



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



PAULO HENRIQUE ASSIS FERREIRA

**ESTUDO DAS CONTRIBUIÇÕES DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DO PERFIL DE PERDAS
COM AUXÍLIO DO *BUSINESS INTELLIGENCE*: O CASO DA
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE UMA EMPRESA
DE MINERAÇÃO**

**OURO PRETO - MG
2021**

PAULO HENRIQUE ASSIS FERREIRA

paulo.assis1@aluno.ufop.edu.br

**ESTUDO DAS CONTRIBUIÇÕES DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA
CONFIABILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DO PERFIL DE PERDAS
COM AUXÍLIO DO *BUSINESS INTELLIGENCE*: O CASO DA
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE UMA EMPRESA
DE MINERAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro
Preto como requisito para a obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Washington Luís Vieira da Silva

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383e Ferreira, Paulo Henrique Assis.

Estudo das contribuições da manutenção centrada na confiabilidade na implementação do perfil de perdas com auxílio do Business Intelligence [manuscrito]: o caso da manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração. / Paulo Henrique Assis Ferreira. - 2021.

110 f.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luis Vieira Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção. 2. Engenharia (confiabilidade). 3. Engenharia (Confiabilidade) - Manutenção. 4. Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). 5. Perfil de Perdas. 6. Inteligência empresarial. 7. Business Intelligence (BI). 8. Minas e mineração. 9. Minas e mineração - Equipamentos. I. Silva, Washington Luis Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Paulo Henrique Assis Ferreira

Estudo das Contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade na Implementação do Perfil de Perdas com Auxílio do *Business Intelligence*: o Caso da Manutenção de Equipamentos Móveis de uma Empresa de Mineração

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 30 de Julho de 2021

Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Silva- Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Diogo Antônio de Sousa (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Washington Luis Vieira da Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04/08/2021



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2021, às 19:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0202583** e o código CRC **F5BFF7DB**.

“Sorte é o que acontece quando a preparação encontra a oportunidade”.

Desconhecido

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar as contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) na implementação do Perfil de Perdas, com auxílio do Business Intelligence, na manutenção de equipamentos móveis de uma empresa mineradora. Para isso, o estudo teve como base teórica a manutenção, sua classificação, Manutenção Centrada na Confiabilidade e os conceitos associados a ela, bem como o *Business Intelligence* (BI) e suas ferramentas. A metodologia aplicada foi um estudo de caso, sendo o trabalho iniciado pela definição de uma equipe voltada para aplicação dos processos de MCC de forma sistemática e estruturada. Conjuntamente atribuiu-se os papéis e responsabilidades para essa equipe: identificação e estratificação das perdas no processo mantenedor afim de identificar as maiores oportunidades de ganho; investigação e eliminação das causas fundamentais dos ativos, visando melhorar performance dos equipamentos. Para tanto desenvolveu-se o Perfil de Perdas (PP) com o auxílio do BI, tornando-se mais eficaz e produtivo o processo de elaboração do relatório, sem necessidades diárias e com atualização automática – o que otimizou todo o processo de tomada de decisão e reduziu as atividades de baixo valor agregado. Estabeleceu-se então a rotina da Confiabilidade: análise do PP elaborado, análise crítica das falhas, elaboração de ações advindas dessas análises com consequente gerenciamento das mesmas, e assim, padronização das atividades. Por fim, pode-se então comparar através das naturezas de número de ocorrências e horas paradas não programadas – valor médio mensal por equipamento – a performance obtida antes e após implantação do MCC através do Perfil de Perdas. Por meio dessa análise foi possível perceber claramente que o PP com auxílio do BI influenciou positivamente na performance dos equipamentos móveis da empresa mineradora: os valores de número de ocorrências, bem como da duração dessas ocorrências apresentou considerável redução a partir da implantação do PP pela equipe de Confiabilidade.

