

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENERGIA E AMBIENTE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA E AMBIENTE

RAISSA CRISTINA ALVES

**APLICAÇÃO PRÁTICA DA ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA DE
ATIVOS EM SETOR DE MANUTENÇÃO DE UMA MINERADORA**

São Luís
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENERGIA E AMBIENTE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA E AMBIENTE

RAISSA CRISTINA ALVES

**APLICAÇÃO PRÁTICA DA ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA DE
ATIVOS EM SETOR DE MANUTENÇÃO DE UMA MINERADORA**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação
Energia e Ambiente da Universidade
Federal do Maranhão para a
obtenção de grau em Mestre em
Energia e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Ulisses
Magalhães Nascimento

São Luís
2022

RAISSA CRISTINA ALVES

**APLICAÇÃO PRÁTICA DA ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA DE
ATIVOS EM SETOR DE MANUTENÇÃO DE UMA MINERADORA**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação
Energia e Ambiente da Universidade
Federal do Maranhão - UFMA para a
obtenção de grau em Mestre em
Energia e Ambiente

Aprovada em _____/_____/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ulisses Magalhães Nascimento (Orientador)
Doutor em Química Analítica
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Sérgio Sampaio Cutrim
Doutor em Engenharia Naval
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Evandro Marcos Saidel Ribeiro
Doutor em Física
Universidade Federal de São Carlos

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

ALVES, RAISSA CRISTINA.

APLICAÇÃO PRÁTICA DA ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA
DE ATIVOS EM SETOR DE MANUTENÇÃO DE UMA MINERADORA /
RAISSA CRISTINA ALVES. - 2022.

76 f.

Orientador(a): ULISSES MAGALHÃES NASCIMENTO.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Energia e Ambiente/ccet, Universidade Federal do Maranhão,
SÃO LUIS, 2022.

1. ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA. 2. GESTÃO DE
ATIVOS. 3. MANUTENÇÃO. I. NASCIMENTO, ULISSES MAGALHÃES.
II. Título.

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar por sempre renovar minhas forças para continuar e não desistir mesmo em frente as dificuldades e momentos de desânimo. A minha família que é minha base e está sempre me apoiando e me incentivando nos estudos e em tudo na minha vida. Ao meu namorado que esteve me apoiando e me incentivando para conclusão do trabalho. Ao meu orientador Ulisses Nascimento por aceitar esse desafio da orientação. E em especial a Eng. Alzira Silva, que me auxiliou e me ajudou com explicações mais detalhadas sobre a aplicação prática e durante todo estudo.

*“Consagre ao Senhor tudo o que
você faz e os seus planos serão bem
sucedidos”.*

(Provérbios 16:3)

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Curva da banheira	11
Figura 2 - Padrões de falhas	12
Figura 3 – Correlação entre as normas	16
Figura 4 – Principais termos da Gestão de Ativos	17
Figura 5 – Processo de Classificação de Ativos	20
Figura 6 – Matriz de Classificação de Prioridade de Ativos	21
Figura 7 – Processos do Sistema de Gestão de Ativos.....	22
Figura 8 – Planejamento e implementação do sistema de gestão de ativos	23
Figura 9 – Ciclo PDCA aplicado a Gestão de Ativos	24
Figura 10 – Etapas de gerenciamento de risco.....	26
Figura 11 – Matriz de Risco	27
Figura 12 – Hierarquia de Controle de Riscos	28
Figura 13 – Interface entre ativos físicos e financeiros	30
Figura 14 – Vida útil de um ativo	35
Figura 15 – Etapas do LCC	36
Figura 16 – Custo Anual Uniforme Equivalente	40
Figura 17 – Ilustração locotrator movimentando cargas em linha ferroviária	45
Figura 18 – Sistema de transmissão automotivo	47
Figura 19 – Quantidade de falhas por oficina	49
Figura 20 – Falhas por família de ativos	49
Figura 21 – Comparativo entre os custos de preventiva e corretivas dos 3 ativos que mais falham.....	51
Figura 22 – Custos ideais durante ciclo de vida de um ativo	52
Figura 23 – Demonstração dos custos de manutenção por ativo	54
Figura 24 – Demanda média de planos de manutenção em vagões	54
Figura 25 – Modos de falhas dos locotratores	56
Figura 26 – Valores Indicadores de Manutenção.....	58
Figura 27 – ERV Frota U400	59
Figura 28 – CAUE Locotratores	60
Figura 29 – Evolução dos custos de manutenção da frota	61
Figura 30 – Curva CAUE Frota U400	62
Figura 31 - Estrutura do ACV baseado na ISO 14044	63

RESUMO

Dentre os diversos desafios que as empresas enfrentam hoje, o de se manterem competitivas, é o maior deles. Elas precisam ter a habilidade de gerenciar os custos de seus ativos. A tomada de decisão em relação à substituição de equipamentos ainda possui viés técnico e, em muitos casos, ocorre tardiamente, sem uma visão a longo prazo, por não considerar os custos totais de seus ativos. Nesse sentido esse trabalho tem a pretensão de explorar a Gestão de Ativos, que ainda é assunto pouco abordado no meio acadêmico. Como problemática indagamos como o método de Análise do Custo do Ciclo de Vida de uma frota de ativos de uma mineradora, pode definir o momento ideal de substituição destes? A metodologia científica utilizada no presente estudo é caracterizada por uma pesquisa quantitativa, exploratória e pesquisa de campo. E o método de aplicação do estudo, consistiu na aplicação das etapas da análise do custo do ciclo de vida suportada pelos métodos de análise econômica do ERV e CAUE. Apesar da falta de uma estrutura prática, dificuldade na aquisição de dados históricos confiáveis e de projeções de vida operacional mais fidedignas, foi possível obter êxito fornecendo uma compreensão ampla dos ativos e auxiliando a empresa a entender que se um sistema de gerenciamento de ativos já estivesse implantado, com acompanhamento do ciclo de vida dos ativos, ações de substituição e descarte seriam executadas no tempo correto trazendo um ganho de mais de 40% nos custos com corretiva, além de oferecer mais segurança para pessoas e menos impactos ambientais devido incidentes ocasionados por falhas. Desta forma foi possível comparar estratégias e alternativas de manutenção para suportar as decisões de gestão deste ativo com visão de longo prazo, definindo critérios restritivos, diretrizes e requisitos de processos técnicos comuns para gerenciar os ativos e lidar com os riscos inerentes das atividades e processos.

Palavras-chave: Gestão de Ativos. Análise do Custo do Ciclo de Vida. Manutenção. Avaliação Econômica.

ABSTRACT

Among the many challenges that companies face today, that of staying competitive is the biggest one. They need the ability to manage the costs of their assets. Decision making regarding the replacement of equipment still has a technical bias and, in many cases, occurs late, without a long-term vision, as it does not consider the total costs of its assets. In this sense, this work intends to explore Asset Management, which is still a subject little discussed in the academic environment. As a problem, we ask how the Life Cycle Cost Analysis method of a fleet of assets of a mining company can define the ideal moment for their replacement? The scientific methodology used in the present study is characterized by quantitative, exploratory and field research. And the method of application of the study consisted of the application of the steps of the analysis of the cost of the life cycle supported by the methods of economic analysis of the ERV and CAUE. Despite the lack of a practical structure, difficulty in acquiring reliable historical data and more reliable operational life projections, it was possible to succeed by providing a broad understanding of the assets and helping the company to understand that if an asset management system was already implemented, with monitoring of the life cycle of assets, replacement and disposal actions would be carried out at the correct time, bringing a gain of more than 40% in corrective costs, in addition to offering more safety for people and less environmental impacts due to incidents caused by failures . In this way, it was possible to compare maintenance strategies and alternatives to support the management decisions of this asset with a long-term view, defining restrictive criteria, guidelines and requirements of common technical processes to manage the assets and deal with the inherent risks of the activities and processes.

Keywords: Asset Management. Life Cycle Cost Analysis. Maintenance. Economic Assessment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS.....	14
2.1. O Setor Manutenção	14
2.2 Evolução do Gerenciamento da Manutenção	15
2.3 Gestão de Ativos.....	19
2.4 Regulamentação da Gestão de Ativos	19
2.5 A série ISO 55000.....	20
3 PASSOS BÁSICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS	23
3.1 Classificação dos ativos	24
3.2 Sistema de Gerenciamento de Ativos	27
3.3 Gestão de Riscos.....	29
3.4 Gerenciamento do Ciclo de Vida do Ativo	34
4 METODOLOGIA DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA	38
4.1 Análise de Custo do Ciclo de Vida do Ativo	39
4.2 Análise Econômica	44
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
5.1 Análise do custo do ciclo de vida em frota de equipamentos móveis de empresa mineradora.....	47
5.1.1 A Empresa e seu sistema de gestão.....	47
5.1.2 Estrutura Hierárquica	49
5.1.3 Gerência estudada.....	49
5.1.4 Frota Locotratores Mercedes U400	50
5.2. Problemática	52
5.3 Análise do Custo do Ciclo de Vida da Frota Locotrator U400	57
5.3.1 Definição do objeto de estudo.....	58
5.3.2 Elementos de custos.....	59
5.3.3 Estimativa de eventos	60
5.3.4 Avaliação econômica	62
5.3.5 Análise do LCC.....	66
6 CONCLUSÃO.....	69
RECOMENDAÇÃO	71
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A - Matriz de Classificação de Prioridade dos Locotratores.....	77

1 INTRODUÇÃO

As empresas estão constantemente sob pressão para redução de incertezas que fatores internos e externos trazem para seus negócios, são os chamados riscos, que impactam diretamente no cumprimento das metas e objetivos estabelecidos.

Diante dos desafios impostos às empresas em se manterem competitivas em um mercado em que o foco está voltado para a consciência ambiental, garantia da segurança dos trabalhadores, qualidade do ambiente de trabalho e cuidado com a sociedade, têm-se a necessidade de adquirir uma consciência holística dos seus processos e extrair maior valor possível dos seus ativos (CRISTOFARI JR, 2017).

Nesse caso, a capacidade de gerenciar o custo de seu processo produtivo com base no custo, risco e confiabilidade de seus ativos é muito importante. Para adquirir essa habilidade, a manutenção não deve se concentrar apenas em restaurar as funções de seus ativos tangíveis, mas também ampliar seus horizontes e gerenciar adequadamente todo o ciclo de vida dos ativos tangíveis para maximizar seu valor e garantir operações seguras e sustentáveis.

Embora existam há alguns anos normas e metodologias criadas para análise de riscos ocupacionais e ambientais dentro das organizações, estas trazem consigo uma generalidade durante a aplicação, oferecendo certa flexibilidade para as empresas durante suas implantações, tornando o processo subjetivo e despadronizado, influenciando diretamente na tomada de decisão, o que pode levar a ocorrências de acidentes, que podem ser simples, mas que se não gerenciados podem se tornar também, catastróficos.

As séries da norma ABNT ISO 55000 trazem uma perspectiva moderna da gestão de ativos com ênfase no gerenciamento da manutenção. Elas orientam as empresas por meio de requisitos claros como alcançar um equilíbrio entre custo, risco e confiabilidade dos ativos, oferecendo uma perspectiva do ciclo de vida dos ativos fornecendo flexibilidade em face as mudanças do mercado e maximizando a probabilidade da empresa de atingir seus objetivos estratégicos. Esse equilíbrio permite que a empresa gerencie seus ativos de forma eficaz e eficiente e melhore a maturidade da empresa para

tomar as melhores decisões para atingir um desempenho consistente e sustentável.

Nesse sentido, a presente dissertação tem a pretensão de explorar a Gestão de Ativos, que ainda é assunto pouco abordado no meio acadêmico. E interrogar como a Análise do Custo do Ciclo de Vida dos Ativos pode ser aplicada de forma prática para análise e determinação do tempo ótimo de troca de ativos?

Desta forma será possível comparar estratégias e alternativas de manutenção para suportar as decisões de gestão deste ativo com visão de longo prazo, definindo critérios restritivos, diretrizes e requisitos de processos técnicos comuns para gerenciar os ativos e lidar com os riscos inerentes das atividades e processos.

Nesse sentido, a metodologia utilizada no presente estudo é caracterizada por uma pesquisa quantitativa, sendo possível alcançar a maior quantidade de conhecimento do problema pesquisado. De acordo com Roesch (2017, p.130), “na perspectiva da quantitativa é utilizar a melhor estratégia de controlar o delineamento da pesquisa para garantir uma boa interpretação dos resultados.”.

O método da pesquisa foi exploratório, que possibilitou obter as informações desejadas, a fim de compreender melhor o problema, visto que também foi feita uma pesquisa de campo, que segundo Gil (1996, p.4), “estas pesquisas têm como objetivo proporcionar um maior entendimento acerca da familiaridade com o problema a torná-lo mais explícito ou a conceber uma hipótese.”

Por fim, esse trabalho foi dividido da seguinte maneira: além desta seção introdutória, possui 6 (seis) capítulos, conforme demonstrado no sumário.

O primeiro capítulo apresenta a introdução, assim como a exposição do objetivo, escolha do tema e descrição dos capítulos.

No segundo capítulo, são apresentadas as partes relativas da gestão de ativos com destaque para o setor de manutenção; a evolução do gerenciamento da manutenção; regulamentação da gestão de ativos e série ISSO 55000.

Ademais, no terceiro capítulo será pontuado uma breve consideração sobre os passos básicos para implementação do sistema de gestão de ativos,

ênfatizando sobre a classificação dos ativos, o sistema de gerenciamento de ativos, a gestão de riscos e o gerenciamento do ciclo de vida do ativo.

No quarto capítulo, vamos discorrer sobre a metodologia da análise do custo do ciclo de vida, frente a essa problemática

No quinto capítulo será feita a apresentação e análise dos resultados.

Por fim, o sexto e último capítulo será feito a conclusão com as recomendações acerca dessa temática.

Com isso, é fundamental o levantamento dessas questões e, assim, a importância do presente estudo.

2 MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS

Nesse capítulo discorre-se sobre a gestão de ativos com destaque para o setor de manutenção; a evolução do gerenciamento da manutenção; regulamentação da gestão de ativos e série ISO 55000.

2.1 O Setor Manutenção

Toda planta manufatureira quer que sua produção opere de maneira eficiente, produzindo produtos de boa qualidade e que seus ativos não quebrem. Infelizmente, o dia a dia industrial demonstra várias falhas, quebra de equipamentos que causam paradas de produção, perdas de qualidade e produtividade. E na maioria das vezes a área responsabilizada por tais problemas é a manutenção e operação dos equipamentos, que precisam realizar um trabalho reativo para retornar com a produção rapidamente.

Esse trabalho reativo representa exposição dos trabalhadores a riscos de saúde e segurança que precisam atender às solicitações não programadas, além dos impactos ambientais que tais falhas podem proporcionar através de liberações de substâncias químicas perigosas ao meio ambiente, como fluídos oleosos, ácidos, solventes entre outros.

A manutenção neste sentido, tem papel fundamental no processo produtivo, necessitando ser um agente proativo. As empresas são compostas por ativos que precisam estar em pleno funcionamento para que ofereçam produtos e serviços de qualidade.

De acordo com a ABNT na NBR 5462 (1994, p. 6), manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Os custos do setor industrial, principalmente os custos de manutenção, são cada vez mais preocupantes para administradores e acionistas. O surgimento de ferramentas de controle financeiro não é acidental, e seu principal objetivo é identificar esses custos e controlá-los. Essa dificuldade é latente na manutenção industrial, portanto entender sua origem e história, bem como entender como a indústria se desenvolveu, é importante para entendermos suas principais dificuldades e limitações.

2.2 Evolução do Gerenciamento da Manutenção

A palavra manutenção é oriunda do latim *manus teres*, que significa “manter o que se tem”. Sua principal missão atualmente de acordo com Kardec (2013) é:

Garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com Confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado.

A manutenção é uma atividade relevante para o processo de criação de valor, pois com a sua aplicação de forma correta, consegue-se fiabilizar os processos, maximizando a capacidade e a disponibilidade operacional, minimiza os desvios, garante a prontidão dos ativos diante de situações de emergência, oferece constância, diminuindo os retrabalhos e consequentes custos não planejados, melhora a eficiência energética do ativo e protege o meio ambiente através da redução de poluentes resultantes de falhas dos ativos (SANTOS, 2015).

Ao decorrer de vinte anos, a manutenção passou por grande evolução. As alterações resultaram de um crescente aumento da diversidade de ativos, que, para serem mantidos, necessitam de novas estratégias de manutenção e novas perspectivas sobre a estrutura organizacional.

Para Cristofari Jr (2017), a manutenção:

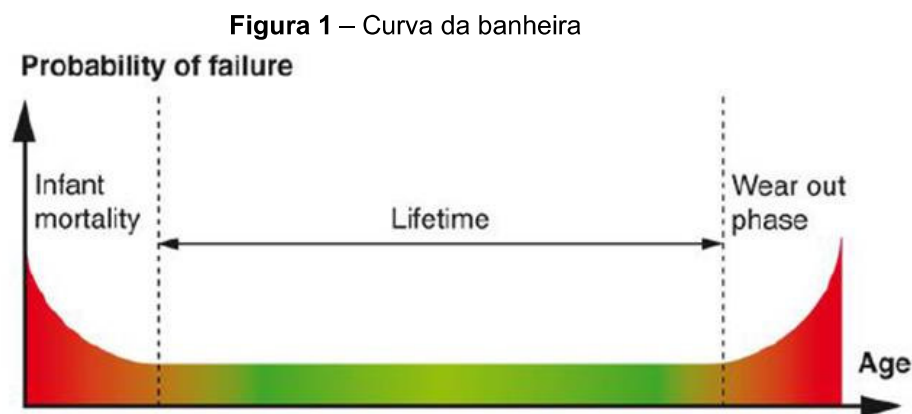
Passou de uma função informal com atividades realizadas pelos próprios operadores como limpeza, lubrificação e intervenção corretiva e com capacitação realizada nas próprias empresas no final da segunda grande guerra, a uma função estratégica determinante para a sobrevivência das empresas, suportada por equipes multidisciplinares compostas de pessoas altamente especializadas responsáveis pelos processos relacionados à gestão dos ativos.

