (adaptado para incluir paradas programadas) para os anos que antecedem e sucedem a consolidação do projeto na Figura 15.

Figura 15 – Média da Eficiência Global dos equipamentos RTGs.



Fonte: Elaborada para este trabalho, com base nos dados fornecidos pelo Porto Itapoá.

Analisando o gráfico da Figura 15, a melhoria nas métricas de disponibilidade e desempenho aponta uma tendência de crescimento no valor médio do OEE-8 nos dois primeiros anos com o projeto preventivo em vigor, na qual uma média simples dos valores do gráfico antes e depois da consolidação do projeto, traduz um crescimento médio de 12%.

De modo geral, o estudo obteve valores considerados até “muito bons” para o OEE, se comparados com as referências encontradas na literatura e citadas na Seção 3.1.

Note-se que as referências obtiveram esses valores a partir de hipóteses das 6 grandes perdas da estrutura original do OEE, que como já observado anteriormente superdimensionam o valor do indicador. De acordo com as pesquisas de Jonsson e Lesshammar (1999), onde alegam que apesar do OEE medir a eficiência do equipamento individual, o OEE é afetado pelo ambiente circundante e suas particularidades. Desta forma é interessante pontuar que – mesmo com a consideração de 8 perdas e que existe a influência de fatores internos e externos observados nas análises deste trabalho – os resultados do indicador OEE-8 evidenciam o esforço do Porto Itapoá em evidenciar a percepção das melhorias isoladas, contribuindo para a melhoria de um todo.

A utilização do indicador OEE-8 valida a implantação do plano preventivo do setor de manutenção do Porto Itapoá e traz uma percepção positiva no que se refere a oportunidade de melhorias representativas dos fatores que compõem o indicador. Porém, recordando que a métrica de qualidade foi considerada como 100%, e como visto na Seção 3.1, o valor global OEE é função direta de cada um dos três fatores que o compõem, torna-se relevante a análise dos valores dessa métrica para entender de forma mais realista os resultados do indicador, bem como o plano de ação implementado.

Por fim, um valor de OEE adequado deve ser projetado na concepção de que um ativo deve criar valor, ou seja, estar disponível quando preciso, funcionar na velocidade adequada e ter capacidade de produzir de acordo com os requisitos da organização, considerando e respeitando o atual nível de evolução de todos e visando os objetivos que buscam atingir. Em suma, durante todo o estudo há limitações e desvantagens na utilização de um indicador mais holístico. Apesar disso, conclui-se que aprofundar a análise do indicador OEE através das suas métricas, captura os efeitos do trabalho de diferentes áreas de uma organização, viabiliza parâmetros de apoio à tomada de decisão e ilumina oportunidades de melhoria que por meio de planos de ações e projetos permitam ganhos adicionais.

## 7 CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que o objetivo geral de reconhecer a eficácia de um programa de manutenção com técnicas de monitoramento de estado utilizando indicadores de manutenção foi alcançado. Quer seja por necessidades operacionais ou por perdas por desligamentos intempestivos, é dada uma importância cada vez maior à disponibilidade dos equipamentos de um terminal portuário de contêineres. A tendência de técnicas de monitoramento do estado permite aumentar a disponibilidade dos ativos e melhorar as intervenções de manutenção. Outrossim, em referência aos objetivos específicos foi possível concluir que:

- A escolha por um equipamento gargalo com grande influência no processo produtivo e alto grau de risco de falhas auxiliou as observações acerca da eficácia das práticas da manutenção pelo fato de que o projeto atuou principalmente na periodicidade das ações de manutenção. Apesar de não ter sido possível o acesso à informação necessária para o cálculo da métrica de qualidade na movimentação de contêineres, destaca-se aqui que todo o estudo só foi possível por conta de procedimentos de coleta de dados confiáveis implementado pelos setores do terminal, seja manual, automática ou por utilização de softwares, e que assim foram disponibilizados e possibilitaram a realização do presente estudo.
- A escolha por uma abordagem de análise mais sistêmica do sistema produtivo, balizada em indicadores globais, favoreceu a concatenação de ações entre a manutenção, suas áreas de apoio e outras áreas da cadeia de valor para se obter uma utilização mais efetiva de seus ativos e contribuir na busca de resultados melhores a organização e conseqüentemente a seus negócios. O uso de indicadores para a gestão de custeio e das atividades de manutenção promoverá ganhos significativos nas relações de cooperação das funções manutenção e produção. A cooperação interna é sem dúvida um catalisador do desempenho global.
- Adaptar o indicador OEE permitiu que a participação da redução na periodicidade de manutenções preventivas fosse contabilizada no cálculo. Além disso, incluir paradas de responsabilidade do setor de operação consideradas significativas trouxe uma relevância para fatores operacionais que de fato reduzem a utilização da capacidade do equipamento.

- A empresa não tem implantado o OEE em seu sistema de gerenciamento de manutenção de ativos, impossibilitando o conhecimento das diferentes perdas necessárias ao cálculo. Portanto, a definição de um conjunto de parâmetros fixos próximos às características individuais do terminal portuário, permitiu uma análise mais realista dos resultados.
- Apesar de não fazer uso da métrica qualidade com dados reais, a análise individual das métricas disponibilidade e desempenho possibilitou quantificar e validar as melhorias obtidas com técnicas de monitoramento do óleo lubrificante, e o quanto o desempenho da área de manutenção a todo momento está interagindo com outros setores da organização que está inserida, influenciando e sendo influenciado. Além disso, foi nesta fase que foi possível perceber que a melhoria de um setor não garante a melhoria do processo generalizada, por exemplo, problemas relacionados à aderência dos equipamentos ao tempo de ciclo teórico ideal, trazendo à tona potenciais melhorias de outros setores.
- A utilização do indicador OEE foi além da determinação de um número que retrata a eficiência de um equipamento. Apesar de carecer de acompanhamento de outras ferramentas, o OEE permitiu – através do desdobramento de suas métricas – fazer observações, questionamentos e criação de hipóteses acerca da função manutenção e operação com outras funções organizacionais, ou seja, permitiu uma análise mais integrada e ao mesmo tempo holística; portanto, com mais chance de empreender soluções para a organização nas várias dimensões. Além disso, foi possível perceber a influência de situações e ambientes que não são atribuídas aos equipamentos.

Para trabalhos futuros indica-se a coleta de dados práticos não captados neste estudo, de forma que possibilite uma análise mais consistente e aderente à realidade, tais como: movimentos de contêineres sem falha e movimentos com falha (possibilitando o cálculo da métrica Qualidade) e número de ocorrência por falhas de manutenção mecânica devido à lubrificação. Ainda, conhecimento mais detalhado das reais paradas no processo operacional de pátio por mantenedores e operadores em busca de resultados mais expressivos, refinados e com maior grau de confiabilidade. No que se refere à valores do indicador OEE, sentiu-se uma carência de literaturas que discutam um bom resultado do indicador, ou que explorem sugestões de melhorias a serem realizadas devido ao seu resultado final, estando ou não aquém do nível que o setor poderia atingir. Portanto, uma proposta de continuidade de

pesquisa seria desenvolver critérios para definição de valores esperados do indicador OEE dentro do setor portuário, auxiliando assim no balizamento de metas a serem buscadas.