Palavras-chave: Manutenção, Confiabilidade, Manutenção Centrada na Confiabilidade, MCC, Perfil de Perdas, *Business Intelligence*, Mineração, Equipamentos Móveis de Mineração.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the Reliability Centered Maintenance (RCM) contributions to the implementation of the Losses Profile, supported by Business Intelligence, in the maintenance of equipment of a mining company. For that, the study is theoretically based on maintenance, its classification, Reliability Centered Maintenance and the associated concepts with it, such as Business Intelligence (BI) and its tools. The applied methodology is a case study, and the work started with the definition of a team focused on the application of RCM processes in a systematic and structured way. The roles and responsibilities for this team were assigned: identification and stratification of losses in the maintenance process to identify the greatest opportunities for gain; investigation and elimination of the fundamental causes of assets, aiming to improve equipment performance. Therefore, the Losses Profile was developed with the support of BI, making the report preparing a more effective and productive process, with no daily need to make the reports, and with automatic updating - which optimized the entire decision-making process and reduced activities with low activities added value. The Reliability routine was then established: analysis of the elaborated Losses Profile, critical analysis of failures, elaboration of actions arising from these consequent management, and thus, standardization of activities. Finally, it is then possible to compare through the nature of the number of occurrences and duration of non-programmed failures - monthly average value per equipment - the performance obtained before and after the implementation of the RCM by the Losses Profile. This analysis showed that the Losses Profile with the support of BI positively influenced the performance of the mobile equipment of the mining company: the values for the number of occurrences, and as well the duration of these occurrences, shown a considerable reduction after the implementation of the Losses Profile by the Reliability team.

Keywords: Maintenance, Reliability, Reliability Centered Maintenance, RCM, Losses Profile, Business Intelligence, Mining, Mining Equipment.

LISTA DE SIGLAS

BI	<i>Business Intelligence</i>
ETL	<i>Extract, Transform, Load</i> (extração, transformação, carregamento)
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
NIC	Número de Intervenções Corretivas
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PIMS	<i>Plant Information Management Systems</i>
PEE	Planejamento Estratégico da Empresa
PP	Perfil de Perdas
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SSBI	<i>Self Service Business Intelligence</i>
TI	Tecnologia da Informação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das Falhas.	22
Figura 2 - Relação entre o Esforço e Resistência.	23
Figura 3 - Exemplo de gráfico de Pareto.	34
Figura 4 - Estrutura de Classe de Falhas.	35
Figura 5 - O círculo vicioso de falhas.	38
Figura 6 - Usuários de BI.	44
Figura 7 - Fluxo do processo de aplicação Power BI.	46
Figura 8 - Fluxograma do Procedimento.	49
Figura 9 - Visualização do Banco de Dados através da ferramenta Power Query, pelo <i>software Microsoft Power BI</i>	52
Figura 10 - Localização das principais reservas minerais brasileiras.	54
Figura 11 - Ciclo de Mineração.	56
Figura 12 - Organograma da Supervisão de Planejamento e Controle da Manutenção.	63
Figura 13 - Organograma da Supervisão de Confiabilidade.	72
Figura 14 - Script em linguagem M da consulta ao banco de dados "Rastreamento de Tempo Manutenção" (print do Power Query)	79
Figura 15 - Classe de falhas utilizada no banco de dados "Rastreamento de Tempo Manutenção".	80
Figura 16 - Dashboard Perfil de Perdas concluído (Parte 1).	82
Figura 17 - Dashboard Perfil de Perdas concluído (Parte 2)	83
Figura 18 - Exemplo da ferramenta de Filtragem Cruzada aplicada na etapa de Estratificação da Análise do Perfil de Perdas.	85
Figura 19 - Detalhe dos visuais de Comportamento - Tendência e tabela presentes no dashboard de Perfil de Perdas.	86
Figura 20 - Exemplo de priorização dos elementos que somam 80% do valor total.	87