A evolução da manutenção pode ser descrita em cinco gerações. A primeira geração antecede a Segunda Guerra Mundial, época em que a indústria não possuía muita mecanização, grande parte dos equipamentos era simples e superdimensionada, facilitando os reparos quando necessário. O cuidado em se antecipar as falhas não era uma prioridade e a sistemática se resumia apenas em ações de limpeza e lubrificação. A filosofia adotada era de que “todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrerem falhas ou quebras”. (KARDEC, 2013).

Falha, segundo a ABNT (1994, p.3) na NBR 5462 (1994, p.3), “significa o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Em suma, quando uma falha ocorre, ela interrompe a função de um equipamento, causando o cessamento de sua operação.

A segunda geração ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, sendo marcada pelas mudanças impostas por esse período, onde a indústria tornou-se dependente das máquinas evidenciando-se a necessidade de manter a maior disponibilidade possível das instalações na busca por maior produtividade. A ideia de que falhas deveriam ser evitadas resultou no conceito de manutenção preventiva, voltada para a minimização de falhas.

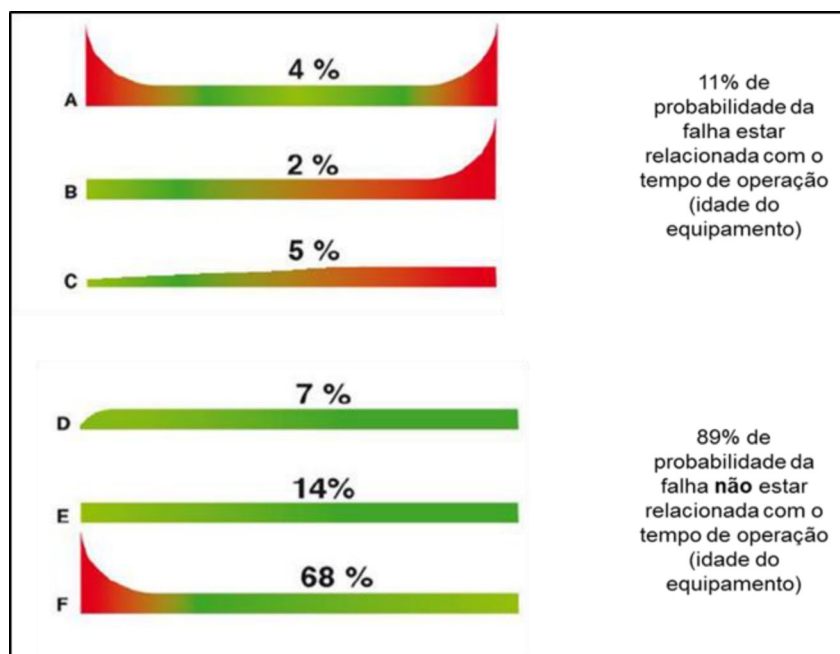
O primeiro estudo voltado para falhas envolveu o conceito da “curva da banheira” (Figura 1), utilizada até hoje, que classifica a ocorrência de falhas nos ativos em três fases: mortalidade infantil ou falhas prematuras que geralmente ocorrem no início de operação de um equipamento, falhas aleatórias que podem ocorrer de acordo com tempo de operação e devido as manutenções realizadas e falhas de desgaste que se apresentam quando o ativo já está em operação durante longo tempo e seus componentes entram em processo de degradação. Paralelamente a disseminação do processo de revisão periódica contribuiu para o surgimento de técnicas preditivas (SIQUEIRA, 2014).



Esta curva foi considerada como padrão durante muito tempo, mas na década de 60, um estudo realizado pela *United Airlines*, verificou que este método não possuía efeito de confiabilidade, já que muitas falhas não tinham um tempo específico para acontecerem. Como demonstrado na Figura 2 apenas 11% do grupo de componentes de um avião apresentava perfil de falha por

desgastes e os outros 89% apresentavam quebras que não dependiam da idade do equipamento; eram falhas aleatórias (MOUBRAY, 2000)

Figura 2 - Padrões de falhas



Fonte: Adaptado MOUBRAY, 2000, 4p.

O padrão A apresenta a curva da banheira. Esse padrão apresenta elevada quantidade de falhas no início de operação do equipamento – mortalidade infantil acompanhada por um aumento gradual das falhas decorrentes da degradação do equipamento. O padrão B apresenta probabilidade de falha constante seguida de um desgaste ao final da vida útil do equipamento, geralmente suscetível a equipamentos que estão em condições mais severas de operação (KARDEC, 2013).

O padrão C apresenta um aumento gradual da falha, mas sem estipular uma idade de desgaste. Já o padrão D, indica uma baixa perspectiva de falha para equipamentos novos e que aumenta a uma categoria de falha constante, ocorrendo em sistemas mais complexos. No padrão E a chance de ocorrer falha independe da idade do equipamento, por isso o formato da curva mais retilínea e constante. E finalmente o padrão F, apresentando alta incidência de falha no início da vida do ativo, podendo permanecer constante ou aumentar gradualmente, dependendo das condições impostas ao equipamento, como por exemplo, partidas e paradas constantes (KARDEC, 2013).

Na terceira geração além dos requisitos de maior vida útil, disponibilidade e confiabilidade, a sociedade começou a exigir maior qualidade dos produtos. A evolução da consciência da humanidade em relação à preservação do meio ambiente e da garantia de segurança para os usuários tanto dos processos como dos produtos motivaram o surgimento de novas metodologias, como por exemplo, a Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC (SIQUEIRA, 2014).

Na quarta geração as maiores justificativas para a existência da Engenharia de Manutenção são a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade dos ativos. Com o objetivo de intervir cada vez menos no processo fabril, a incorporação de atividades de monitoramento da condição dos equipamentos é mais exigida, aumentando a aplicação de práticas preditivas.

Na quinta geração, as práticas da geração anterior são mantidas, a preocupação com os custos operacionais aumenta, não só com as perdas relacionadas aos ativos físicos, mas também, com os custos gerados por acidentes, devido à falta de confiabilidade desses ativos. Os resultados agora são apoiados por todas as áreas coordenadas por uma sistemática de Gestão de Ativos.

Para a ABNT NBR ISO 55000 (2014, p. 3), “um ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. O valor irá variar entre diferentes organizações e suas partes interessadas, e pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro.”

Segundo o Institute of Asset Management - IAM (2021) a Gestão de Ativos é a arte e a ciência de tomar decisões acertadas e otimizando a entrega de valor pois envolve o balanço entre custos, oportunidades e riscos tendo em conta o desempenho desejado desses mesmos ativos, de forma a atingir os objetivos organizacionais. Esta gestão permite que uma organização analise as necessidades e o desempenho dos seus ativos em diferentes níveis, permitindo ainda a aplicação de abordagens analíticas ao longo do ciclo de vida dos seus ativos.

2.3 Gestão de Ativos

Para as empresas que desejam buscar padrões internacionais e se tornarem referência em um mercado tão competitivo, a gestão de ativo traz novas sugestões para atingir os objetivos estratégicos a partir de um background organizacional, integrando todas as áreas, mudando a cultura do planejamento estratégico e trazendo a visão tradicional do produto e do cliente à visão do ativo e o valor que pode criar para a empresa. A prática da gestão de ativos significa uma reflexão preliminar sobre a posição da organização no mercado, os objetivos de longo prazo, as expectativas e necessidades dos stakeholders e a interação destes com os negócios da empresa.

O objetivo da Gestão de Ativos é fazer com que os ativos possam produzir de acordo com sua capacidade máxima, sem apresentar falhas de modo que se obtenha o melhor retorno tanto sobre os ativos, como sobre os investimentos realizados (KARDEC, 2013).

Machado (2016), reforça ainda que para que a empresa atinja suas metas, é necessário que exista todo o planejamento, aquisição, manutenção, suporte financeiro e jurídico desses ativos. E quando das intervenções relacionadas a retirada deste ativo de operação, é pertinente se ter a estimativa de vida do ativo, pois trata-se de decisões delicadas, visto que a remoção prematura tem impacto direto no capital, enquanto o prolongamento da vida do equipamento, podem gerar aumento de falhas, prejuízos no setor financeiro, na saúde dos funcionários e danos ambientais.

2.4 Regulamentação da Gestão de Ativos

Em 2009 em Zurich, na Suíça, foi realizado pela primeira vez o Global Forum on Maintenance & Asset Management. Este fórum teve como objetivo principal reunir as principais associações de Gestão de Ativos para criação de um padrão que estabelecesse uma gestão abrangente e eficaz para todos os ativos físicos presentes em uma empresa, que ficou denominado como PAS 55 (ABRAMAN, 2017).

A PAS 55 (2008, p.5) define a Gestão de Ativos como a aplicação de “atividades sistemáticas e coordenadas, através da qual uma organização realiza a gestão, de forma otimizada e sustentável, de seus ativos e sistemas de

ativos e sua performance associada, riscos e custos ao longo do seu ciclo de vida com o objetivo de alcançar o seu planejamento estratégico”.

A gestão de ativos físicos estabelece uma política clara de renovação de ativos. Esses ativos não devem ser substituídos apenas quando forem irreparavelmente danificados, mas também quando os custos de operação e/ou manutenção durante a vida restante do ativo excedem o custo de reposição; quando existe um risco iminente de falha; quando as falhas colocam em risco a confiabilidade e segurança do sistema e do pessoal; quando os ativos estão obsoletos e não podem mais operar e manter o negócio e finalmente mas não menos importante, quando os benefícios da substituição significam melhorias nos indicadores relacionados à segurança das pessoas, meio ambiente e desempenho da empresa (ICA, 2015).

Para facilitar a acessibilidade de informação e adequar a PAS 55 ao padrão ISO, em 2014 foi publicada a ISO 55000 e suas séries, ampliando o conceito de ativos e agora incluindo também os ativos intangíveis. Vale ressaltar que apesar do presente trabalho estar baseado na ISO 55000, ele ficará focado nos ativos físicos, pois o estudo de caso abordará este tipo de ativo.

2.5 A série ISO 55000

A série de normas que tratam sobre a gestão de ativos é composta por três normas distintas, a ABNT NBR ISSO 55000, 55001 e 55002. E representam novo desafio para as organizações quantificarem sua eficiência no âmbito dos riscos do negócio, através de práticas no gerenciamento de ativos, que buscam alcançar o equilíbrio entre custo, desempenho e risco.

A Figura 3 mostra como as normas estão relacionadas e o escopo de cada uma, a ISO 55001 apresenta os requisitos de um sistema de gestão e está diretamente relacionada com a norma 55000 que apresenta as terminologias e visão geral e está relacionada com a 55002 que apresenta as diretrizes de aplicação da 55001.

Figura 3 – Correlação entre as normas



Fonte: ICA, 2015 p. 12

Esta série ultrapassa o escopo da PAS-55 emitida pelo British Standard Institute (BSI), que antes era a única referência para práticas de gestão de ativos físicos. A abordagem do sistema de gestão de ativos no contexto da ABNT ISO 55001 traz os requisitos necessários à gestão da empresa para suportar os resultados da gestão de ativos, não apenas os ativos tangíveis, mas também todos os ativos que agregam valor à organização.

Vale destacar que para a norma ISO 55000, a Gestão de Ativos é pautada em quatro princípios: os ativos existem para fornecer valor para a organização e partes interessadas; há uma transformação da estratégia em tarefas, decisões, atividades técnicas e financeiras; a liderança e a cultura do local são determinantes para percepção de valor e ela fornece garantia de que os ativos vão cumprir e desempenhar as funções requeridas (ICA, 2015).

Figura 4 – Principais termos da Gestão de Ativos

Fonte: ICA, 2015, p. 15.

Como demonstrado na Figura 4, para que se tenha êxito na aplicação da norma, a Gestão de Ativos deve estar inserida na gestão da organização, ou seja está alinhada com os objetivos estratégicos, estruturar um sistema de gestão que contemple todo o portfólio de ativos abrangidos por esse sistema.

3 PASSOS BÁSICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS

Nesse capítulo será pontuado uma breve consideração sobre os passos básicos para implementação do sistema de gestão de ativos, enfatizando sobre a classificação dos ativos, o sistema de gerenciamento de ativos, a gestão de riscos e o gerenciamento do ciclo de vida do ativo.

O processo de implementação da Gestão de Ativos pode ser estabelecido através de alguns passos que serão abordados a seguir. Tais etapas devem envolver o ambiente interno e externo, processos de planejamento, processos operacionais, processos de avaliação de desempenho e os processos de melhoria contínua (ICA, 2015).

A primeira etapa é entender a organização e seu contexto, onde serão respondidas algumas perguntas que determinam aonde a empresa quer chegar, o que gera valor, o que se espera de resultado e quais fatores influenciam positivamente ou negativamente a organização para atingir os objetivos a que se propôs.

Uma das ferramentas de gestão disponíveis para execução deste passo, é Análise de Swot, que irá auxiliar justamente a avaliar as Forças e Fraquezas (análise interna) e as Ameaças e Oportunidades (análise externa). Nesta fase do diagnóstico deve-se também verificar qual a situação da empresa frente a implantação da Gestão de Ativos alinhado aos objetivos estratégicos na organização (MEIRELES, 2018).

Na próxima fase se faz necessário identificar quais as partes interessadas, que podem ser clientes, fornecedores e entidades reguladoras e entender quais são suas necessidades, para então determinar os requisitos relevantes para a gestão de ativos. Recomenda-se que as organizações meçam o nível de serviços prestados por seus ativos e os analisem de acordo com seus requisitos e expectativas. O processo de revisão do nível de serviço é uma maneira útil de entender as expectativas do cliente e do usuário.

Logo em seguida será determinado qual o escopo do sistema de gestão, onde serão listados os ativos mais críticos para o processo e quais suas características, os aspectos organizacionais e o período de responsabilidade da empresa sobre os ativos. Alguns critérios podem ser levantados para

classificação dos ativos quanto a sua criticidade: o valor gerado para o negócio, lucro cessante pela sua indisponibilidade, riscos envolvidos e os custos com manutenção e/ou substituição (MEIRELES, 2018).

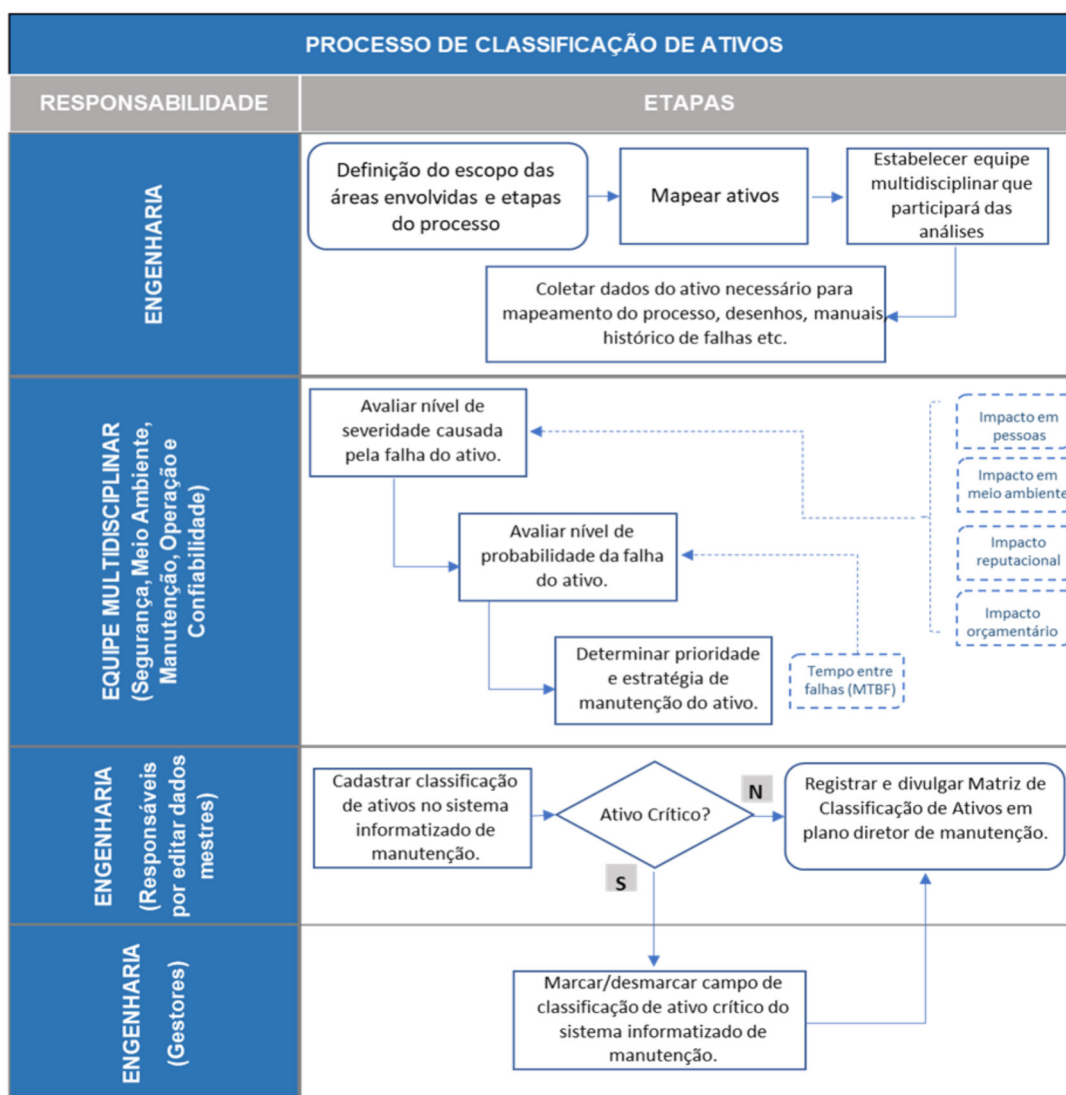
Os ativos geram valor para uma empresa, portanto considera-se crítico aquele que agrega maior valor ao escopo estabelecido, além da importância deste e das consequências nos casos de falhas ou ausência. Em alguns casos, o mesmo tipo de ativo pode ser crítico, enquanto em outros não, dependendo da sua aplicação e das condições de “backup” em caso de falha. A definição então de ativo crítico se torna fácil quando se tem conhecimento claro do contexto da organização e seu escopo.