## REFERÊNCIAS

- ABNER JR, E. Lubricant deterioration in service. In: BOOSER, E. R. **CRC Handbook of Lubrication**. Ed.; CRC: Boca Raton, FL, 1983; vol. 1, pp 517-532.
- AYRES, A. P. S. **Gestão de Logística e Operações**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.
- BIASOTTO, E. **Modelo de gestão da manutenção para produtividade: uma aplicação para indústria de celulose e papel**. Florianópolis: UFSC. Dissertação de Mestrado. 170p. 2006.
- BORRIS, S. **Total Productive Maintenance**. New York: McGraw-Hill ,2006. ISBN 0-07-158926-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1036/0071467335>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- BURNS, M.G. **Port Management and Operations**. Routledge, New York, 2014.
- COSTA, S. E. G.; LIMA, E. P. Uses and misuses of the ‘overall equipment effectiveness’ for production management, in **Proc. IEEESEMI Advanced Int. Semiconductor Manufacturing Sci. Symp.**, 2002, pp. 816–820.
- DANTAS, R. S. **A importância dos portos para o comércio exterior brasileiro**. In: COMISSÃO MISTA DO CONGRESSO NACIONAL PARA DISCUSSÃO DA MEDIDA PROVISÓRIA 595, DE 06 DE DEZEMBRO DE 2012. Brasília, 20 mar. 2013. Disponível em: [legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?t=124363](http://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?t=124363). Acesso em: 10 maio 2020.
- DIAS, A. et al. **Metodologia para análise de risco: Mitigação de perda de SF6 em disjuntores**. 1. ed. Florianópolis, SC: Nova Letra Gráfica & Editora, 2011. 1304 p. ISBN: 978-85-98128-42-9.
- FUENTES, F. F. E. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. 2006. 170 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- FURMANN, J. C. **Desenvolvimento de um Modelo para a melhoria do Processo de Manutenção mediante a Análise de Desempenho de Equipamentos**. 2002. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- HAMPAPUR, A. et al. Analytics-Driven Asset Management. In: **IBM Journal of Research and Development**, vol. 55, no. 1.2, pp. 13:1-13:19, Jan.-March 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1147/JRD.2010.2092173>. Acesso em: 15 jun 2020.
- HANSEN, R.C. **Eficiência Global dos Equipamentos: Uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- IAM Annual Conference Warwick 2012. [S.I]: Exposure Tv, 2012. Son., color. Disponível em: <https://youtu.be/PBZqekty3rU>. Acesso em: 20 abr. 2021.

JEONG, K. Y.; PHILLIPS, D. T. Operational efficiency and effectiveness measurement. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 21, n. 11, p. 1404-1416, 2001.

JOHNSON, H. T.; KAPLAN, R. S. **Relevance lost: rise and fall of management accounting**. Boston: Harvard Business School Press, 1987.

SOUSA JUNIOR, J. N. C. S. **Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados**: Estudo de caso dos portos da região Nordeste do Brasil. 2010. 89 f. Tese (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Gestão Estratégica**. – 3. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro. Qualitymark, 2009. 368 p. ISBN 9788573033236

KOCIELSKI, A. Operating Determinants of Maintaining the Operational State of Container Terminal Equipment. **Logistics and Transport** n° 4(32)/2016 28, 2016.

LINN, R. et al. Rubber Tired Gantry Crane Deployment for Container Yard Operation. **Computers & Industrial Engineering**, vol. 4, Issue 3, pp. 429-442, 2003.

LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.

MAGALHÃES, P. S. B. **Transporte Marítimo: Cargas, Navios, Portos e Terminais**. 1.ed. São Paulo: Aduaneiras, 2011.

MARTINS, W. M.; PAURA, G. L. **A Organização da Manutenção Portuária Focada em Disponibilidade de Equipamentos**. Joinville, 2019.

MOBLEY, R. K. et al. **Maintenance Engineering Handbook**. McGraw-Hill, New York, 2008.

MONCHY, F; VERNIER, J.-P. **Maintenance: Méthodes et organisations**. 3. ed. Paris: Durban, 2008, 519 p.

NAKAJIMA, S. **Total productive maintenance**. Productivity Press, 1988.

NOWLAN, F. S.; HEAP, H. F. **Reliability centered maintenance**. National Technical Information Service, USA, Report n.AD/A066-579, 1978.

NEELY, A. et al. Performance measurement system design: a literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 15 No. 4, pp. 80-116, 1995.

NEVES, M. A. O. Tudo Sobre Indicadores de Desempenho em Logística. **Revista Mundo Logística**, edição 12, p.31 - 45, set/out, 2009.

PETRONAS. **Automotivo**. Disponível em: <https://www.pli-petronas.com/pt-br/automotivo/lubrificante-para-veiculos-comerciais/petronas-urania>. Acesso em: 02 ago. 2020.