Figura 21 - Roteiro de Estratificação Elaborado.88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre a MCC e o Modelo Tradicional de Manutenção.....	32
Tabela 2 - Variáveis e Indicadores	50
Tabela 3 - Equipamentos Móveis de Mineração	57
Tabela 4 – Estrutura Original de Supervisões da Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina da mineradora estudada.....	61
Tabela 5 - Modelo de PCDA para Análise de Falhas aplicado pela Minerado X.....	65
Tabela 6 - Levantamento das Horas Paradas Não Programadas Médio em 2019.....	68
Tabela 7 - Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio em 2019.....	70
Tabela 8 – Procedimento de tratamento de falhas implantado, através da Análise do Perfil de Perdas e Análise de Falhas pelo PDCA.....	75
Tabela 9 – Nova Estrutura das Supervisões da Gerência, após criação da Supervisão de Confiabilidade.	76
Tabela 10 - Comparação entre tempos gastos para desenvolvimento do PP, com e sem a utilização de ferramentas de <i>Business Intelligence</i>	77
Tabela 11 - Processos atrelados ao MCC implantados pelo estudo.	89
Tabela 12 - Levantamento das Horas Paradas Não Programadas Médio após implantação do PP.....	92
Tabela 13 - Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio após implantação do PP.	94
Tabela 14 - Comparativo de Horas Paradas Não Programadas Médio entre 2019 e 2020.....	95
Tabela 15 - Comparativo de Ocorrências Não Programadas Médio entre 2019 e 2020	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Formulação do Problema.....	14
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Objetivos.....	18
1.3.1	Geral	18
1.3.2	Específicos.....	18
1.4	Estrutura do Trabalho	19
2	REVIÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Manutenção	20
2.1.1	Falhas.....	21
2.1.2	Manutenção Corretiva	24
2.1.3	Manutenção Preventiva	25
2.1.4	Manutenção Preditiva.....	26
2.1.5	Planejamento e Controle da Manutenção - PCM	27
2.2	Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC	30
2.2.1	Gráfico de Pareto	33
2.2.2	Perfil de Perdas	34
2.2.3	Sistema de Tratamento de Falhas	37
2.2.4	Análise da Causa-Raiz.....	39
2.2.5	Plano de Ações	40
2.3	<i>Business Intelligence</i>	40
2.3.1	Vantagens do BI	43
2.3.2	<i>Self Service BI</i>	44
2.4	<i>Microsoft Power BI</i>	45
3	METODOLOGIA.....	47
3.1	Tipo de Pesquisa.....	47
3.2	Materiais e Métodos	48
3.3	Variáveis e Indicadores	50
3.4	Coleta de dados.....	51
3.5	Tabulação dos dados.....	52
3.6	Considerações Finais do capítulo	53

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1	Mineração	54
4.2	Equipamentos Móveis de Mineração	56
4.2.1	Perfuratrizes	57
4.2.2	Carregadeiras	58
4.2.3	Escavadeiras	58
4.2.4	Caminhões Fora-de-Estrada	59
4.2.5	Motoniveladoras	59
4.2.6	Tratores de Esteira	59
4.3	Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina	60
4.4	Supervisão de Planejamento e Controle da Manutenção - PCM.....	62
4.5	Diagnóstico da Condição Inicial da Confiabilidade na Gerência.....	64
4.6	Diagnóstico da Performance dos Equipamentos de Mina.....	66
4.6.1	Levantamento de Horas Paradas Não Programadas Médio 2019.....	67
4.6.2	Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio 2019	69
4.7	Definição de Equipe de Confiabilidade.....	71
4.8	Determinação da Implementação do Perfil de Perdas	73
4.9	Desenvolvimento do PP através do <i>Microsoft Power BI</i>	77
4.9.1	ETL do banco de dados	78
4.9.2	Construção dos Dashboards.....	80
4.9.3	Atualização dos Dados	86
4.10	Procedimento de Análise do Perfil de Perdas.....	86
4.11	Método de Análises de Falhas	89
4.12	Estruturação dos Processos de MCC	89
4.13	Performance dos Equipamentos após implantação do PP e processos de MCC.....	91
4.13.1	Levantamento de Horas Paradas Não Programadas Médio após implantação...91	
4.13.2	Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio após implantação.....	93
4.14	Comparativo da performance dos equipamentos antes e após implantação do PP ..95	
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	98
5.1	Conclusão	98
5.2	Recomendações	102
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Face os desafios econômicos atuais e a necessidade que as empresas estão enfrentando para se manterem competitivas e atrativas do ponto de vista do retorno financeiro, a busca constante pela otimização de processos e a redução de custos sem perda de qualidade nos produtos e processos se torna essencial. Inserida neste contexto, a manutenção tem se tornado objeto de estudo constante, tanto na busca pela redução de custos como na otimização das atividades e melhoria na qualidade para aumentar a disponibilidade operacional dos equipamentos (GUEDES, 2017).