3.1 Classificação dos ativos

O processo de classificação dos ativos e definição da estratégia de manutenção, em acordo às diretrizes de manutenção estabelecidas, visam garantir critérios e premissas, além de estabelecer papéis e responsabilidades, inserindo os conceitos de gestão de ativos com base na avaliação de risco, desempenho e custo para atingimento dos resultados operacionais de forma sustentável.

O processo de classificação de ativos consiste em avaliar os riscos decorrentes de uma falha para determinação da criticidade e prioridade (A, B ou C) do ativo (DOC. INT 44, 2020). A Figura 5 demonstra através do fluxograma o processo de classificação e definição de cada grupo responsável por cada fase.

Figura 5 – Processo de Classificação de Ativos



Fonte: DOC INT 44, 2020.

A Engenharia deve delimitar qual o parque de ativos será coberto pela análise, áreas e processos, permitindo a melhor gestão do andamento e entregas do trabalho, além de aumentar o entendimento sobre os riscos presentes nas etapas do processo produtivo. Logo em seguida, listar todos os ativos contidos no escopo da análise, através de comparação entre relatório dos locais de instalação e equipamentos cadastrados no sistema informatizado de manutenção, diagramas de processo, desenhos, informações de campo e históricos de falhas.

A equipe multifuncional contendo as especialidades de Saúde, Segurança, Meio Ambiente, Confiabilidade, Operação e Manutenção, em conjunto com a equipe de Relacionamento com Comunidades deve realizar o levantamento dos riscos e impactos que podem ser gerados, coletando e

organizando os dados dos ativos. Esses dados incluem a avaliação dos níveis de severidade do impacto da falha dos ativos e seus componentes frente aos impactos (pessoas, meio ambiente, reputacional e financeiro), definir prioridade do ativo que será identificada com base na correlação do maior nível de severidade e sua respectiva escala de probabilidade de falha.

A Figura 6 mostra a matriz de classificação de prioridade dos ativos, que contempla a correlação do maior nível de severidade e sua respectiva escala de probabilidade de falha. Esta estará intimamente ligada a matriz de risco que irá fornecer a avaliação e classificação dos riscos e prioridade como Muito Alta, Alta, Média ou Baixa de acordo com a probabilidade e severidade (DOC INT 44, 2020).

Figura 6 – Matriz de Classificação de Prioridade de Ativos

Matriz de Classificação de Prioridade de Ativos								
Prioridade do ativo (Código ABC)		Severidade do Impacto						
		N/A	Muito leve	Leve	Moderado	Grave	Crítico	Muito Crítico
Probabilidade de falha	Muito Remoto	C	C	C	B	B	A	A
	Remoto	C	C	B	B	B	A	A
	Pouco Provável	C	C	B	B	A	A	A
	Provável	C	C	B	B	A	A	A
	Muito Provável	C	B	B	A	A	A	A

Fonte: DOC INT 44, 2020.

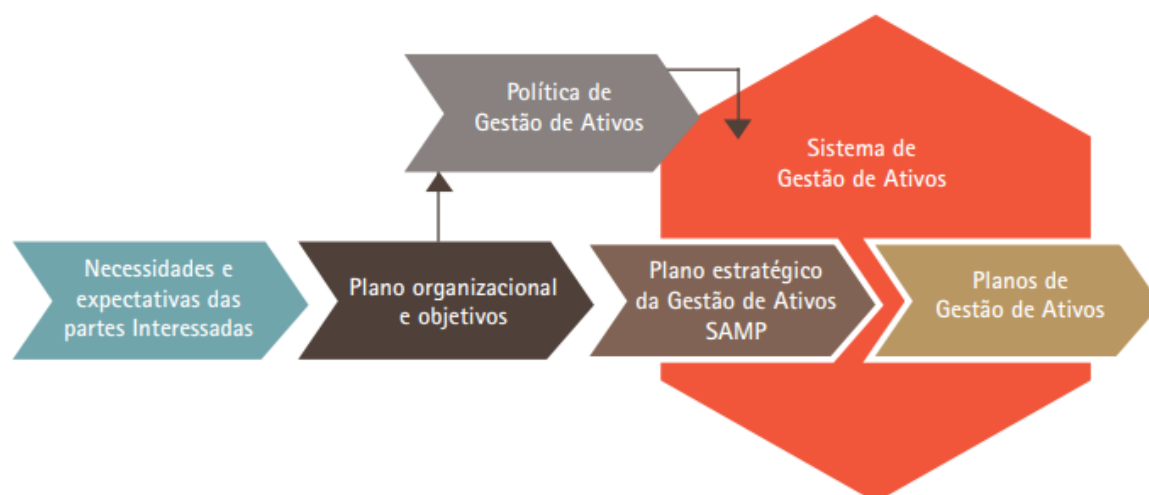
A classificação de prioridade através das letras ABC se baseia no Método de Análise de Pareto, que consiste em classificar os itens de acordo com sua importância: A, para os itens de maior prioridade, correspondendo a 20% do total; B, para ativos de prioridade média, correspondendo a 30% do total e C para os ativos de baixa prioridade, correspondendo a 50% do total (MEIRELES, 2018).

Em suma, pode-se dizer que a criticidade de um ativo é diretamente proporcional ao seu papel nos negócios da empresa. Portanto, podemos ter ativos que são considerados críticos em algumas empresas, mas não em outras. Dividir ativos em críticos e não críticos é uma tarefa importante do gerenciamento de ativos, porque os ativos críticos devem ser monitorados de forma mais detalhada.

3.2 Sistema de Gerenciamento de Ativos

Após realização das etapas abordadas anteriormente, deve-se definir o sistema de gestão, que será composto por um conjunto de processos como mostrado na Figura 7. Segundo a norma ABNT ISO 55001 nesta fase a empresa irá implementar, manter e melhorar continuamente o sistema de gestão, incluindo todos os processos necessários para dar suporte ao sistema. Assim, o planejamento será estruturado em um documento chamado Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP) e que deve estar totalmente alinhado à estratégia de desenvolvimento da empresa (ABNT ISO 55001, 2014).

Figura 7 – Processos do Sistema de Gestão de Ativos



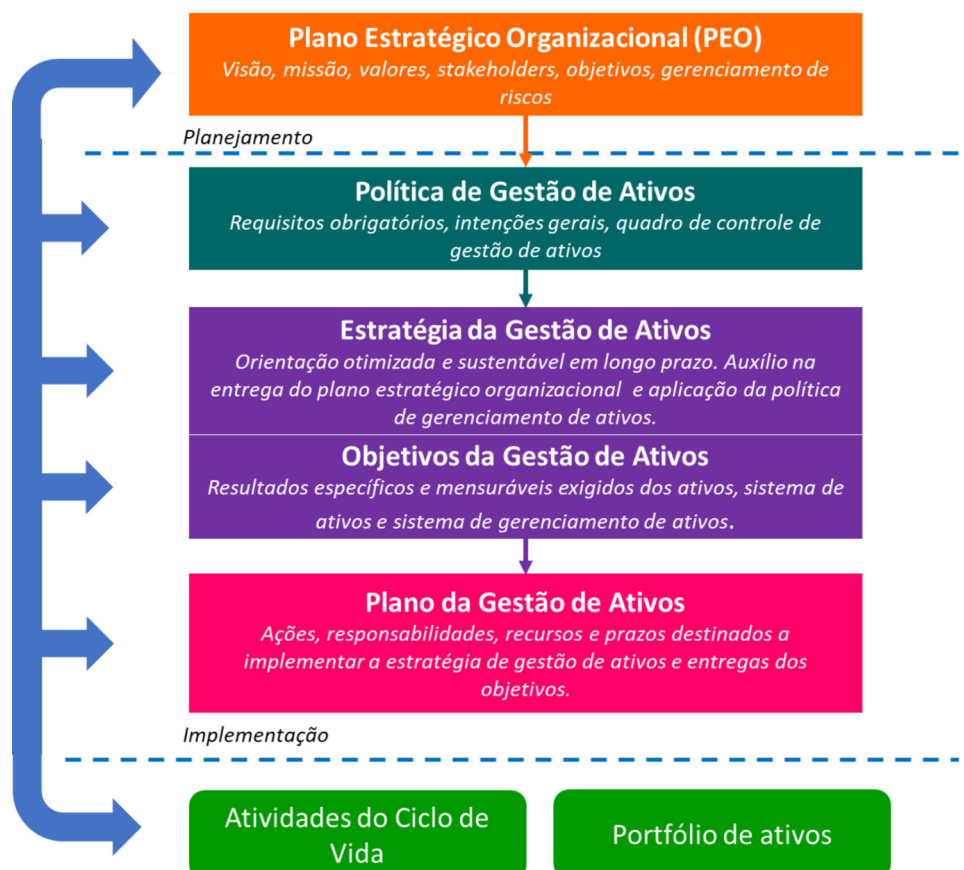
Fonte: ICA, 2015, p. 17

Para Meireles (2018, p.10) o SAMP “expressa a integração de processos, de atividades e de dados de gestão de Ativos com os de outras funções organizacionais, como qualidade, contabilidade, segurança, risco e recursos humanos.”

Como demonstrado na Figura 8, os objetivos organizacionais fornecem o histórico geral e orientam as atividades da organização, incluindo suas atividades de gerenciamento de ativos. Os objetivos geralmente surgem das atividades de planejamento estratégico da organização e devem ser específicos, mensuráveis, alcançáveis, de acordo com a realidade da organização e baseado no tempo de atuação.

E para que a empresa consiga alcançar tais objetivos, recomenda-se estruturar e aplicar uma política de gestão de ativos. De acordo com a ABNT ISO 55002 (2014, p.8), “é recomendável que a política de gestão de ativos seja aprovada pela alta direção e, assim, demonstre seu comprometimento com a gestão de ativos.”

Figura 8 – Planejamento e implementação do sistema de gestão de ativos.

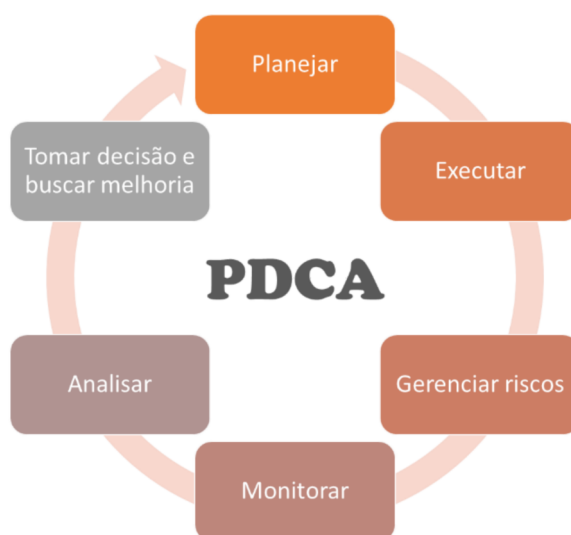


Fonte: Adaptado de PAS 55-1, 2008.

Os objetivos de gerenciamento de ativos são especificados e derivados como parte do SAMP (Strategic Asset Management Plan), que será decomposto em um plano de gerenciamento de ativos, e o plano de gerenciamento de ativos é consistente e derivado do escopo. O plano de gerenciamento de ativos deve ser uma subdivisão do SAMP para cada ativo ou grupo de ativos no portfólio do sistema de gerenciamento de ativos. A formulação de um plano de gerenciamento de ativos deve incluir uma análise do impacto das ações em cada estágio do ciclo de vida e os requisitos para o próximo estágio do ciclo de vida dos ativos.

Após elaboração do SAMP, o acompanhamento das ações do plano será realizado através da aplicação da metodologia PDCA (Planejar-Fazer-Verificar-Atuar) para que os objetivos sejam alcançados dentro do prazo limite estipulado e o ciclo de melhoria contínua do sistema de gestão funcione, como demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Ciclo PDCA aplicado a Gestão de Ativos



Fonte: Adaptado de ICA, 2015.

Importante enfatizar a importância da liderança, como guardião do Plano Estratégico de Gestão de Ativos, pois ela será a responsável pela qualidade, segurança, visão estratégica, criação da cultura organizacional, além de definir os papéis e responsabilidades de cada pessoa envolvida na gestão dos ativos.

3.3 Gestão de Riscos

Sabe-se que as empresas estão constantemente sob pressão para redução de incertezas que fatores internos e externos trazem para seus negócios, são os chamados riscos, que impactam diretamente no cumprimento das metas e objetivos estabelecidos. Exemplos de acidentes ambientais e pessoais que ocorreram recentemente e nas últimas décadas têm despertado sobremaneira a atenção de autoridades governamentais, indústrias e sociedade para a prevenção de incidentes que possam gerar riscos ambientais e de segurança para pessoas.

De acordo com Sánchez (2013, p.364), risco é a “conjugação da probabilidade de que ocorra uma falha com magnitude de consequências.” Ou seja, é a possibilidade de ocorrência de um evento não desejado. A ISO 31000 (2018, p. 1) define que o “risco é o efeito da incerteza nos objetivos.”

Este é composto por dois componentes básicos, a frequência e a gravidade ou consequências. O risco existe, por não se conhecer quando irá ocorrer, ou com que frequência irá ocorrer (ICA, 2015).

Embora existam há alguns anos normas e metodologias criadas para análise de riscos ocupacionais e ambientais dentro das organizações, estas trazem consigo uma generalidade durante a aplicação, oferecendo certa flexibilidade para as empresas durante suas implantações, tornando o processo subjetivo e despadronizado, influenciando diretamente na tomada de decisão, o que pode levar a ocorrências de acidentes, que podem ser simples, mas que se não gerenciados podem se tornar também, catastróficos.

Nesse contexto os setores de manutenção têm participação ativa e fundamental, tanto em manter as instalações e ativos confiáveis, para que não venham em uma eventual falha oferecer riscos de acidentes, como na redução da geração de resíduos perigosos durante as atividades. Assim, o seguinte questionamento pode ser feito: Como garantir operações seguras e resultados sustentáveis?

O Gerenciamento de Riscos é um processo implantado em todos os níveis, com objetivo de atuar de forma preventiva quanto à possível materialização de cenários e/ou minimizar os potenciais impactos negativos sobre os objetivos estratégicos das empresas. Visa nortear a tomada de decisão e instruir as partes interessadas por meio de diretrizes definidas e adequadas a preservação da vida e conservação do meio ambiente (MEIRELES, 2018).

A gestão de riscos é fator importantíssimo para uma gestão de ativos proativa, para que haja equilíbrio entre custos, oportunidades e riscos, alinhados ao desempenho esperado dos ativos para atingir as metas organizacionais. O objetivo da gestão de riscos é justamente entender a causa, efeito e probabilidade dos eventos indesejados ocorrerem, para que então essa gestão reduza esses riscos a um nível aceitável e controlado (ICA, 2015).

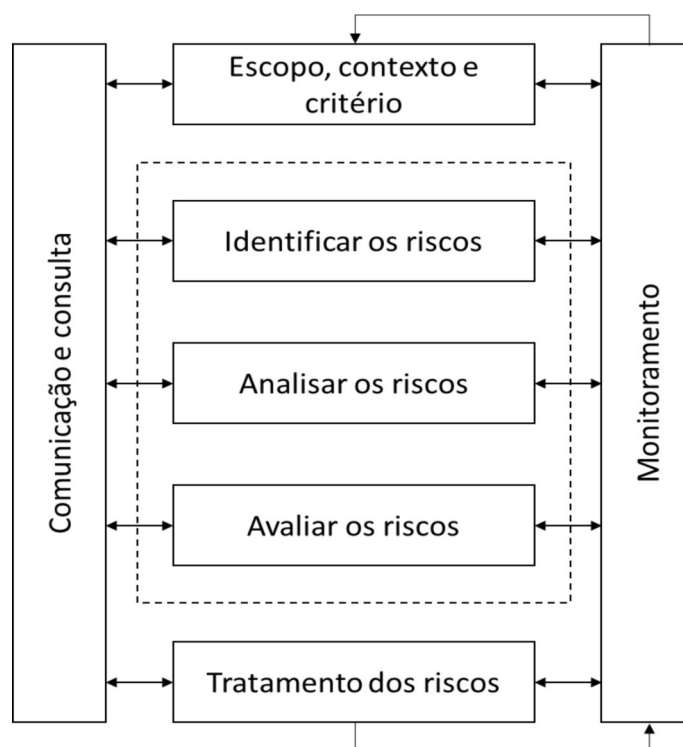
No entanto, de acordo com Neto (2018, p.36), “um dos grandes problemas é a mensuração dos riscos.” A norma PAS 55 (2008) ressalta este

ponto de dificuldade, pois a forma como o risco é mensurado pode mudar de acordo com o tempo ou condições do ambiente.

A gestão de riscos é parte integrante de todo o processo de gestão de ativos. No entanto, é particularmente necessário desenvolver um processo para identificar e monitorar os riscos, não apenas em conformidade com a regulamentação em vigor, mas também como prática que pode otimizar e priorizar ações com base em custo, risco e desempenho (ICA, 2015).

De acordo com a ISO 31000, o gerenciamento de risco pode ser definido em 4 etapas, como apresentado na Figura 10. Na etapa de identificação, devem ser mapeados os riscos de negócios que podem impactar os objetivos estratégicos da organização, analisando fontes externas e internas, operações similares e aplicabilidade nas diversas áreas, levando em consideração novas exigências legais, regulatórios e de mercado.

Figura 10 – Etapas de gerenciamento de risco



Fonte: Adaptado ISO 31000 (2018, p.9)

A análise do risco se inicia pela avaliação do cenário, que estabelece o contexto em que o risco está inserido. E avaliar as consequências potenciais, além das probabilidades para cada cenário. A avaliação deve considerar o pior cenário, para identificar qual o impacto de maior severidade caso o risco se

materialize, e mapear os controles preventivos e mitigatórios que devem ser implementados para se adaptar às mudanças previsíveis.

Esse processo de avaliação pode ser conduzido com a utilização da matriz de risco, tem a metodologia similar a classificação de prioridade de ativos e é a combinação da frequência/probabilidade e severidade dos eventos. A Figura 11, representa um exemplo de matriz risco, podendo ter nomenclaturas diferentes adequadas a realidade da empresa.