PORTO ITAPOÁ. **Infraestrutura**. Disponível em: <http://www.portoitapoa.com.br/institucional/68>. Acesso em: 22 abril 2020.

RAO, Raj B.K.N.. The need for Condition Monitoring Maintenance Management in Industry. In: RAO, Raj B.K.N. (ed.). **Handbook of Condition Monitoring**. Oxford: Elsevier Science, 1996. Cap. 1. p. 1-36. ISBN 1 85617 234 1.

ROSA, E. B. **Indicadores de Desempenho e Sistema ABC: O uso de indicadores para uma gestão eficaz do custeio e das atividades de manutenção**. 2006. 530 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SÁ, A. **Eficiência, eficácia e efetividade – material teórico**. São Paulo, 19 nov. 2020. Disponível em: <https://www.tecconcursos.com.br/blog/eficiencia-eficacia-e-efetividade-material-teorico>. Acesso em: 20 abril 2021.

SANTOS, A. C. O. **Análise do indicador de eficiência global de equipamentos para elevação de restrições físicas em um ambiente de manufatura enxuta**. 2009, 121 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Itajubá, 2009.

SHARMA, B.C.; GANDHI, O.P. Performance evaluation and analysis of lubricating oil using parameter profile approach. **Industrial Lubrication and Tribology**, Vol. 60, No. 3, pp. 131 – 137, 2008.

STEENKEN, D. et al. Container terminal operation and operations research - a classification and literature review. **OR Spectrum: Quantitative Approaches in Management**, 26 (1) 3–49, 2004.

TALLEY, W.K. **Port Economics**. New York: Routledge, 2009.

TOTTEN, G. E. **Handbook of Lubrication and Tribology: Volume I Application and Maintenance**, Second Edition. London and New York, 2006.

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). **Measuring and Evaluating Port Performance and Productivity: Monographs on Port Management – Monograph no. 6**. [S.l], 1987. Disponível em: [https://unctad.org/en/Docs/ship4946\\_en.pdf](https://unctad.org/en/Docs/ship4946_en.pdf). Acesso em: 17 julho 2020.

CORRAL-VEGA, C.P.J. et al. Hybrid powertrain, energy management system and techno-economic assessment of rubber tyre gantry crane powered by diesel-electric generator and supercapacitor energy storage system. **Journal Power Sources: The International Journal on the Science and Technology of Electrochemical Energy Systems**, 412 (2019) 311–320, 2019.

VENTURA, F. L. F. **Uso de simulação para análise de desempenho do centro de reparos de equipamentos de diagnóstico in vitro de uma multinacional.** 2018. 84 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

WEBER, A.; THOMAS, R. **Key performance indicators: Measuring and Managing the Maintenance Function.** Burlington: Ivara Corporation, 2005.

WIREMAN, T. **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance.** Nova York: Industrial Press, 1998.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva – O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade.** 2ª Edição. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2014.

ZHANG, C. et al. Dynamic Crane Deployment in Container Storage Yards. **Transportation Research**, vol. 36, pp. 537-555, 2002.

ZHAO, Y. **The Importance Of Lubricant And Fluid Analysis In Predictive Maintenance.** 2014. Disponível em:  
[https://www.spectrosci.com/default/assets/File/SpectroSci\\_OilAnalysisHandbook\\_FINAL\\_2014-08.pdf](https://www.spectrosci.com/default/assets/File/SpectroSci_OilAnalysisHandbook_FINAL_2014-08.pdf). Acesso em: 05 junho 2020.

ZPMC (Zhenhua Port Machinery Company). **Port machinery.** [2020] Disponível em:  
<https://www.zpmc.in/pro/list681a.html?id=1>. Acesso em: 07 junho 2020.

## APÊNDICE A – PRINT DA TELA DA PLANILHA ELETRÔNICA ILUSTRANDO A UTILIZAÇÃO DO INDICADOR OEE-8.

O formato deste trabalho visa preservar informações de cunho exclusivo da empresa onde o estudo foi desenvolvido. Portanto, a figura abaixo não contém valores.