Dessa forma, segundo a NBR 5462 (1994, p.6), manutenção é "a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida".

Já Xenos (1998, p.18) conceitua a manutenção como sendo "as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação ou ainda como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas".

Por meio dessas definições, Xenos (1998, p.18) conclui que "as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso".

A manutenção é considerada estratégica, devendo ser eficiente e eficaz, como salientam Pinto e Nasif (2001), em termos de confiabilidade, disponibilidade, custo e qualidade. Segundo eles, equipamentos parados em momentos de produção programada, ou com baixa produção decorrente de manutenção inadequada, podem implicar em perdas de clientes, além de afetar a qualidade do produto.

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), um dos objetivos principais da boa gestão da manutenção é maximizar a produção (aumentando a disponibilidade dos equipamentos) com o menor custo e a mais alta qualidade, sem infringir normas de segurança e causar danos ao meio ambiente.

Assim, uma das formas que mais se destaca de gestão da manutenção é pela metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade. Segundo Kardec *et al* (2009, p. 140), a Manutenção Centrada na Confiabilidade é:

Uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas.

Rosa (2017) complementa afirmando que tal metodologia permite às empresas alcançar uma excelência nas atividades de manutenção, obtendo uma ampliação na disponibilidade dos equipamentos com um menor custo, tanto de manutenção quanto custos referentes a acidentes. Estas atividades são aplicadas de acordo com a criticidade de cada componente, ajustando tarefas em todos os momentos para atingir às metas de distribuição estabelecidas, buscando otimizar a segurança, a qualidade e a confiabilidade do processo.

A Confiabilidade aplicada na Manutenção é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente. Esta técnica visa estudar as diversas formas de como um componente pode vir a falhar, suas causas, efeitos e identificar a chance de o equipamento falhar em um determinado tempo de operação (MOUBRAY, 1992; VIANA, 2002).

Dentre as principais ferramentas da Confiabilidade aplicadas à manutenção está o Perfil de Perdas. Segundo Bravim *et al* (2007), o perfil de perdas trata-se da estratificação das perdas dentro do processo produtivo por meio de gráficos de Pareto, com o objetivo de identificar as maiores oportunidades de ganho.

A ferramenta consiste na estratificação das perdas do processo produtivo através do Gráfico de Pareto que é um gráfico de barras verticais com a curva das porcentagens acumuladas (VILAÇA, 2014).

Bravim *et al* (2007) conclui que por meio do perfil é possível identificar as causas principais das perdas e priorizar o tratamento das falhas mais significantes, e que quando bem analisadas e tratadas, podem refletir em ganhos de disponibilidade física dos equipamentos e, conseqüentemente, em ganhos de produtividade e aumento de faturamento da empresa.

Atualmente novas tecnologias e recursos estão sendo alvos principais de empresas modernas, na busca de uma melhor aplicação dessas ferramentas de Confiabilidade e gerenciamento da manutenção. O uso de tecnologias dentro do ambiente empresarial acarreta a elevação no número de dados gerados, haja vista que os processos são cada vez mais monitorados e controlados. Segundo Grego (2014), estima-se que a cada 2 anos o volume de dados no mundo dobre, ainda que apenas 22% desses 2 dados contenham alguma informação relevante, apenas 5% são analisados e reaproveitados de alguma forma, ou seja, há inúmeras

possibilidades para o desenvolvimento de análises de *Big Data*, ou seja, análises do crescente volume de dados (estruturados e não estruturados).