Figura 11 – Matriz de Risco

GRAU DE RISCO	CATEGORIA	CONDIÇÕES	AÇÕES
I	CRÍTICO	Não aceitável	Verificar se existe alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha ou reduzir o risco para grau III. Caso contrário, deve ser mitigado com projetos/ações no prazo de 6 meses.
II	SÉRIO	Indesejável	Verificar se existe alguma estratégia para evitar a falha ou reduzir o risco para grau III. Caso contrário, deve ser mitigado com projetos/ações no prazo de 12 meses.
III	MODERADO	Aceitável com Controles	Verificar estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha. Caso contrário, devem ser criados procedimentos ou controles.
IV	MENOR	Aceitável com Avisos	Sinalização e avisos são algumas das medidas necessárias. Verificar se alguma estratégia ou tarefa de manutenção para evitar a falha é economicamente viável.
V	DESPREZÍVEL	Aceitável	Nenhuma mitigação requerida

Fonte: ICA (2015, p.35)

Os níveis de risco I, II ou III, demonstram que o modo de falha analisado é considerado como tendo impacto no meio ambiente, saúde ou segurança. Neste caso, deve-se definir uma estratégia ou iniciativa de manutenção que atenda aos critérios previamente definidos ou alterar as especificações do projeto.

No momento do tratamento dos riscos que serão elaborados os controles, deve-se levar em consideração também a hierarquia das medidas de controle de riscos, baseada na ISO 45001 (Sistema de Gestão de Saúde e Segurança), que contempla uma hierarquia para implementação de controles

eficazes, caracterizada por controles de maior efetividade em ordem decrescente, demonstrada na figura 12.

Figura 12 – Hierarquia de Controle de Riscos



Fonte: Adaptado ISO 45001, 2018.

Ainda na figura 10, o objetivo da comunicação e negociação é ajudar as partes interessadas relevantes a compreender os riscos, a base para a tomada de decisões e as razões para ações específicas que precisam ser tomadas. A comunicação visa aumentar a consciência e compreensão dos riscos, enquanto a consulta envolve a obtenção de feedback e informações para apoiar a tomada de decisões.

A prática da gestão de riscos na gestão de ativos é justamente garantir que o sistema de gestão de ativos alcance os resultados esperados, prevenir ou reduzir eventos e efeitos indesejáveis, obter a melhoria contínua e priorizar ações com base em custos, riscos e desempenhos (ICA, 2015).

Para que a gestão de ativos seja eficaz, é necessário a permanente avaliação dos riscos, eliminando os que forem exequíveis e controlando os demais para garantir o desempenho desejável a custos adequados. E para que esses resultados sejam alcançados é de suma importância o acompanhamento dos ativos ao longo do seu ciclo de vida, assunto do próximo título, que abordará o gerenciamento do ciclo de vida dos ativos ou *Life Cycle Management* (LCM).

3.4 Gerenciamento do Ciclo de Vida do Ativo

A norma PAS-55 (2008) e a ISO 55000-1 (2014) tornam o monitoramento do ciclo de vida de ativos baseado no risco um fator fundamental da Gestão de Ativos. O gerenciamento do ciclo de vida ou *Life Cycle Management* (LCM) começa com a análise do custo do ciclo de vida do ativo ou *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) e se estende a outras áreas de um sistema de gestão integrado: saúde, segurança e meio ambiente. Adotar a análise LCM impactará diretamente no conceito de manutenção, pois permite abrir uma perspectiva, mesmo sobre um conceito mais claro de falha, para classificar fenômenos, levando em consideração os papéis dos stakeholders nas diversas etapas do ciclo de vida do ativo (NETO, 2018).

A gestão do ciclo de vida dos ativos é uma parte importante da gestão de ativos, que requer a aplicação de padrões técnicos e econômicos para a tomada de decisões. Além de fornecer uma compreensão mais profunda do comportamento dos ativos, também pode ajudar as empresas a determinar o tempo correto de descarte e como eles devem ser descartados para minimizar o impacto ambiental associado.

Segundo a *International Copper Association* - ICA (2015), o ciclo de vida é o tempo de vida de um ativo dentro da empresa, desde o conceito ou especificação até a reciclagem ou descarte. No ciclo de vida, eventos causados por emergências, acidentes ou falhas irão acelerar o final da vida útil do ativo e reduzir a vida esperada ou o tempo de uso restante do ativo nas condições exigidas.

Segundo a PAS 55 (2008), a gestão do ciclo de vida dos ativos físicos está intimamente ligada aos ativos humanos, informacionais, financeiros e intangíveis. Como mostra a figura 13, desvios nesse processo podem impactar não só financeiramente, como a reputação da empresa (ativos intangíveis), caso ocorra um acidente de dimensões catastróficas, desmotivação da equipe (ativos humanos) e falhas de informações (ativos informacionais) causadas pela baixa confiabilidades desses ativos.

Figura 13 – Interface entre ativos físicos e financeiros



Fonte: Adaptado da PAS 55 (2008)

Percebe-se a partir disso, que mesmo que o impacto mais relevante seja o financeiro, mas implicará em mudanças na Estratégia de Manutenção e conseqüentemente no Gerenciamento de Ativos. O gerenciamento do ciclo de vida do ativo possibilita aos gestores embasamento na tomada de decisão para prevenção de investimentos que podem ser prejudiciais a longo prazo, como por exemplo avaliar a viabilidade econômica de aquisição de um ativo que a priori possui custo baixo, porém a soma de todos os custos ao longo de seu ciclo de vida será elevada.

O gerenciamento do ciclo de vida dos ativos deve realizar avaliação e registro de eventos, acidentes e falhas que ocorrem, possuir estratégias de manutenção específicas, analisar o custo do ciclo de vida, ter um sistema de gestão dos riscos, confiabilidade e probabilidade de falhas. E incluir sistemas de monitoramento contínuo que permitam que a equipe estime a vida restante com base na gravidade dos eventos que ocorrem ao longo do ciclo de vida e determine o tempo exato para substituir o ativo antes que ocorra uma falha irreversível (ICA, 2015).

Um dos principais desafios da gestão do ciclo de vida de ativos físicos é quantidade escassa de critérios, ou instruções que regulamentem a implementação dessa técnica, já que não há uma norma oficial para a mesma e a falta de dados dos ativos ao longo da sua vida, que geralmente não são acompanhados de forma contínua. A técnica acaba sendo utilizada como ferramenta das áreas de engenharia e os resultados analisados para tomada de decisão das áreas de gestão.

Fortune e James (2015), relatam que o LCCA, é pouco utilizado, devido baixo conhecimento dos profissionais, falta de dados confiáveis em longo prazo e a inexistência de acompanhamento do ciclo de vida durante o uso e/ou funcionamento do ativo.

Nessa conjuntura, a Engenharia de Confiabilidade deve fornecer as condições necessárias para que essas informações possam ser coletadas e as ferramentas e métodos adequados a serem aplicados durante todo ciclo de vida do ativo, para se obter o entendimento do impacto de cada ativo na criação de valor para o processo ou para toda a organização e implantar uma cultura proativa.

A ABNT na NBR 5462 (1994, p.3) define confiabilidade como “a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. A confiabilidade pode ser representada pela equação **(1)**, onde o símbolo ξ representa o tempo até a falha (*time to failure* - TTF).

$$R(t) = 1 - F(t) = P\{\xi > t\} \quad (1)$$

Uma segunda definição importante é a manutenibilidade, de acordo com a NBR 5462 (1994, p. 2) é “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos”. Ela é representada matematicamente pela equação **(2)**, e o tempo é representado pelo símbolo ρ e este se refere ao tempo para reparo (*time to repair*, TTR) e não mais tempo até a falha.

$$M(t) = 1 - F(t) = P\{\rho > t\} \quad (2)$$

E por fim a definição de disponibilidade, que é conceituada pela NBR 5462 (1994, p.2), como a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

Conforme equação (3), através dela é possível avaliar o desempenho de um ativo em função do tempo médio entre falhas e o tempo médio para reparo (CRISTOFARI JR, 2017). A disponibilidade é um dos indicadores principais medidos no processo que será estudado no estudo de caso.

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

MTBF – Medium Time Between Failure ou Tempo Médio entre Falhas;

MTTR – Medium Time to Repair ou Tempo Médio para Reparo.

Seguindo a orientação da ISO 55000, integrar essas definições em uma organização pode ajudar a desenvolver uma infraestrutura de gerenciamento que se concentra na percepção do valor agregado dos ativos.

4 METODOLOGIA DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA

Nesse capítulo, vamos discorrer sobre a metodologia da análise do custo do ciclo de vida, frente a essa problemática.

Segundo Brick e Pilla (2004, apud NETO, 2018, p. 47), a análise de custo do ciclo de vida está apoiada nos elementos de custos, que são “valores determinados com base na utilização de técnicas de estimativas e de otimização que são combinadas entre si, de acordo com a natureza do problema em questão e com as necessidades e objetivos de análise”.

Os principais elementos de custos considerados no meio industrial, são os elementos de operação e manutenção e podem se diversificar de acordo com o nível de detalhamento e acesso dos dados que se podem mensurar (MOREIRA NETO et al, 2016). Na prática são os custos mais difíceis de controlar, prever e mensurar do meio industrial.

Alguns métodos são propostos por Mileipe (2017) para realização das estimativas de custo:

- Método determinístico de estimativa de custo

Este é o método de determinação de custos mais preciso e deve ser usado sempre que possível. Utiliza poucos elementos, muitos dados e boa precisão. Inclui investigar o histórico de custos de um ativo e replicá-lo em equipamentos idênticos.

- Método análogo de estimativa de custo

É o segundo método mais preciso de determinação de custos, pois foi desenvolvido a partir da aplicação de métodos determinísticos, para um ativo específico com tecnologia ou componentes semelhantes, utilizando esses resultados da avaliação de custos como referência para a análise de ativos semelhantes e possui baixa precisão.

- Método probabilístico estocástico de estimativa de custo

Existem 3 formas de obter a distribuição de falhas de um ativo, uma é através da obtenção do estudo de dados de vida do fabricante, a outra é realizar apuração das falhas e usar um software para modelar sua distribuição e, finalmente, coletar esses dados por meio de testes de vida acelerados, que incluem o uso de bancadas de teste, a fim de acelerar a degradação dos

componentes (MILEIPE, 2017, p.66). Utiliza-se de muitos dados, gera uma previsão futura e possui melhor precisão.

A característica em comum das metodologias é a necessidade de dados, o que nem sempre é fácil dentro da realidade industrial. Entretanto, segundo Blanchard e Fabrycky (1991, apud NETO, 2018), a prática nos mostra que nem sempre são necessários muitos dados como os estudos estatísticos solicitam, devido a experiência sobre o comportamento dos ativos.

E que a modelagem dos valores futuros segundo Moreira Neto, Magalhães e Ribeiro (2016), é “baseada em consultas aos fornecedores, informações bibliográficas ou desenvolvendo técnicas para modelar o comportamento dos equipamentos.” E talvez seja o menos usual por utilizar métodos estocásticos.

Como nem sempre é possível se ter dados determinísticos dos custos, este se mostra como um método ineficaz por não mostrar a incerteza dos resultados ao longo do tempo, sendo necessário trabalhar com dados estocásticos (MARQUES, 2009).

4.1 Análise de Custo do Ciclo de Vida do Ativo

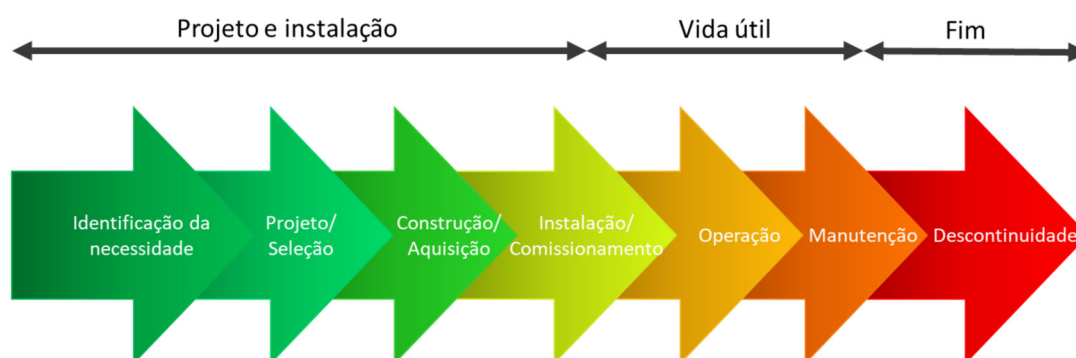
De acordo com Zampolli (2016, p.36), “os custos com reparos ou manutenção corretiva podem atingir mais de 35% dos custos de uma empresa, o que motiva ainda mais as ações para gestão de riscos e minimização de falhas.” Nesse contexto a análise do custo do ciclo de vida do ativo vem para auxiliar na escolha da melhor alternativa para que o menor custo de longo prazo seja atingido.

Um dos principais desafios no âmbito da gestão de ativos físicos é tentar melhorar os processos de quantificação de custos para avaliar o custo total de operação do sistema ao longo de seu ciclo de vida. Em uma empresa, quando é necessário selecionar critérios de seleção de compras, muitas vezes apenas um critério é selecionado e na maioria dos casos, a medida escolhida é considerar apenas o custo de investimento inicial. E isso se deve à falta de informações existentes, falta de padrões ou esclarecimentos sobre o LCC e sobretudo à falta de dados sobre o passado do ativo (MACHADO, 2016).

O Departamento of Energy (DOE) define o LCCA em seu **hand book** intitulado por **Life Cycle Cost Hand Book** (DOE, 2014), como “a soma de todos os custos diretos, indiretos, recorrentes, não recorrentes e outros custos relacionados no planejamento, projeto, desenvolvimento, aquisição, produção, operações e manutenção, suporte, recapitalização e disposição final do ativo ao longo da vida útil requerida para todos os projetos, programas e ativos independentemente da fonte de financiamento”.

Todo ativo tem uma vida útil como mostrado na figura 14. Essa vida é definida como o período que compreende desde sua aquisição até sua descontinuidade (ABNT ISO 55000, 2014). Sua descontinuidade é baseada em decisões tomadas por três fatores, a vida funcional, a vida de fiabilidade e a vida econômica.

Figura 14 – Vida útil de um ativo



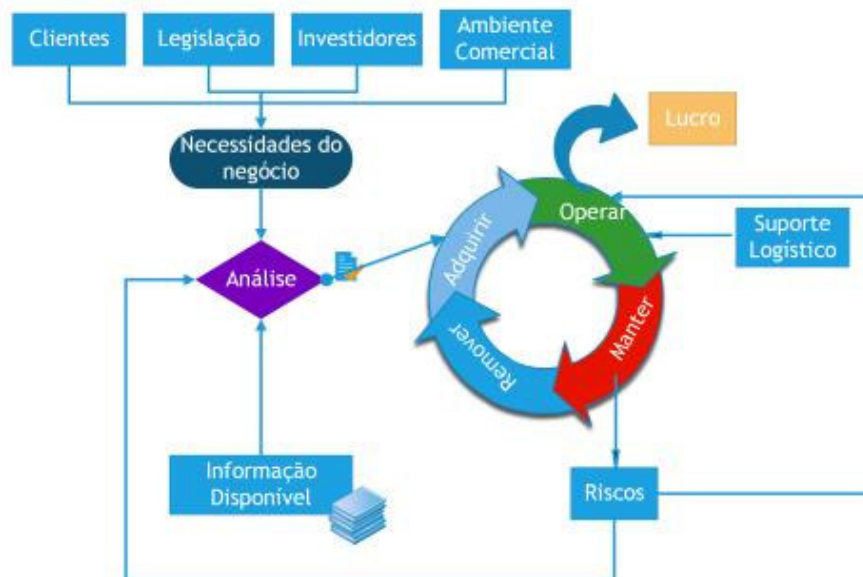
Fonte: Adaptado CRISTOFARI JR, 2017.

A vida funcional está relacionada à obsolescência, neste caso, o equipamento ou sistema pode se tornar caro ou de difícil manutenção, ou pode não atender às necessidades atuais de produção. A vida de fiabilidade está relacionada a quantidade demasiada de falhas que o ativo apresenta, se tornando inutilizável. E a vida econômica está relacionada aos custos operacionais. O equipamento ou sistema ainda pode operar normalmente, mas o custo é muito alto para continuar a ser mantido (MACHADO, 2016).

A análise do custo do ciclo de vida pode ser realizada através de algumas etapas, como mostra a figura 15. Após seleção do ativo que necessita da análise, de acordo com sua criticidade e prioridade definida, se faz necessário

identificar quais análises serão realizadas no estudo, como por exemplo, análise do custo do ciclo de vida, limite de vida útil econômica, entre outras.

Figura 15 – Etapas do LCC



Fonte: MACHADO (2016, p. 13)

Após definição das necessidades do negócio e metas, será realizada a análise de todas as informações disponíveis do ativo a ser adquirido, como históricos de falhas, capacidade, custos associados, entre outros. Na fase dos riscos, ocorre a preparação da empresa para situações futuras afim de se criar planos de contingência adequados em casos de acidentes, mudanças de climas e demais situações que podem impactar o funcionamento da empresa.

A fase de análise, consiste basicamente nas análises financeiras e de ofertas de mercado. O resultado das análises possibilita a execução da fase de aquisição, que é fase com maior impacto, pois irá influenciar nas demais fases do ciclo. A fase seguinte é de operação do ativo, na qual faz necessário todo cuidado da relação ativo-operador, pois a operação incorreta conduz ao aumento de falhas, diminuição do desempenho, levando conseqüentemente a redução do ciclo de vida do ativo (MACHADO, 2016).

As fases de suporte logístico e manutenção tratam de forma correspondente a estratégia de sobressalentes e de manutenção preventiva. E finalmente a fase mais discutida de todo processo o abate ou descarte do ativo, que pode ser realizada por inúmeros motivos, porém esta decisão deve ser tomada em conformidade com o plano definido pela empresa e de acordo com

as necessidades e metas. Uma estratégia frequentemente utilizada na substituição de ativos é realizar uma análise comparativa do custo total de manutenção do ativo versus o custo de aquisição de um novo ativo. A substituição deve ocorrer quando o custo anual de manutenção exceder o custo anual calculado do novo item ao longo de seu ciclo de vida.