As ferramentas de *Business Intelligence* (BI) surgem com propósito de extrair, agregar e transformar os dados em informações oportunas e conhecimentos personalizados, otimizando ciclo de tomada de decisões e com vantagem de tomar decisões com qualidade e agir com produtividade e competitividade, ante ao mercado globalizante, competitivo e dinâmico (REZENDE, 2002).

Dentre os *softwares* de BI, o *Microsoft Power BI* vem se destacando bastante no mercado atual, tratando-se de um *software* capaz de tratar bilhões de dados e deixá-los pronto para uso em relatórios e *dashboards* automatizados. Porém, o porquê do crescimento do uso do *Power BI* é dado o fato dele estar estruturado sobre o conceito de *Self-Service BI* (SSBI) que possibilita mais autonomia do departamento de Tecnologia da Informação (TI), ou seja, permite que usuários sem especialização técnica consigam elaborar seus próprios relatórios e *dashboards* de maneira rápida e assertiva (LAGO, 2019).

Este trabalho trata-se do estudo da Manutenção Centrada na Confiabilidade na implementação do Perfil de Perdas com auxílio do *Business Intelligence* na manutenção de equipamentos móveis de uma mineradora de grande porte. A mineração é uma atividade econômica que visa pesquisar, explorar, extrair e beneficiar minérios presentes no solo e subsolo. Para a realização desta atividade são necessários equipamentos de mina para fazer a exploração, carregamento e transporte do minério. Estes equipamentos estão diretamente relacionados com todo o processo produtivo de uma mineradora, e a falha ou interrupção das atividades dessas máquinas podem acarretar grandes transtornos para o bom andamento da produção da empresa, influenciando em danos a rentabilidade dela.

Dessa forma, face a circunstância evidenciada e como a manutenção centrada na confiabilidade pode influenciar o cenário de redução de falhas, bem como a partir do Perfil de Perdas pode-se identificar as maiores oportunidades de ganho no processo mantenedor, tem - se a seguinte questão problema:

Quais as contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade com a implementação do Perfil de Perdas, com o suporte do *Business Intelligence*, na performance dos equipamentos móveis de uma empresa mineradora de grande porte?

1.2 Justificativa

Pinto e Nascif (2001) abordam que a manutenção mecânica deve ser feita de uma maneira eficaz e rápida, ou seja, reparando o equipamento de uma maneira breve e evitando falhas e/ou avarias futuras as quais podem gerar uma queda de confiabilidade do equipamento e paradas não planejadas.

Para otimização da manutenção, Rausand & Hoyland *apud* Fogliatto *et al* (2011) ressaltam que muitas indústrias têm percebido a conexão entre a atividade em questão e a confiabilidade, por meio da adoção de programas de confiabilidade. Tais programas têm por objetivo, além de otimizar a manutenção, reduzir custos. Assim, promove-se melhorias na disponibilidade e segurança dos equipamentos.

De acordo com Moubray (2000), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem como o objetivo de direcionar os esforços da manutenção, para sistemas e equipamentos onde a confiabilidade é fundamental, visando garantir o desempenho, a preservação e a segurança do ambiente atrelado ao custo/benefício.

Assim, a Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma metodologia que, quando aplicada, permite a organização gerir de uma forma melhor as suas atividades de manutenção, podendo atuar nos pontos mais críticos do seu processo, diminuindo assim o esforço desnecessário com atividades de manutenção corretivas, uma vez que com o uso desta metodologia a equipe de gestão pode direcionar qual tipo de manutenção é mais viável para um determinado sistema ou equipamento.

Moubray (2000) complementa afirmando o quanto a implantação da MCC pode trazer vantagens para a organização, identificando e concentrando os esforços da equipe de manutenção no foco do problema, evitando com que seja gasto um esforço desnecessário quando não é necessário.

Com o objetivo de identificar onde devem ser priorizados os recursos de manutenção, é elaborado o Perfil de Perdas. A ferramenta consiste na estratificação das perdas do processo produtivo através do Gráfico de Pareto que é um gráfico de barras verticais com a curva das porcentagens acumuladas. (VILAÇA, 2014).