Neto (2018) enfatiza que dentre os vários elementos de custos existentes na literatura os mais impactantes dentro da rotina de uma indústria são os relacionados com operação e manutenção. Nas indústrias consideradas de ativos intensivos, tais como mineradoras, que é o cenário do estudo do presente trabalho, o LCCA se destaca principalmente por tratar do maior tempo dentro de todo o ciclo de vida industrial, ou seja, o período de operação propriamente dito do ativo.

Farias e Fernandes (2014, apud CRISTOFARI, 2017, p.32) apresenta a teoria para o LCC de maneira simplificada através da equação 4.

$$LCC = Ca(t) + Cm(t) + Cd(t) \quad (4)$$

Onde:

Ca(t): Custo de aquisição

Cm(t): Custo de manutenção

Cd(t): Custo de disposição

Para o custo de aquisição, considera-se o valor aquisitivo do ativo, o valor de comissionamento e o capital humano envolvido. Logo ele pode ser apresentado pela equação 5 (CRISTOFARI, 2017).

$$Ca(t) = Ci(t) + Cc(t) + Ch(t) \quad (5)$$

Onde:

Ci(t): custo de aquisição do ativo

Cc(t): Custo de comissionamento

Ch(t): Custo de capital humano

Já o custo de manutenção, será obtido através da soma dos custos envolvidos na manutenção preventiva e corretiva de todos os componentes e todos os serviços realizados para manter a função do sistema durante a sua vida, como apresentado na equação 6.

$$C_m(t) = C_{mp}(t) + C_{mc}(t) \quad (6)$$

Onde:

$C_{mp}(t)$: Custo de manutenção preventiva

$C_{mc}(t)$: Custo de manutenção corretiva

E o custo de disposição, será representado pelo custo de aquisição de todos os ativos (i) dividido pela sua vida esperada, conforme apresenta a equação 7.

$$C_d(t) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{ai}(t)}{Life_i} \right) \quad (7)$$

Onde:

$C_d(t)$: Custo de disposição

$C_{ai}(t)$: Custo de aquisição do ativo i

Life i: Vida esperada pelo ativo

Após levantamento dos elementos de custos é necessário realizar uma correção financeira a fim de provisionar valores futuros para o momento presente através de uma análise econômica. O LCC considera esses valores futuros para contabilizá-los em um valor temporal do dinheiro (NETO, 2018).

4.2 Análise Econômica

A análise econômica de um ativo durante toda sua vida útil, ainda é um método pouco utilizado pelas áreas de manutenção, pois geralmente só se foca no valor de aquisição do ativo inicialmente. Se os impactos econômicos não forem controlados durante sua utilização, um ativo que inicialmente pelo valor adquirido era uma boa opção, pode se tornar inviável durante seu uso, devido altos gastos com manutenção, além de não se ter a determinação do tempo ótimo para sua descontinuidade e posterior descarte, onerando ainda mais o processo.

A substituição de equipamentos é um conceito amplo, que vai desde a seleção de ativos semelhantes, porém novos, para substituir os existentes, até a avaliação de ativos que desempenham a mesma função de uma forma completamente diferente. As decisões de substituição são fundamentais para as empresas porque costumam ser irreversíveis, ou seja, não têm liquidez e exigem grandes somas de capital. Uma decisão precipitada de "se livrar do desperdício" ou a tendência de sempre ter o "modelo mais recente" pode causar sérios problemas de financiamento (ZAMPOLLI, 2012).

O acompanhamento das condições dos ativos, as análises e diagnósticos apoiarão os planos de manutenção, as reformas, investimentos tecnológicos e as decisões de curto, médio e longo prazo para garantir o melhor retorno de capital investido, o melhor desempenho operacional e o menor risco tanto as pessoas, como ao meio ambiente.

De acordo com Lindoso (2017) existem várias razões que tornam a substituição de um ativo viável economicamente, como a deterioração, custos operacionais excessivos, custos de manutenção crescentes, obsolescência, risco de falhas que podem trazer riscos aos negócios, as pessoas e/ou ao meio ambiente, entre outras.

Para Zampolli (2012, p.40), "as empresas não fazem as substituições que deveriam fazer por causa de um comodismo administrativo: as decisões de substituição não chegam a ser cogitadas, pois o estilo administrativo dominante nas indústrias ainda é o de resolver os problemas só em último caso, e não se antecipar a eles."

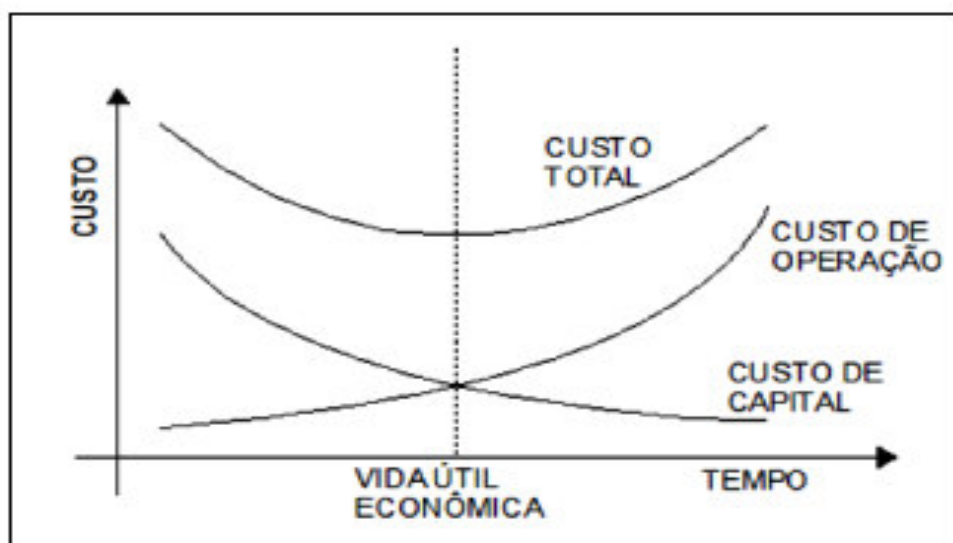
Assim, existem vários métodos que podem ser utilizados para determinar o momento ideal para substituição dos ativos ou avaliar as alternativas de investimento aplicáveis. Segundo Lindoso (2017), são eles: payback descontado, taxa mínima de atratividade (TMA), valor uniforme equivalente (VAUE), taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e custo anual uniforme equivalente (CAUE).

O Payback descontado é o tempo que leva para recuperar o investimento, levando em consideração a taxa de juros aplicada ou TMA. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA), é a taxa mínima de retorno que um investidor se propõe a receber por seu investimento. Já o Valor Uniforme Equivalente (VAUE), é um método que envolve encontrar séries anuais uniformes que sejam iguais aos fluxos de caixa (LINDOSO, 2017).

Ainda segundo Lindoso (2017), a taxa interna de retorno (TIR), “é a taxa que no cálculo do VPL retorna o valor presente líquido a zero.” O VPL é uma métrica financeira que analisa a soma do valor presente de cada período de uma série de pagamentos a uma taxa de juros conhecida e dela deduz o valor inicial desse fluxo. Esse cálculo é extremamente importante, pois o dinheiro recebido no futuro não terá o mesmo valor que o dinheiro no tempo presente.

O custo anual uniforme equivalente (CAUE) é uma medida financeira obtida pela redução do fluxo de caixa a uma série equivalente uniforme utilizando a TMA. A figura 16 mostra a evolução do CAUE ao longo do tempo.

Figura 16 – Custo Anual Uniforme Equivalente



Fonte: Casarotto Filho e Kopittke, 2010

Os custos de capital diminuem ao longo do tempo, enquanto os custos de manutenção e operação fazem o oposto, evoluindo ao longo do tempo. O custo total é a soma dos dois, mostrando um ponto de inflexão onde o custo vai de decrescente para crescente.

Segundo Silva, Nogueira e Reis (2012), o Método do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) propõe que a vida econômica de um ativo corresponde ao momento em que o custo é mínimo e, portanto, o momento ótimo de substituição.

Resumidamente apesar da existência de vários métodos para aplicação do LCC, a metodologia prática mais usual será a já explanada anteriormente na seção 4.1, que segue as etapas de definir o objeto de estudo, os elementos de custos, estimar os eventos, realizar a análise econômica e determinar o LCCA, que será apresentado por meio de fluxos de caixa, gráficos de custos ou planilhas financeiras. Este trata-se do método aplicado no estudo de caso que será apresentado a seguir.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os cálculos, premissas e estimativas para definição da vida econômica útil dos locotratores modelo U400. A princípio o cálculo se baseia na definição da vida econômica útil dos locotratores para embasar a decisão de substituição dos mesmos. A análise se baseia nas etapas da metodologia prática citada na seção 4.1.1.

5.1 Análise do custo do ciclo de vida em frota de equipamentos móveis de empresa mineradora

O trabalho foi desenvolvido em uma Gerência de Manutenção Industrial de uma grande mineradora, com o objetivo de demonstrar os benefícios, desafios e oportunidades da aplicação da análise do custo do ciclo de vida dos ativos (LCCA) durante o processo de implantação e adequação a Gestão de ativos, com foco na mitigação dos riscos inerentes ao negócio e segurança. A aplicação do LCCA visa avaliar economicamente a eficiência do ativo para os resultados desejados e serve como ferramenta de controle proativa para se anteceder as falhas e possíveis impactos que podem causar tanto as pessoas como para o meio ambiente.

5.1.1 A Empresa e seu sistema de gestão

É uma das maiores empresas do país, atuando em vários setores, dentre eles a mineração, operação portuária e logística ferroviária. Está presente em cerca de 30 países e possui em torno de 120 mil empregados, entre próprios e terceiros. É reconhecida em seu setor pela forte cultura prevencionista de segurança das pessoas e amplo investimento em pesquisa e desenvolvimento nos ramos em que atua.

Tem forte participação nas ações de prevenção do meio ambiente, protegendo 8,5 mil Km² de áreas naturais, equivalendo a 6 vezes o total da área ocupada pelas unidades operacionais. E 54% do consumo energético é produzido pela própria empresa.

Apesar do grande enfoque, a empresa sofreu recentemente com uma ocorrência séria, com impactos em vidas de pessoas e no meio ambiente e após

essa tragédia vem se dedicado a repensar não apenas a forma de trabalho, mas a própria visão de mundo e de negócio. O objetivo é buscar reparar o máximo possível os impactos provocados sobre as pessoas e o meio ambiente e focar no aumento da prevenção para que esse tipo de ocorrência nunca mais se repita.

Por isso a empresa vem passando por um processo de transformação cultural e para tanto, institucionalizou, em 2020, o seu sistema de gestão integrada, com diretrizes e protocolos mandatórios para todos os empreendimentos da empresa, desenvolvidos em conformidade à legislação e às melhores práticas sobre tópicos ambientais, sociais e econômicos. A publicação da política desse sistema de gestão, ocorreu em novembro de 2020 e tornou-se um compromisso assumido para o mercado.

O sistema de gestão é similar ao Sistema Toyota de Produção e está dividido em três dimensões, envolvendo elementos relacionados à liderança, ao gerenciamento como um todo e aos processos técnicos e operacionais. É a base para a implantação de forma ordenada e consistente de todos os processos da companhia, em especial a gestão de ativos, com objetivo de obter uma empresa mais segura e com excelência operacional.

Os elementos da dimensão liderança estabelecem um conjunto de práticas de liderança esperadas para reforçar comportamentos-chave e moldar a cultura e a disciplina organizacional.

Os elementos de gestão, que estabelecem rotinas, metodologias e ferramentas de gestão estruturadas para sustentar e melhorar resultados. Além de oferecer um ambiente com condições adequadas de trabalho e assegurando que o ciclo PDCA gire em sua plenitude e se atinja a melhoria contínua desejada.

E os elementos técnicos, que estabelecem políticas, diretrizes e requisitos de processos técnicos comuns para gerenciar ativos e lidar com riscos inerentes ao negócio. Por isso o estudo se enquadra dentro deste elemento do sistema de gestão. Ainda neste elemento, busca-se implementar as melhores práticas de segurança das pessoas, direitos humanos e sustentabilidade empresarial para que sejam replicadas em toda a organização, considerando os impactos, riscos e requisitos legais relacionados às atividades, utilizando os critérios mais restritivos para assegurar a segurança, definindo medidas e controles de engenharia ou administrativos para os processos.

5.1.2 Estrutura Hierárquica

A estrutura hierárquica da empresa é bastante diversificada, por causa do seu tamanho, quantidade de empregados e heterogeneidade das áreas em que atua, visto que tem o Conselho de Administração como pico dessa escala, em seguida vem a Diretoria Executiva e seu Diretor-Presidente, mais as Diretorias Regionais, com suas estruturas de gestão específicas, com seus Gerentes Gerais, Gerentes, Coordenadores e Supervisores.

O Conselho de Administração, nível máximo da estrutura, faz a ligação entre os acionistas e o corpo de gestão da empresa, uma vez que é responsável por determinar as diretrizes da organização e tem a obrigação de zelar por sua longevidade. A Diretoria Executiva é encarregada pela efetivação da estratégia de negócios estabelecida pelo Conselho de Administração, pela criação de planos e projetos e pelo funcionamento do setor operacional e financeiro da empresa. O Diretor-Presidente tem a responsabilidade de escolher os integrantes da Diretoria Executiva, que precisarão ser ratificados pelo Conselho de Administração. Também atua em parceria com a Diretoria Executiva e o Conselho de Administração. A Diretoria Executiva é constituída por um diretor-presidente, diretores-executivos, diretores de áreas de assistências e consultor, tornando-se o topo da hierarquia de gestão da empresa, onde cada Diretoria Executiva constitui uma hierarquia gerencial de Diretores, Gerentes Executivos, Gerentes Gerais, Gerentes, Coordenadores e Supervisores.

5.1.3 Gerência estudada

A Gerência estudada presta serviços de manutenção preventiva e corretiva nos ativos das oficinas que são responsáveis pela manutenção de equipamentos ferroviários, como locomotivas, trens de cargas, vagões de minérios, vagões de cargas gerais e de combustíveis. Nas oficinas ferroviárias há uma enorme diversidade de equipamentos industriais que têm como a principal função, fazer com que todo o processo de tratamento do minério e logística opere de forma eficiente, segura e sem impactos significativos até seu

destino final, que são as indústrias automobilísticas, siderúrgicas, indústrias de fertilizantes, termoelétricas, dentre outros.

A logística do minério é realizada por vagões e estes, assim como qualquer outro equipamento, precisam passar por manutenções periódicas e reparos quando necessário. As manutenções são realizadas em oficinas especializadas em reparos específicos de cada sistema constituinte de um vagão e sua movimentação entre as oficinas é realizada por caminhões adaptados chamados de locotratores, que será a frota objeto de estudo deste trabalho.

5.1.4 Frota Locotratores Mercedes U400

O Locotrator é um equipamento rodoferroviário, com uma parte construtiva em pneus veiculares outra parte com rodas ferroviárias para se locomover em linhas férreas. Possui características semelhantes à de uma locomotiva de pequeno porte, com adaptações e acessórios implementados que permitem sua funcionalidade tanto no modo rodoviário, como ferroviário. Este ativo tem a função de realizar a movimentação de vagões dentro de oficinas em pequenos lotes e em baixas velocidades, que podem ser tanto para transporte de pessoas, como de cargas, como exemplificado na figura 17.

Figura 17 – Ilustração locotrator movimentando cargas em linha ferroviária.



Fonte: MERCEDES BENZ, 2018

Alguns modelos são fabricados para essa função desde a criação do projeto, outros são adaptações feitas em caminhões com instalação de

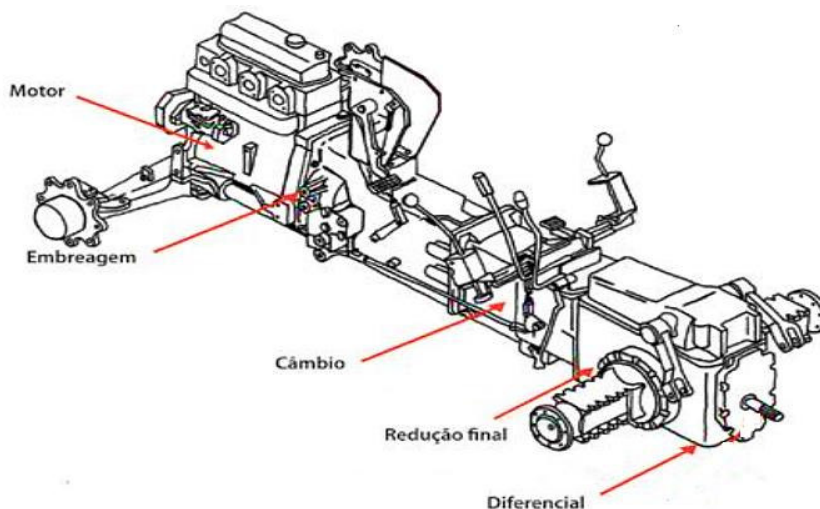
implementos que compõem uma estrutura ferroviária com eixos ferroviários e sistemas pneumáticos exclusivos. Há também modelos construídos para serem operados presencialmente por motoristas, outros para serem controlados de forma remota com dispositivos via rádio.

A criação do locotrator se deu devido à dificuldade de manobras de vagões dentro de oficina e de pátios utilizados ao longo dos trechos de ferrovias pois muitas dessas oficinas e linhas são curtas e de difícil acesso para locomotivas. Para as indústrias ferroviárias, como as mineradoras por exemplo, esse grupo de maquinários são de grande importância devido a especificidade para a qual foram construídas e por serem utilizados em atividades essenciais dentro das empresas que são as movimentações de um dos principais meios de transporte de matéria prima.

Ele é composto basicamente por uma base (chassi), cabine de comando e um conjunto de força divididos em motor, transmissão e eixos diferenciais. Possui ainda uma eletrônica embarcada complexa com sistema de controles e comandos que possibilita o monitoramento de temperatura, pressão e qualidade do sistema pneumáticos e sistemas hidráulicos e também a geração de energia elétrica para suprir as cargas instaladas no equipamento. O sistema ferroviário também possui um sistema de controle independente que são utilizados quando operados em modo ferroviário.