Bravim *et al* (2007) complementa que o perfil de perdas também permite identificar as oportunidades de ganho. Para elaborar o perfil é necessário definir a natureza da perda a ser tratada, como por exemplo, a quantidade de falhas e indisponibilidade física dos ativos. No

caso dessas duas naturezas é possível identificar o perfil das paradas ocorridas, identificar os tipos de paradas que mais se repetem e os que são responsáveis pelo maior tempo de parada.

E no âmbito da manutenção, o uso de tecnologias dentro do ambiente empresarial acarreta a elevação no número de dados gerados, haja vista que os processos são cada vez mais monitorados e controlados. Assim, as ferramentas de *Business Intelligence* (BI) surgem com propósito de extrair, agregar e transformar os dados em informações oportunas e conhecimentos personalizados, otimizando ciclo de tomada de decisões e com vantagem de tomar decisões com qualidade e agir com produtividade e competitividade, ante ao mercado globalizante, competitivo e dinâmico (REZENDE, 2002, p. 24-26).

Desta forma, o presente trabalho busca estudar a implantação do perfil de perdas, pela aplicação da ferramenta *Microsoft Power BI*, na busca de maior produtividade e ganhos de desempenho para a manutenção, na medida que a partir do perfil elaborado, tem-se uma estratificação completa das perdas no processos, permitindo-se uma identificação das oportunidades de ganho e priorização do tratamento de falhas e foco da equipe de manutenção. Aliando-se a isso, através do uso do *software* de *Business Intelligence*, otimiza-se o processo de tomada de decisões, podendo-se se agir com maior produtividade e competitividade, reduzindo-se atividades de baixo valor agregado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar as contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade na implantação do Perfil de Perdas, com o suporte do *Business Intelligence*, na manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração.

1.3.2 Específicos

- Realizar o estudo teórico sobre: manutenção, falhas, Confiabilidade, Manutenção Centrada na Confiabilidade, tratamento de falhas, Perfil de Perdas, plano de ações, *Business Intelligence*, *Microsoft Power BI*;
- Elaborar procedimento metodológico de análise, tratamento e prevenção de falhas (através do perfil de perdas) a partir de relatório desenvolvido pelo *Business Intelligence*;

- Desenvolver a implementação do perfil de perdas através do *Microsoft Power BI*;
- Estabelecer de rotinas associadas aos processos de Manutenção Centrada na Confiabilidade;
- Comparar os dados obtidos com a base teórica para analisar as contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade na implantação do Perfil de Perdas, com o suporte do *Business Intelligence*, na manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho se dividi em 5 capítulos, onde o primeiro inicia-se com a formulação do problema e a justificativa para a realização do estudo, com seus respectivos objetivos (geral e específicos).

No segundo capítulo desenvolve-se a fundamentação teórica dos conceitos relacionados a manutenção e a confiabilidade. São abordados também conceitos relacionados ao Business Intelligence e ao perfil de perdas, bem como ferramentas de tratamento de falhas.

O terceiro capítulo contém a metodologia para elaboração de um procedimento metodológico, composto principalmente, pelos materiais e métodos utilizados para determinar as influências do perfil de perdas no caso estudado.

O quarto capítulo é composto pelos resultados e discussões, ou seja, a análise dos dados obtidos no capítulo terceiro em comparação com a fundamentação teórica do capítulo segundo.

O quinto capítulo buscará responder o problema levantado no início do estudo, concluindo o estudo e trazendo recomendações acerca do trabalho.

2 REVIÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

Segundo Slack *et al.* (2002), o termo manutenção normalmente é usado para tratar a maneira de como as corporações tentam impossibilitar a ocorrência de falhas.

No período que antecede à Revolução Industrial, os equipamentos utilizados para produção eram relativamente simples e quando falhavam não requeriam grandes reparos, o que não gerava problemas significativos (PINTO, 2002). Nota-se que a partir da 1ª fase, e ganhando-se força na 2ª, da Revolução Industrial, as máquinas começaram a ganhar espaço nas grandes indústrias, onde elas eram utilizadas em toda a cadeia produtiva da empresa. O mesmo autor destaca que neste momento surge a manutenção a fim de garantir uma alta disponibilidade física do maquinário juntamente à contenção de despesas e aumento da lucratividade.