Seu funcionamento se dá através de um motor à combustão que possui por sua vez um sistema de partida elétrico composto por um motor elétrico e baterias que podem ter cargas entre 12 e 24 volts dependendo do fabricante. A figura 18 mostra de forma simplificada o sistema de transmissão do equipamento que é compatível com qualquer veículo automotor a combustão.

Após o motor à combustão entrar em funcionamento, sua força de giro é transferida através de um conversor de torque hidráulico que transforma essa energia giratória do eixo e multiplica sua força para uma transmissão de marchas que por sua vez possui conjuntos de engrenagens que após receberem comandos eletro hidráulicos enviados eletricamente pelo câmbio de marchas, gira um conjunto de eixos cardans que transfere a movimentação para os eixos diferenciais que acionarão um conjunto de engrenagens finalizando o ciclo transferindo o movimento para as rodas do equipamento fazendo com que ele se desloque.

Figura 18 – Sistema de transmissão automotivo

Fonte: PADOVAN, 2021.

Para executar a função de tracionador, ele possui um conjunto formado por compressor, reservatórios de ar, válvulas, motores e bombas hidráulicas além de componentes menores nas linhas de alimentação que servem para abastecimento dos vagões, que necessitam entrar em estabilidade pneumática para liberação dos freios e movimentação conjunta com o locotrator.

5.2. Problemática

A empresa em estudo vem passando por uma padronização dos seus processos, com forte atuação na gestão de ativos. E para que se obtenha sustentabilidade nesses processos, a análise LCC vem sendo um dos métodos com grande utilização para tomada de decisão, quanto a comparação de diferentes projetos e alternativas técnicas, definição de fornecedores, das estratégias de manutenção e na definição do tempo ótimo de substituição dos equipamentos, a fim de obter a melhor solução operacional sem comprometer a disponibilidade e produtividade, ajudando as empresas a alcançarem seus objetivos estratégicos. (FRACALLOSSI, 2017).

Assim, se faz necessário conhecer o cenário da gerência acompanhada durante o estudo, quanto aos resultados dos principais indicadores, os impactos e principais problemáticas para que se possa realizar

a definição do objeto de estudo. Como parte desse processo de implantação da gestão de ativos, trata-se da primeira aplicação prática de uma análise do custo do ciclo de vida de um ativo da área em questão.

Os principais indicadores da Gerência estudada e que impactam diretamente nos resultados da empresa, são a Disponibilidade Física (DF), Tempo Médio entre Falhas (MTBF), Aderência a Programação da Manutenção (APM) e Custo Fixo Absoluto. E observou-se principalmente nos últimos anos a falta de estabilidade no alcance das metas dos indicadores de DF, MTBF e Custo Fixo Absoluto, influenciando diretamente nas metas anuais do setor.

Decidiu-se por realizar a análise dos principais impactos através da coleta dos dados que compõem esses indicadores, que são quantidade de falhas que influenciam diretamente nos indicadores de DF e MTBF e os custos com manutenções, principalmente corretivas e o alto potencial de risco e impactos ambientais que certas falhas oferecem.

O período de coleta de dados utilizado no presente estudo abrangerá os quatro últimos anos, e mesmo utilizando uma base relativamente grande de tempo, ainda sim encontram-se dificuldades para a obtenção de dados confiáveis e detalhados. As informações dos ativos são controladas através do sistema informatizado de manutenção que a empresa utiliza e estes são identificados de acordo com sua denominação e oficina onde está instalado.

Por isso a importância de todas as ocorrências e informações relativas as manutenções preventivas, corretivas, materiais e mão de obra associada ao ativo devem ser devidamente registrada em sistema para que sirva como base para estudos como o que será apresentado e consequentes tomadas de decisões assertivas.

Avaliando os dados relacionados às falhas nos principais ativos que a área é responsável por manter, verifica-se através do gráfico mostrado na figura 19, as oficinas que sofrem maior impacto devido falhas dos ativos localizados nestas. As 3 oficinas mais impactadas durante os anos de 2017 a 2020, foram as oficinas MANVG, OFCMR e OFCTR, que serão assim identificadas por siglas para preservar informações da empresa.

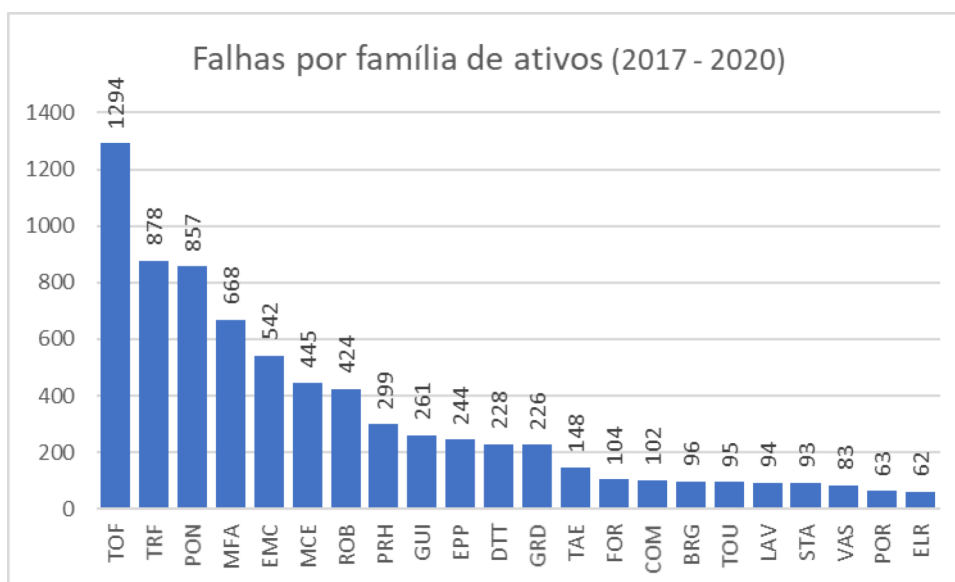
Figura 19 – Quantidade de falhas por oficina



Fonte: Próprio autor, 2021

Estratificando os dados e detalhando quais famílias de ativos mais falham nestas oficinas, destacam-se os tornos CNCs (TOF), locotratores (TRF) e pontes rolantes (PON), como demonstrado na figura 20.

Figura 20 – Falhas por família de ativos



Fonte: Próprio autor, 2021

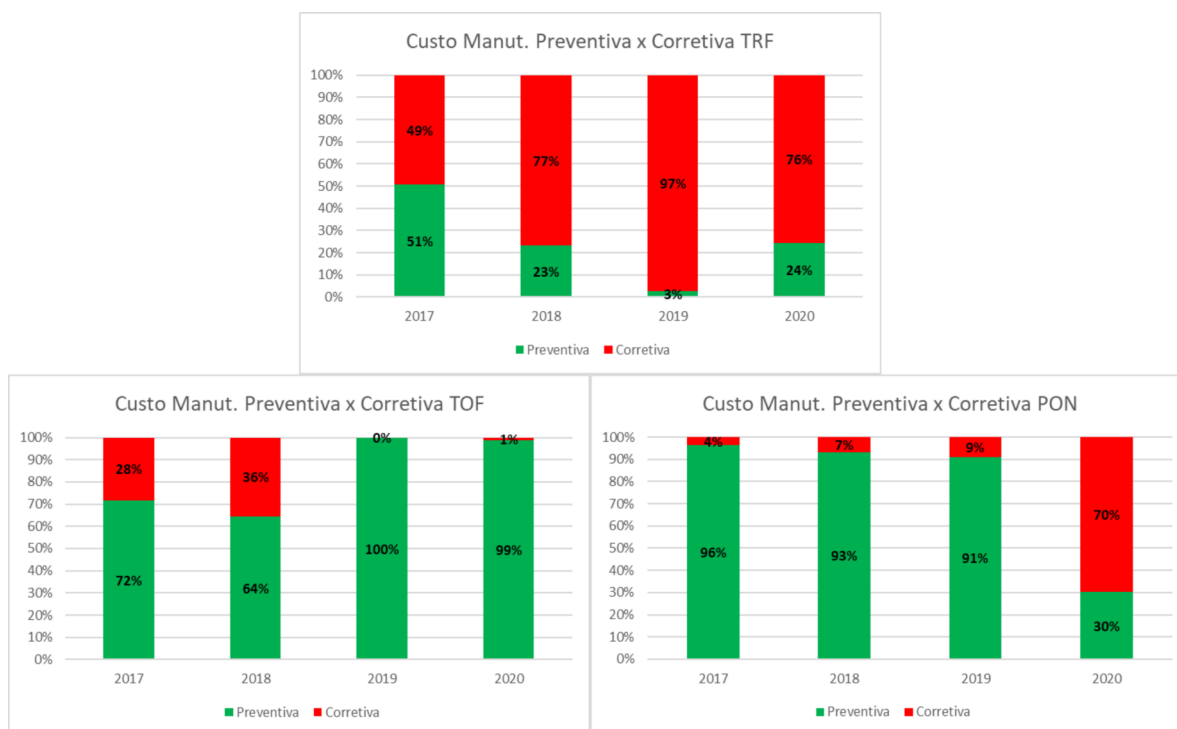
O ponto de atenção que pode ser destacado com a análise do gráfico, é que são equipamentos críticos para o processo produtivo, pois os tornos realizam a usinagem dos rodeiros dos vagões e locomotivas que precisam estar dentro das medidas corretas para operação sobre os trilhos e não haver riscos de descarrilamentos, que ocasionam tombamentos de vagões, que por sua vez oferece risco a integridade das pessoas, poluição devido derramamento de minério nas vias, além dos impactos de parada dessas linhas, parando todo o processo de transporte de minério de ferro.

Os locotratores que realizam a logística dos vagões de minério entre as oficinas de manutenção e as pontes rolantes que auxiliam no içamento dos componentes durante as manutenções dos vagões. Sem esses ativos, os vagões não são mantidos e conseqüentemente não são liberados para o transporte de minério. E mesmo sendo ativos tão importantes para o processo, representam um impacto de 40% das falhas registradas.

Essas falhas impactam diretamente nos indicadores de MTBF e DF, que possuem como base de apuração a quantidade de falhas. Quanto maior a quantidade de falhas, menor o tempo entre falhas (MTBF), diminuindo o resultado do indicador. E cada hora de parada desses ativos impactam na disponibilidade física (DF) dos equipamentos. Embora exista uma estratégia de manutenção vigente com foco preventivo, os impactos negativos desses indicadores, demonstram que a área não possui uma cultura proativa, que se antecede as falhas e sim reativa.

Outro indicador importante para a área estudada e resultados gerais da empresa é o Custo Fixo, que é composto pelos custos tanto de manutenções preventivas, como corretivas. A figura 21 mostra que enquanto os locotratores (TRF) durante os quatros anos tiveram mais de 80% dos custos em corretivas, as pontes (PON) tiveram 46% dos custos empregados em corretivas e os tornos (TOF) apenas 6%. O que ratifica, que mesmo com uma estratégia de manutenção empregada, não é suficiente para garantir confiabilidade ao ativo, aumentando o custeio da área com corretivas emergenciais, além da exposição a riscos com atividades não planejadas.

Figura 21 – Comparativo entre os custos de preventiva e corretivas dos 3 ativos que mais falham.



Fonte: Próprio autor, 2021

Segundo Lindoso (2017), quando o ativo não contribui mais financeiramente e após determinado tempo, apresenta custos de manutenção elevados, considerando o tempo entre reparos, deve-se realizar a análise econômica do ativo.

Feng e Figliozzi (2012) apontaram que, substituir uma frota antiga por uma nova, pode reduzir o custo de manutenção, pois quanto mais antiga a frota, maior o seu custo de manutenção, por outro lado, a substituição da frota aumenta o custo de capital significativamente. A questão é agravada quando as decisões de substituição são tomadas em grandes frotas e quando as restrições de orçamento e demanda são consideradas. No entanto, a pesquisa mostra a necessidade de identificar o momento ideal para mudar de frota para minimizar o custo líquido ao longo da vida útil do veículo (apud RIECHI; TORMOS e HILLEBRAND, 2017, p.669).

5.3 Análise do Custo do Ciclo de Vida da Frota Locotrator U400

Para elaboração da análise do Ciclo de Vida dos ativos, se faz necessário a coleta dos dados técnicos necessários sobre o ativo para efetuar o estudo. Para que se possa obter o somatório de todos os custos ao longo da vida útil do ativo.

O gráfico da figura 22, mostra a representação ideal dos custos ao longo do ciclo de vida de um ativo segundo a Australian National Audit Office (2011), em que os custos devem ser maiores durante a fase de projeto e aquisição, estabilizando-se durante os anos de utilização com os custos de manutenção e operação, seguida de salto leve durante sua fase de descarte, mas não ultrapassando os custos de operação e nem de aquisição.

Figura 22 – Custos ideais durante ciclo de vida de um ativo.



Fonte: Australian National Audit Office (2011)

Por isso, a partir do cenário apresentado na seção 5.2, tomou-se a decisão de que além de ferramentas de confiabilidade que já estavam sendo aplicadas para melhorar a disponibilidade física desses ativos e garantir a confiabilidade destes, seria necessário realizar a análise econômica através do LCC, para verificação da viabilidade de se manter o ativo em operação devido os gastos exorbitantes que estavam ocorrendo, para se obter o embasamento para decisão de descarte/substituição.

5.3.1 Definição do objeto de estudo

Se o gráfico da figura 19 fosse analisado isoladamente, a análise do ciclo do custo de vida seria aplicada na família dos tornos, porém com o comparativo entre os custos dos 3 principais ativos que lideram o ranking de falhas mostrado na figura 20, é nítido verificar que a família de locotratores, além do elevado número de falhas, também é família de ativos que apresenta maior impacto nos custos não planejados, ou seja, nas corretivas emergenciais. Definindo-se assim, o objeto de estudo para a aplicação da análise do custo de ciclo de vida (LCC).

Os locotratores modelo U400, foram adquiridos no início de 2013 para compor a frota de locotratores que era composta até então apenas por dois outros ativos semelhantes, porém de outro modelo e fabricante. Por se tratarem dos únicos ativos que realizam a movimentação dos vagões entre as oficinas de manutenção, são ativos imprescindíveis para o negócio, impactando diretamente no transporte de minério, foram adquiridos 3 locotratores Mercedes modelo U400 para compor a frota.

Ressalta-se novamente, que apesar da aquisição da frota ter sido realizada em 2013, o período abordado englobará os quatro últimos anos devido dificuldades encontradas no acesso a informações sobre o ativo. E os dados financeiros serão apresentados hora em percentuais, hora em valores contábeis aproximados por não haver permissão para divulgação deles.

É um ativo classificado como ativo de prioridade A pois de acordo com sua matriz de prioridade mostrada na tabela 01 no anexo A, levando em consideração sua base histórica de corretivas emergenciais, foram selecionadas as principais falhas e os piores cenários ocasionados por estas e verificou-se que os principais impactos são na segurança, meio ambiente e finanças da empresa.

A definição de prioridade do ativo é outro fator imprescindível no processo de gestão de ativos, para que se possam definir os acompanhamentos, monitoramentos e medidas de controle corretos desses equipamentos.

5.3.2 Elementos de custos

Em respeito ao sigilo de informações da empresa, neste trabalho os custos não são reais, foram arbitrados custos mantendo a ordem de grandeza e proximidade de valores para não impactar na análise e alguns valores, como de aquisição por exemplo, foram obtidos do próprio fornecedor do equipamento para representar da forma mais aproximada possível dos valores reais.

O custo de aquisição de cada ativo fica em média R\$ 1.786.260,16, como foram adquiridos 3 equipamentos do mesmo modelo, o valor total de aquisição foi de R\$ 5.358.780,48. Os custos para manter o ativo, o que envolve as manutenções preventivas e corretivas durante os quatro anos de análise compreende em média R\$ 2.336.467,07, o que equivale a 44% do valor de aquisição.

Figura 23 – Demonstração dos custos de manutenção por ativo

Manutenções Preventivas e Corretivas							
Rótulos de Linha	2017	2018	2019	2020	Total Geral		
ATIVO A	R\$ 43.480,51	R\$ 102.944,94	R\$ 432.942,61	R\$ 246.259,01	R\$ 825.627,07		
ATIVO B	R\$ 48.196,71	R\$ 156.832,96	R\$ 334.556,95	R\$ 373.053,58	R\$ 912.640,20		
ATIVO C	R\$ 39.059,10	R\$ 72.383,35	R\$ 295.621,58	R\$ 191.135,77	R\$ 598.199,80		
Total Geral	R\$ 130.736,32	R\$ 332.161,25	R\$ 1.063.121,14	R\$ 810.448,36	R\$ 2.336.467,07		

Custos Operacionais							
Rótulos de Linha	2017	2018	2019	2020	Total Geral		
ATIVO A	R\$ 35.532,00	R\$ 36.815,40	R\$ 41.014,60	R\$ 77.830,00	R\$ 191.192,00		
ATIVO B	R\$ 27.288,00	R\$ 29.575,40	R\$ 6.950,40	R\$ 36.525,80	R\$ 100.339,60		
ATIVO C	R\$ 26.028,00	R\$ 26.824,20	R\$ 27.548,20	R\$ 54.372,40	R\$ 134.772,80		
Total Geral	R\$ 88.848,00	R\$ 93.215,00	R\$ 75.513,20	R\$ 168.728,20	R\$ 426.304,40		

Fonte: Próprio autor, 2021.

A planilha da figura 23 demonstra os custos de manutenções por ativo em cada ano e os custos operacionais que basicamente são gastos com abastecimento do equipamento, resultando em um total de R\$ 426.304,40.

A área de atuação dos locotratores são as oficinas de manutenção de vagões. Esses vagões possuem 2 estratégias de manutenção, um chamado de plano M01 e o M02. Este último são os planos considerados mais críticos, pois envolvem manutenção dos freios dos vagões.

Para cálculo das perdas de produção com a parada de um locotrator, alguns dados de produção, como demanda de planos anual e média de planos executados por dia são apresentados na tabela da figura 24.

Figura 24 – Demanda média de planos de manutenção em vagões

Planos	Demanda média	Prod. Média Vagõesxdia	Percentual por Plano
M01	13242	36,28	81,42%
M02 (Ativo Crítico-Plano de Freio)	3021	11,62	18,58%
Total	16263		

Fonte: Próprio autor, 2021.

Como apresentado na tabela considerando a demanda total de planos por ano, um planejamento de execução diária para planos M01 e semanal para os planos M02, a produção em média será de 36 vagões por dia para o primeiro e 12 vagões por dia para o segundo respectivamente. Considerando os 3 locotratores existentes e uma demanda diária de 48 vagões por dia, cada locotrator será responsável por realizar a logística de 16 vagões para os postos de trabalho para serem mantidos e liberados para o transporte de minério.

Cada vagão tem capacidade de transportar 105 toneladas de minério de ferro e sempre que há demanda de transporte de minério, um trem leva 330 vagões, o que equivale a 34.650 toneladas. A média do preço da tonelada de minério fica na faixa de R\$ 100,00, então o valor transportado por um trem é de aproximadamente R\$ 3.465.000,00.

Como já falado anteriormente o plano M02 é o mais crítico por se tratar de manutenção no sistema de frenagem dos vagões, então são planos que não podem sofrer desvios ou serem postergados. Logo, se por qualquer motivo o plano não for realizado, os vagões que estão selecionados para estes planos não podem ser liberados.

Considerando o fator percentual que cada plano representa na tabela da figura 22, um locotrator recebe demanda de 3 vagões para planos M02 por dia. Se um locotrator parar devido falha, considerando essa média de vagões para M02 por dia e a necessidade de se formar um lote com 330 vagões, para um trem realizar transporte de minério, a perda estimada por dia é de R\$ 31.431,00 e R\$ 1.309,63 por hora de parada.

5.3.3 Estimativa de eventos

Os dados de eventos foram coletados do sistema informatizado de manutenção (SAP), para compor a fase de mineração e tratamento dos dados no período selecionado disponível. Através desse sistema é possível realizar os cálculos das horas de paradas dos ativos e serviços realizados nas manutenções

corretivas e preventivas, porém, o apontamento do modo de falha é manual, permitindo algumas vezes a infidelidade de informações.

Os locotratores são ativos que tem influência direta no indicador de MTBF por apresentar alta quantidade de falhas como já exposto na figura 19 e consequentemente impactando negativamente o resultado, como mostra a tabela 2, que indica que em média o ativo só fica em operação 300 horas até falhar novamente, o que equivale apenas 12 dias em operação. Desempenho considerado ruim, visto que sua estratégia básica de manutenção é mensal, ou seja, minimamente este ativo deveria permanecer em funcionamento durante um mês.

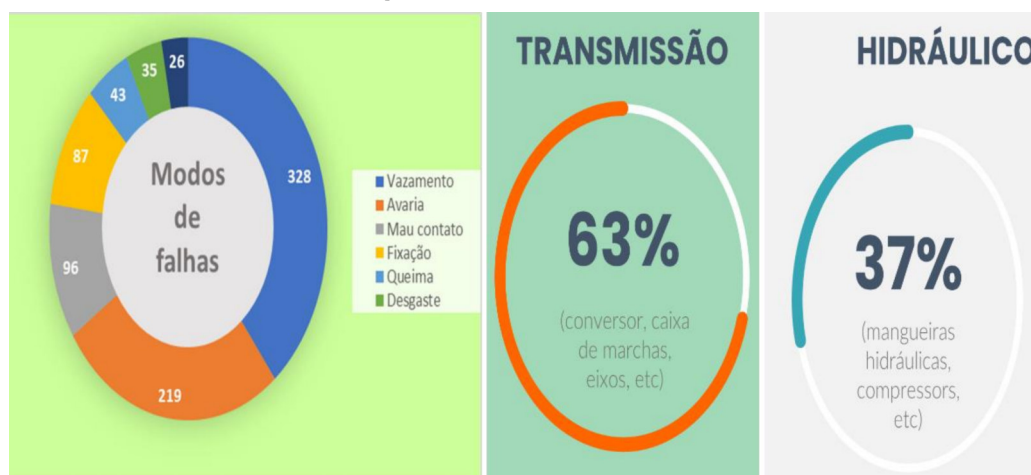
Tabela 2 – MTBF Locotratores U400

MTBF Anualizado	2017			2018			2019			2020			Total	
	Corretiva (h)		MTBF(h) Real	Corretiva (h)		MTBF(h) Real	Corretiva (h)		MTBF(h) Real	Corretiva (h)		MTBF(h) Real	Corretiva (h)	
	Emerg (YEM)	Qtd Falhas		Emerg (YEM)	Qtd Falhas		Emerg (YEM)	Qtd Falhas		Emerg (YEM)	Qtd Falhas		Emerg (YEM)	Qtd Falhas
ATIVO A	52,55	23,00	378,58	3603,23	18,00	286,49	1062,61	22,00	349,88	642,95	32,00	254,41	5361,33	95,00
ATIVO B	2958,99	26,00	223,12	1120,80	25,00	305,57	4727,92	21,00	192,00	3544,12	12,00	436,66	12351,83	84,00
ATIVO C	141,46	19,00	453,61	1910,33	16,00	428,10	2991,01	19,00	303,63	4357,58	20,00	221,32	9400,37	74,00
Total	3152,99	68,00	340,10	6634,36	59,00	332,98	8781,53	62,00	282,23	8544,65	64,00	278,24	27113,54	253,00

Fonte: Próprio autor, 2021

A figura 25 mostra a estratificação das falhas dos locotratores quanto aos modos de falhas, com maior recorrência os vazamentos e avarias. Dos vazamentos ocorridos, 37% no sistema hidráulico da máquina o que se destaca como ponto de atenção por se enquadrar dentro dos eventos da matriz de prioridade, pois tem impacto direto no meio ambiente. E 63% das avarias ocorridas no sistema de transmissão, que envolvem caixa de marchas, motor, conversor de torque, eixos rodoviários e ferroviários, que são os sistemas com maior custo do ativo.

Figura 25 – Modos de falhas dos locotratores



Fonte: Próprio autor, 2021

Este cenário levou ao questionamento, se ainda seria viável do ponto de vista econômico e de risco para o negócio, manter a frota de ativos em funcionamento ou realizar o descarte deles. A análise será realizada por meio de uma planilha de engenharia que considera as informações mais importantes que estão disponíveis na avaliação econômica do ativo, como exemplo custos de aquisição, operação e manutenção para obtenção dos cálculos do VPL (Valor presente líquido), Lucro Cessante, Payback, para se chegar ao custo do ciclo de vida do ativo e assim definir o tempo ótimo de troca e valor estimado para essa troca.

5.3.4 Avaliação econômica

Para cálculo do LCC, é necessário também conhecer as perdas de produção para cálculo posterior do lucro cessante, que são justamente os prejuízos sofridos por uma empresa ou setor devido a interrupção de uma atividade ou processo. No caso estudado, são as perdas de produção ocasionadas quando um locotrator sofre uma parada devido uma falha.

Segundo Código Civil, lucro cessante, “são os prejuízos causados pela interrupção de qualquer das atividades de uma empresa ou de um profissional liberal, no qual o objeto de suas atividades é o lucro” (Brasil, 2002, apud NETO, 2018)

Podemos perceber que para o presente trabalho, temos uma interrupção de produção devido a uma máquina que deixou de funcionar por

determinados períodos. De posse desses dados, chegou-se ao valor do lucro cessante do período estudado, que é obtido pelo produto do valor da perda de produção por hora, pelo MTBF total dos locotratores no período considerado. O valor obtido então foi:

$$\text{Lucro Cessante} = 1.309,63 \times 27113,54$$

Perdas de
Produção /h

MTBF
(2017-2020)

$$\text{Lucro Cessante} = \text{R\$ } 35.508.565,82$$

Logo, a empresa deixou de ganhar com as paradas desses ativos mais de R\$ 35.000.000,00. De posse dos custos de aquisição, de manutenção, operação e lucro cessante, obtém-se através do somatório, o Custo de Ciclo de Vida (LCC) de **R\$ 43.372.541,57**. Neste caso não foi incluído o valor de descarte, já que a análise é para auxiliar justamente nesta tomada de decisão. Para chegar a avaliação de descarte do ativo é necessário realizar a avaliação econômica do ativo.

Um método que pode ser aplicado para avaliação econômica de ativo, é o cálculo do Valor Estimado de Troca (ERV – Estimated Replace Value), que visa comparar o total de gastos em manutenção com o ativo no último ano com o valor de compra de um ativo novo e assim definir se o ativo ainda é eficiente para o processo ou não (DOC INT 44, 2020).

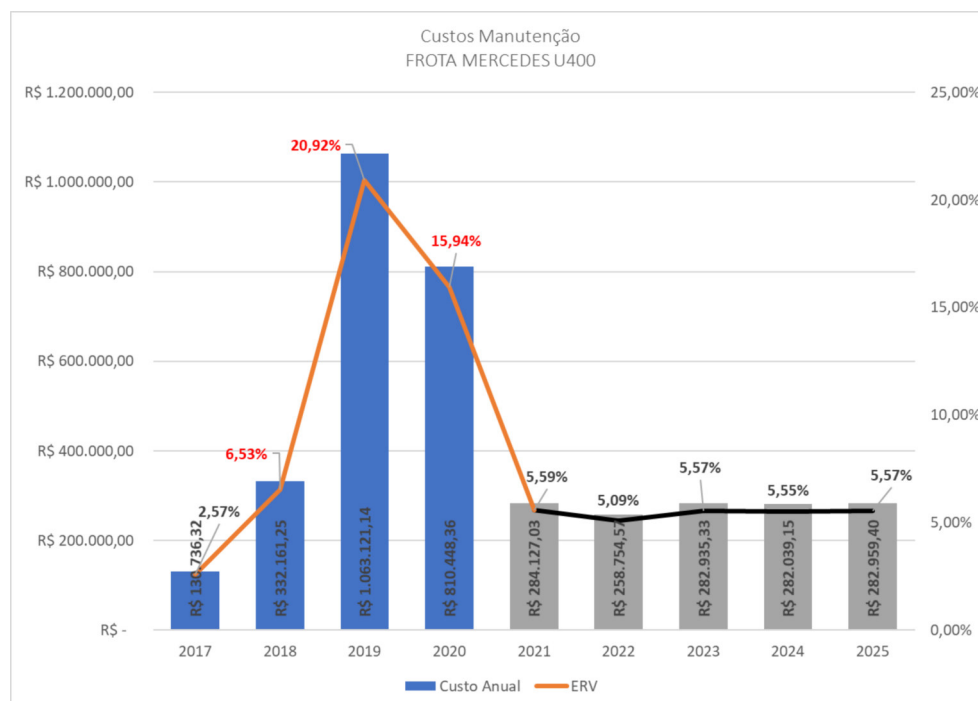
O resultado é obtido a partir do cálculo do custo total de manutenção do equipamento dividido pelo valor de compra e o resultado definirá se economicamente vale a pena manter ou não o ativo em operação. De acordo com Nascif (2013), a melhor prática para o ERV é um valor de 2,3% como mostra a tabela de indicadores de manutenção da figura 26. No Brasil adota-se uma faixa de resultados entre 1 e 6,5% para o ERV.

Figura 26 – Valores Indicadores de Manutenção

Indicadores	U.S.A ⁶⁴		BRASIL ¹⁷	
	Faixa	Melhor prática	Faixa	Média
Custo Total Manutenção / E.R.V (imobilizado)	2,0-5,0%	2,3%	1,0-6,5%	3,25%
Custo Total Manutenção / Faturamento	1,5-5,0%	3,4%	1,0-9,5%	3,56%
Custo M.O Manutenção/ Faturamento	0,6-2,1%	1,5%		
Custo Material Manutenção / Faturamento	0,8-2,4%	1,9%		
E.R.V (US\$milhões)/técnicos	US\$ 3,2-7,5	US\$ 7,5		
E.R.V.(US\$milhões) engenharia	US\$55-250	-		
Cobertura de ordens de trabalho	80-95%	100%		
Cumprimento da programação	35-70%	>70%		
Manutenção Preventiva	80-100%	95%		

Fonte: NASCIF (2013, p.11)

Logo através do cálculo do ERV, pode-se apresentar graficamente através da figura 27, que a partir de 2018 os primeiros sinais de inviabilidade são mostrados, cujo índice já começa a ficar acima da faixa aceitável no Brasil, ficando em 6.53%. E em 2019 com 20.92% e 2020 com 15.94%, indicando que o ativo não é mais eficiente para o processo a partir do ano de 2019.

Figura 27 – ERV Frota U400

Fonte: Próprio autor, 2021

Para embasamento do tempo ótimo para substituição da frota de ativos, se faz necessário como citado anteriormente a avaliação econômica que

será feita através da definição do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), que é um indicador que faz um comparativo entre os custos em diferentes horizontes de tempo considerando o fluxo de saída de caixa. Ele realiza a redução do fluxo de caixa à uma série uniforme equivalente, com base no Valor Presente Líquido (VPL) e a taxa mínima de atratividade (TMA).

De acordo com Silva, Nogueira e Reis (2012, p. 3), “é de se esperar que em virtude dos desgastes do equipamento pelo uso, os custos de manutenção aumentem ao longo do tempo, o método CAUE propõe que a vida econômica de um equipamento corresponde ao período em que este custo é mínimo, e, portanto, o momento ótimo para substituição do mesmo.”

O CAUE pode ser obtido através da equação 8:

$$CAUE = \frac{\text{Valor Presente Líquido Acumulado}}{\text{Fator de Valor presente Série Uniformes}} \quad (8)$$

O Fator de Valor Presente de Séries Uniformes é calculado com o uso da taxa mínima de atratividade (TMA) representada na equação 9:

$$\text{Fator de Valor Presente de Séries Uniformes} = \frac{(1+TMA)^{\text{Ano}} - 1}{(1+TMA)^{\text{Ano}} \times TMA} \quad (9)$$

De acordo com LINDOSO (2017), quando o valor da TMA não é conhecido, pode-se defini-la, calculando a média dos fundos conservadores de qualquer banco, ou consultando um especialista de Engenharia Econômica, ou ainda realizando o somatório da inflação do período pela taxa SELIC. No caso do estudo em questão a taxa definida pela engenharia da área, foi de 12%.

Para determinar o CAUE para um determinado período, basta ajustar os fluxos de caixa projetados para aquele período a seu valor presente, descontá-los pela Taxa Mínima de Atração (TMA) e convertê-los em uma série uniforme de pagamentos representando cada um o custo de possuir e operar o equipamento ao longo do tempo. Nesse sentido, o período com menor CAUE corresponde à vida econômica da mercadoria e, portanto, é o melhor momento para substituí-la (SILVA et al., 2012).

Com base no fluxo de caixa líquido, calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL) para cada ano e, posteriormente, transformou-se cada VPL em

uma série uniforme de pagamentos anuais como mostra a tabela da imagem 28. Os pagamentos uniformes anuais correspondem ao CAUE que é gerado, caso a substituição do equipamento fosse realizada no período indicado.

Figura 28 – CAUE Locotratores

TMA		12%					
Período (j)	Fluxo de Caixa (FC)	VPL	VPL Acumulado	Fator de Valor Presente de séries uniformes	CAUE		
1	R\$ 5.358.780,48	R\$ 5.358.780,60	R\$ 5.358.780,60	0,89	R\$ 6.001.834,27		
2	R\$ 130.736,32	R\$ 116.728,86	R\$ 5.475.509,46	1,69	R\$ 3.239.848,61		
3	R\$ 332.161,25	R\$ 296.572,54	R\$ 5.772.082,00	2,40	R\$ 2.403.200,46		
4	R\$ 1.063.121,14	R\$ 949.215,30	R\$ 6.721.297,31	3,04	R\$ 2.212.882,53		
5	R\$ 810.448,36	R\$ 723.614,61	R\$ 7.444.911,91	3,60	R\$ 2.065.291,02		

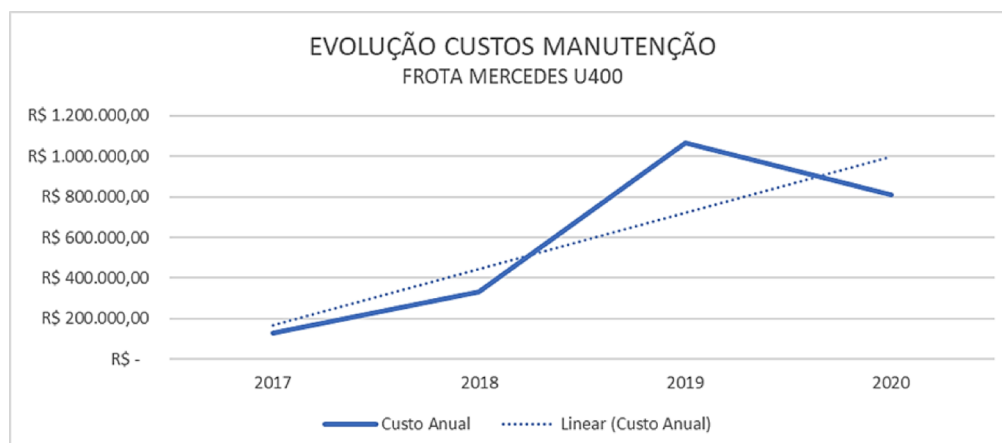
Fonte: Próprio autor, 2021

O valor do CAUE mínimo irá representar o momento ótimo de substituição do ativo, logo de acordo com os resultados obtidos, o ano ideal para iniciar o descarte ou substituição desses ativos é o 5º ano, referente ao ano de 2020. Isso significa que o custo de possuir e operar o bem é reduzido ao mínimo se a frota fosse substituída no período indicado.

5.3.5 Análise do LCC

Realizando análise dos resultados obtidos durante todo o processo de levantamento de dados e avaliação econômica, pode-se verificar que os valores de custos com manutenção corretiva estão muito elevados para serem ignorados e quando se considera um modelo de gestão de ativos, este cenário não pode ser permitido ou não ser tratado de forma adequada.