Ao passar dos anos percebe-se que a manutenção mantém, na maioria das vezes, os mesmos objetivos os quais foram buscados no período da revolução industrial. Pode-se citar como principais metas deste setor a redução de gastos, melhoria na segurança de maquinário e dos colaboradores, redução de paragens não planejadas, aumento disponibilidade física, otimização da performance da máquina etc. (VIANA, 2002; PINTO E NASCIF, 2001).

Deixando um pouco os primórdios da manutenção, o seu conceito pode ser definido segundo o Instituto de Padrão Britânico (BSI, 1984) e a NBR 5462 (ABNT, 1994) da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que afirmam que a manutenção é a combinação de toda técnica administrativa e tem por objetivo manter em boas condições ou restaurar um item para o mesmo exercer sua função requerida. Ambos citam como item qualquer parte, seja ela um componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional do equipamento.

Pinto e Nascif (2001) abordam que a manutenção mecânica deve ser feita de uma maneira eficaz e rápida, ou seja, reparando o equipamento de uma maneira breve e evitando falhas e/ou avarias futuras as quais podem gerar uma queda de confiabilidade do equipamento e paradas não planejadas.

De acordo com Moubrey (1992) pode-se caracterizar manutenção como um conjunto de técnicas as quais asseguram que os ativos físicos da empresa (equipamentos, máquinas) continuem exercendo a performance e função as quais são requeridas. O autor ainda frisa a importância de os colaboradores terem um conhecimento profundo a respeito da máquina que

operam a fim de não levarem um equipamento à um trabalho acima do oferecido pelo mesmo, evitando assim as falhas.

2.1.1 Falhas

Segundo a NBR 5462 (1994), a falha “é o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Assim a falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto, ou seja, a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina desempenhar seu papel pré-estabelecido por um período, quando o item deverá ser reparado ou substituído.

A falha leva o item a estar em um estado de não disponibilidade. Quanto maior o número de falhas menos é a confiabilidade de um item (XENOS, 1998; KARDEC e NASCIF,2009).

A pane ocorre quando o ativo perde a capacidade de desempenhar a sua função programada, ou pela ausência de recursos externos necessários para o seu desempenho (ABNT, 1994).

Norton (2013) afirmam que um item pode falhar quando suas distorções alcançarem um grau que impossibilita o funcionamento, quando comparado com a maneira para que foi projetada originariamente. O autor complementa que as causas das falhas podem ser diferentes, visto que materiais dúcteis deformam de forma significativa até o rompimento, enquanto materiais frágeis rompem sem mudanças em sua forma.

Segundo Callister (2008, p. 130):

A falha de materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável por vários motivos: vidas humanas que são colocadas em perigo, perdas econômicas, e a interferência na disponibilidade de produtos ou serviços. Embora as causas da falha e comportamento de materiais possam ser conhecidas, a prevenção de falhas é uma condição difícil de ser garantida. As causas usuais são a seleção e o processamento dos materiais de uma maneira não apropriada, e o projeto inadequado do componente ou sua má utilização. É uma das responsabilidades do engenheiro antecipar e planejar considerando possíveis falhas e, no caso de uma falha de fato ocorrer, avaliar a sua causa e então tomar as medidas de prevenção apropriadas para futuros incidentes.

De acordo com Siqueira (2005), as falhas podem ser subdivididas sob vários aspectos. A Figura 1 relaciona estes aspectos, adicionando a classificação adotada pela Manutenção Centrada na Confiabilidade, que será abordada no item 2.2 deste estudo.