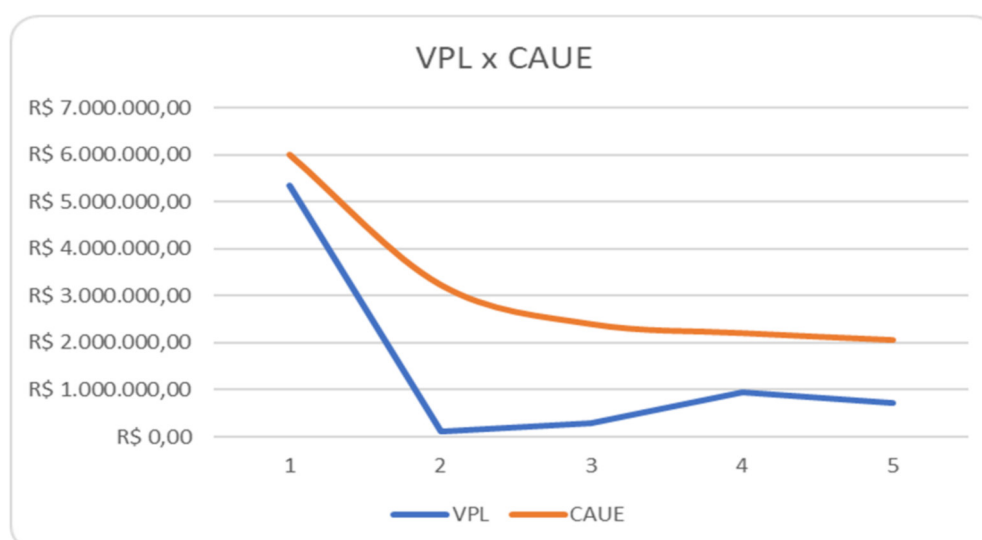
Logo o gráfico da figura 26 demonstra que no período avaliado, os custos de manutenção crescem consideravelmente, indo contra o comportamento ideal mostrado na figura 29, em que os custos de manutenção precisam manter um comportamento de estabilidade, visto que nenhuma empresa irá adquirir um ativo em que os custos de manutenção superam os custos de aquisição.

Figura 29 – Evolução dos custos de manutenção da frota

Fonte: Próprio autor, 2021

Segundo S/A (2017, apud NETO, 2018), “a regra praticada é se um ativo for enviado para uma reforma externa e seu custo de manutenção for de 40% em relação a um novo ativo, deverá passar por uma avaliação gerencial por, talvez, ser mais viável a aquisição de um novo equipamento.” No caso mostrado no gráfico da figura 24, esse valor é alcançado por volta do ano de 2018 e 2019, indicando a necessidade de avaliação sobre substituição da frota.

Vale ressaltar que, quando a curva do CAUE entra em inflexão, demonstra que o ativo chegou a sua vida útil e os custos de manutenção já estão tão altos, que não trazem mais retorno para empresa. Logo o gráfico mostra que a curva inicia o processo de inflexão no ano de 2018, já mostrando que é necessário iniciar a substituição gradativa da frota.

Figura 30 – Curva CAUE Frota U400

Fonte: Próprio autor, 2021

Viu-se também que o CAUE mínimo é obtido no 5º ano, ou seja, em 2020. Esse período, corresponde à vida econômica do ativo, no qual ele é capaz de produzir o máximo possível ao menor custo, quando o mesmo é substituído a cada 5 anos considerando a janela inicial de avaliação em 2017. Porém sabe-se que existe uma margem de erro, devido falta de informações e acompanhamento do ativo desde 2013, ano que foi adquirido.

Logo com a avaliação dos resultados do ERV e CAUE, pode-se definir que o momento para substituição da frota pode ser iniciado gradativamente a partir de 2019 e finalizar em 2020. As ações definidas em estudo foram apresentadas a empresa e estão sendo acompanhadas em plano de ação para substituição gradativa da frota.

Em suma, a análise de LCC quando aplicada de forma correta dentro de um processo de gerenciamento de ativos contribui para organizar e direcionar as atividades e estratégias adequadas, auxilia na classificação dos componentes, no entendimento e quantificação da performance dos ativos, principalmente aqueles críticos, auxilia na definição do estoque ideal de sobressalentes, de forma a reduzir os custos com corretivas emergenciais, na otimização da estratégia e na replicação dos conhecimentos adquiridos nessas análises para outros ativos.

6 CONCLUSÃO

As boas práticas de gestão de ativos só serão realmente implantadas, quando a empresa decide manter seus ativos em condições seguras, tecnicamente eficientes e economicamente viáveis. E a aplicação do LCCA é imprescindível para obtenção deste patamar, pois ela integra padrões técnicos e econômicos às áreas de saúde, segurança e meio ambiente nas avaliações e tomada de decisão.

De posse das informações dos ativos através da estimação de eventos é possível ter maior previsibilidade dos resultados, mesmo com poucos dados. Daí pode-se ressaltar que a etapa de *input* de dados nos sistemas informatizados deve ser feita rotineiramente e controlados para acompanhamento da qualidade dessas informações para garantir a confiabilidade destas.

Através da aplicação dos métodos do CAUE, ERV e LCC, foi possível definir o momento econômico ideal para desmobilização e substituição da frota de ativos estudadas. O produto em forma gráfica permite a visualização do início da degradação e do momento ideal para definição das ações de descarte e/ou substituição dos ativos e o fluxo de caixa em forma de planilha apresenta a perspectivas de lucros e período do custo mínimo de operação.

É importante mencionar que o estudo possui limitações, devido aos fatores de incerteza e/ou variabilidade dos dados, visto que só foi possível ter acesso aos dados dos últimos quatro anos e mesmo assim obteve-se um resultado consistente. A aposta nesta estratégia previne os gestores de ativos de realizar investimentos que poderão ser prejudiciais para a empresa a longo prazo. Como é o caso da frota em estudo que possui um custo de aquisição baixo, mas ao longo de todo o ciclo de vida a soma dos custos envolvidos apresentou-se significativamente mais elevado.

A metodologia foi aplicada com êxito atendendo os objetivos gerais da pesquisa, fornecendo uma compreensão ampla dos ativos e auxiliando a empresa a entender que se um sistema de gerenciamento de ativos já estivesse implantado, com acompanhamento do ciclo de vida dos ativos, ações de substituição e descarte seriam executadas no tempo correto trazendo um ganho

de mais de 40% nos custos com corretiva, além de oferecer mais segurança para pessoas e menos impactos ambientais devido incidentes ocasionados por falhas.

Quanto à contribuição acadêmica, a aplicação da análise de LCC dentro da Gestão de Ativos com foco na fase de descarte/substituição pôde ser mais explorado através da exemplificação prática e poderá ser replicado por empresas de diversos ramos de negócio.

Como sugestão para a empresa e demais, as áreas de manutenção no geral, precisam consolidar o sistema de gerenciamento de ativos com uma política clara de renovação do parque industrial de forma preventiva e não apenas quando os custos de manutenção subiram demasiadamente ou quando já estão danificados, mas sim quando há risco de falha iminente, e esta pode comprometer a confiabilidade e segurança das pessoas e meio ambiente e quando os ganhos com a substituição ou descarte do ativo implicam em melhora dos indicadores.

A equipe deve estar comprometida em manter os registros de falhas atualizados e organizados, acompanhando-os por quadros de gestão a vista por exemplo. E os planos de manutenção, grandes reformas e renovação devem fazer parte de um planejamento anual, para construção de um orçamento próprio, que possa ser modelado e planejado a médio e longo prazo.

E principalmente quanto maior a confiabilidade das informações, maior a assertividades dos resultados das análises. Que podem ser adquiridas através do monitoramento das condições dos ativos, determinação dos modos de falha, confiabilidade e análises estatísticas, cálculo das taxas de falhas e probabilidade de falhas, análise econômica dos investimentos de capital e custos com ativos e análise de riscos dos ativos críticos.

RECOMENDAÇÃO

Apesar da dificuldade de referências bibliográficas e aplicações práticas da metodologia, é possível seguir o fluxo geral de análise, se mostrando viável pelos resultados obtidos. Novos estudos com viés prático devem ser aplicados, com foco na gestão de ativos, cumprindo os principais requisitos das normas e aumentando a abrangência para outros setores e outros produtos.

Aliado a isso, é importante também avaliar o impacto do ativo ou produto após seu descarte. E para isso apesar de publicada em 2006, a norma ISO 14044 é pouco conhecida e utilizada, vem tratar da avaliação dos impactos de um produto ou ativo ao longo do seu ciclo de vida. Tem como objetivo avaliar os impactos das matérias-primas utilizadas, dos processos de fabricação, montagem, transporte, distribuição, potencial de reciclagem do produto e os aspectos ambientais relacionados a disposição final do ativo ou produto.

Segundo Machado (2016, p.19), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pela ISO 14044, “é uma ferramenta que envolve um inventário dos fluxos ambientais relevantes, para proceder a uma análise dos impactos ambientais resultantes dos processos envolventes no ciclo de vida de um produto.”

Figura 31: Estrutura do ACV baseado na ISO 14044



Fonte: Machado, 2016

A ilustração da figura pode ser referenciada por Motta (2014), como “uma avaliação que inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou serviço, partindo da extração e processamento das matérias-primas (berço), a

fabricação, o transporte e a distribuição, assim como o uso final do produto / serviço e sua disposição final (título).”

Por se tratar de um assunto pouco divulgado e menos utilizado ainda em relação ao utilizado neste trabalho, necessita de estudos e incentivos a aplicação, principalmente frente ao futuro de crise ecológica que é prevista para os próximos anos.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 450001. **Sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional** – Requisitos com orientação para uso. 2018.
- ABNT NBR ISO 55001. **Gestão de Ativos** – Sistema de gestão – Requisitos. 2014.
- ABNT NBR ISO 55000. **Gestão de Ativos** – Visão geral, princípios e terminologia. 2014.
- ABNT NBR ISO 55002. **Sistema de Gestão** – Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001. 2014.
- ABRAMAN. **GESTÃO DE ATIVOS E PAS 55**. 2017. Disponível em: http://www.abraman.org.br/page/gestao_de_ativos. Acesso em 30 jan 2022.
- BRASIL. **Lei 10.406 de 10 jan. de 2002**. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm%23capituloiiiiperdada nos. Acesso em: 20 jan 2022.
- CASAROTTO, F.N.; KOPITTKE, H.B. **Análise de investimentos**: Engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CRISTOFARI JR, Carlos Alberto. **Análise do Custo do Ciclo de Vida Para Comparar Estratégias de Manutenção de Cardans de Laminador de Tiras à Frio**. 2017. 52 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- DOC INT 44. **Classificação de Ativos e Diretrizes para Estratégia de Manutenção**. Espírito Santo, 2020.
- DOE, 2014, LIFE CYCLE COST HANDBOOK - **Guidance for Life Cycle Cost Estimation and Analysis**, US Department of Energy (DOE), Washington DC, 2014.
- FENG, W., & FIGLIOZZI, M. A. **Bus fleet type and age replacement optimization: a case study utilizing king county metro fleet data**. Proceedings of the 12th conference on advanced systems for public transport, 2012.
- FRACALLOSSI, João Paulo C. **Análise Comparativa do Custo do Ciclo de Vida de Rodas Ferroviárias do Fabricante A e do Fabricante B em Vagões de Minério**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3.ed. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION (ICA). **Gestão de Ativos**. Guia para aplicação da Norma ABNT NBR ISO 550001. 2015.

KARDEC, Alan. **Manutenção** – Função estratégica. 4º ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

LINDOSO, Marco Polo O. **Análise e Determinação do Ciclo de Vida do Resfriador de Placas**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MACHADO, Maria de Fátima Silveira. **Aplicação da Gestão de Ativos Físicos na Adega Cooperativa da Covilhã**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade da Beira Interior, Covilhã – Portugal.

MEIRELES, Ana Paula Leitão. **Gestão de Ativos Técnicos: uma abordagem a ISO55001 na perspectiva da otimização do ciclo de vida útil – Conceitualização do modelo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2018

MERCEDES-BENZ. **Ilustração locotrator movimentando cargas em linha ferroviária**. Disponível em <https://blogcaminhao.mercedes-benz.com.br>. Acesso em 05 jan 2022.

MILEIPE, Shaney Gonçalves. **Guia de Aplicação LCCA**. UTFPR. Curitiba. 2017.

MOREIRA NETO, T. C.; MAGALHAES, R. S.; RIBEIRO, A. **Aplicação Prática da Análise do Custo do Ciclo de Vida em Ativos Industriais como Ferramenta para Implantação de uma Gestão de Ativos**. SODEBRÁS, v. 11, n.124, p. 3 –, 2016.

MOTTA, Wladimir Henriques. **Análise do Ciclo de Vida: Os Programas Brasileiros**. Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2014.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade** / John Moubray – traduzido por Kleber Siqueira; composto por Robert Lockhart; 2 ed – Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd, 2000.

NASCIF, Julio. **Benchmarking e a Manutenção**. Disponível em: <https://silo.tips/download/benchmarking-e-a-manutenao>. Acesso em jan 2022.

NETO, Teófilo Cortizo Moreira. **Aplicação da Análise do Custo do Ciclo de Vida em uma Indústria de Mineração com base na Gestão de Ativos/** Teófilo Cortizo Moreira Neto. – Salvador, 2018.

PAS-55. **PAS 55-1-2008** - Asset Management. Bsi, 2008.

PADOVAN. **Sistema de transmissão automotivo**. Disponível em <https://docplayer.com.br/16470040-Funcionamento-do-sistema-de-transmissao.html>. Acesso em 05 jan 2022.

RIECHI, Jorge Luiz; TORMOS, Bernardo; HILLEBRAND, Marcos V. J. **Otimização dos custos de frota urbana com uso de modelo combinado de life cycle cost e simulação de Monte Carlo**. Florianópolis: Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO, Revista Produção Online, 2017-06-14, Vol.17 (2), p.667.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

S/A, V. **PGS - 003034** - Reforma de Componentes da Usina. Marabá: [s.n.], 2017. p.8.

SANTOS, F. **Metodologia para Otimização da Manutenção**. Tese (Mestrado em Engenharia de Manutenção) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. São Paulo, p. 93, 2015.

SILVA FILHO, A. C. da; LIMA, F. G. **USANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO PARA ENCONTRAR RAÍZES DE EQUAÇÕES**. 2012. Disponível em: <http://legacy.unifacfe.com.br/novo/publicacoes/Iforum/Textos%20EP/Fabiano%20e%20Antonio%20Carlos.pdf>. Acesso em: 10 dez 2021.

SILVA, Breno A.O.; NOGUEIRA, Sérgio G.; REIS, Ernando A. **Determinação do momento ótimo para substituição de equipamentos sob as óticas da gestão econômica e da engenharia econômica**, 2012. Revista de Administração e Contabilidade, Volume 7, número 1, Feira de Santana, maio/agosto 2015, p. 35 – 52. Disponível em: <http://www.reacfat.com.br/index.php/reac/article/view/106/108>. Acesso em 20 dez 2021.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada em Confiabilidade – Manual de Implementação**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2014.

THE INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT (IAM). **“What is Asset Management?”** [Online], 2021. Disponível em: <https://theiam.org/knowledge/introduction/what-isasset-management/>. Acesso em: 10 jan de 2022.

VALE. **Gestão de Riscos**. 2021. Disponível em: <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/GestaoRiscos.aspx>. Acesso em 16 jan 2022.

VASCONCELLOS, Camila Ramos da Silva et al. **Gestão de Ativos**: Proposta de otimização de investimento no processo de manutenção. Rio de Janeiro, 2021. Publicado em South American Development Society Journal.

ZAMPOLLI, Marisa. **Guia básico para implantação da gestão de ativos em empresas de energia.** 2012.

ANEXO A – Matriz de Classificação de Prioridade dos Locotratores

Matriz de Classificação da Prioridade de Ativos																
Local de Instalação / Equipamento	Classe	Descrição do ativo	Localidade	Especialidade	É stand by?	Ativo atende a requisitos legais?	Descrição do pior caso razoavelmente provável considerado na análise de risco	Probabilidade de ocorrência da falha	Saúde e Segurança Ocupacional	Meio Ambiente	Social e Direitos Humanos	Segurança de Processos	Reputacional	Financeiro	Prioridade do ativo	Severidade do Impacto e Probabilidade da falha
LOCOTRATOR A	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Falha no sistema do implemento ferroviário, podendo ocasionar descarrilhamento	Muito Provável	5-Critico	1-Muito Leve	1-Muito Leve	(N/A)	1-Muito Leve	2-Leve	A	5-Critico e Muito Provável
LOCOTRATOR B	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Falha no sistema do implemento ferroviário, podendo ocasionar descarrilhamento	Muito Provável	5-Critico	1-Muito Leve	1-Muito Leve	(N/A)	1-Muito Leve	2-Leve	A	5-Critico e Muito Provável
LOCOTRATOR C	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Falha no sistema do implemento ferroviário, podendo ocasionar descarrilhamento	Muito Provável	5-Critico	1-Muito Leve	1-Muito Leve	(N/A)	1-Muito Leve	2-Leve	A	5-Critico e Muito Provável
LOCOTRATOR A	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Falha no sistema de freio, podendo ocasionar atropelamento	Pouco Provável	5-Critico	1-Muito Leve	1-Muito Leve	(N/A)	4-Grave	2-Leve	A	5-Critico e Pouco Provável
LOCOTRATOR B	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Falha no sistema de freio, podendo ocasionar atropelamento	Pouco Provável	5-Critico	1-Muito Leve	1-Muito Leve	(N/A)	4-Grave	2-Leve	A	5-Critico e Pouco Provável
LOCOTRATOR C	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Falha no sistema de freio, podendo ocasionar atropelamento	Pouco Provável	5-Critico	1-Muito Leve	1-Muito Leve	(N/A)	4-Grave	2-Leve	A	5-Critico e Pouco Provável
LOCOTRATOR A	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Vazamento de óleo do sistema hidráulico	Muito Provável	1-Muito Leve	4-Grave	1-Muito Leve	(N/A)	1-Muito Leve	1-Muito Leve	A	4-Grave e Muito Provável
LOCOTRATOR B	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Vazamento de óleo do sistema hidráulico	Muito Provável	1-Muito Leve	4-Grave	1-Muito Leve	(N/A)	1-Muito Leve	1-Muito Leve	A	4-Grave e Muito Provável
LOCOTRATOR C	U400	TRATOR FERROVIARIO	Oficina Central	Mecânica	Não	Não	Vazamento de óleo do sistema hidráulico	Muito Provável	1-Muito Leve	4-Grave	1-Muito Leve	(N/A)	1-Muito Leve	1-Muito Leve	A	4-Grave e Muito Provável

Fonte: DOC. INT 44, 2020.