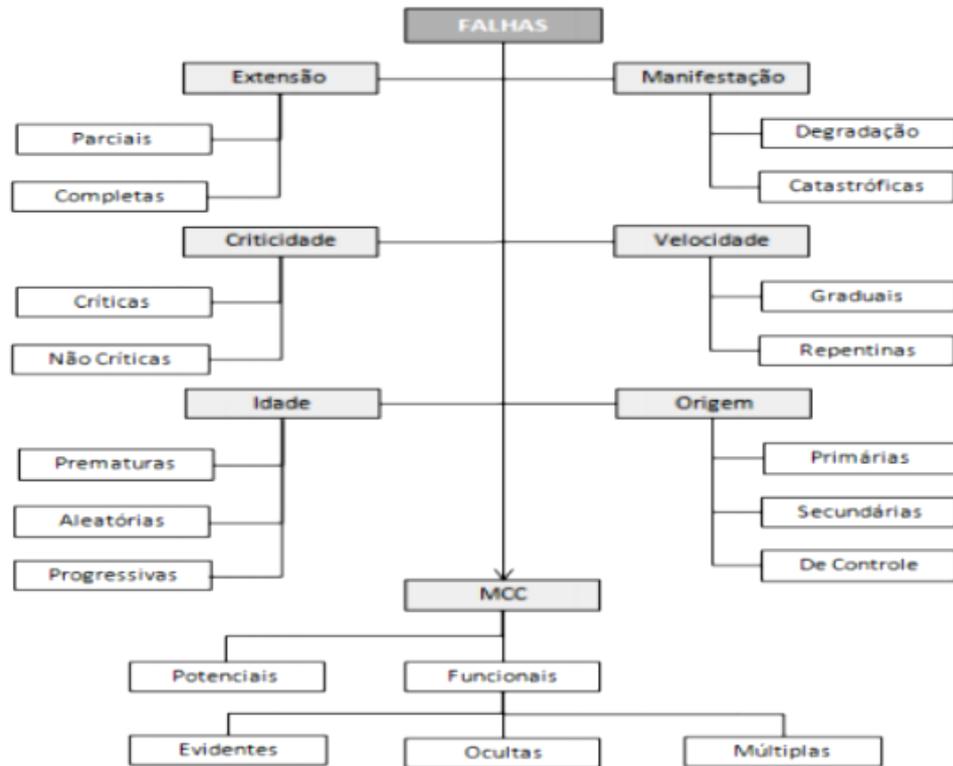


Figura 1 - Classificação das Falhas.
Fonte: Siqueira (2005).

Siqueira (2005) classifica as falhas, conforme Figura 1, sob os aspectos de extensão, criticidade, idade, manifestação, velocidade e origem. Cada aspecto desse envolve uma natureza, e cada falha, portanto, deve ser analisada de forma a cada um desses aspectos. O autor ainda adiciona a classificação segundo a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que divide as falhas entre potenciais e funcionais, sendo as últimas divididas entre evidentes, ocultas ou múltiplas.

O equipamento pode estar em perfeitas condições de uso, ou completamente danificado. Todavia, ele também pode estar funcionando em uma velocidade menor do que a original ou até mesmo produzindo peças defeituosas. Essas condições podem ser vistas como falhas ou não, dependendo dos parâmetros mensurados, que definirão formas claras para os critérios de falhas (XENOS, 1998).

Xenos (1998) afirma ainda que existem muitas causas para as falhas nos equipamentos. Colocando de forma simples, segundo o autor, existem três grandes categorias de causas: falta de resistência, uso inadequado ou manutenção inadequada.

- A falta de resistência é uma característica do próprio equipamento e resulta de deficiências de projeto, erros nas especificações dos materiais, dificuldades nos

processos de fabricação e montagem. Neste caso, as falhas resultarão da aplicação de esforços normais – que os equipamentos não foram projetados para aguentar;

- O uso inadequado significa a aplicação de esforços que estão fora da capacidade do equipamento e pode resultar em erros durante sua operação;
- A manutenção inadequada significa que as ações preventivas para evitar a deterioração dos equipamentos são insuficientes ou não estão sendo corretamente tomadas.

Assim que entram em operação, todos os equipamentos estão sujeitos a muitos esforços que provocam sua deterioração. Ao longo do tempo, esta deterioração diminui a resistência do equipamento – este comportamento pode ser verificado através da Figura 2.

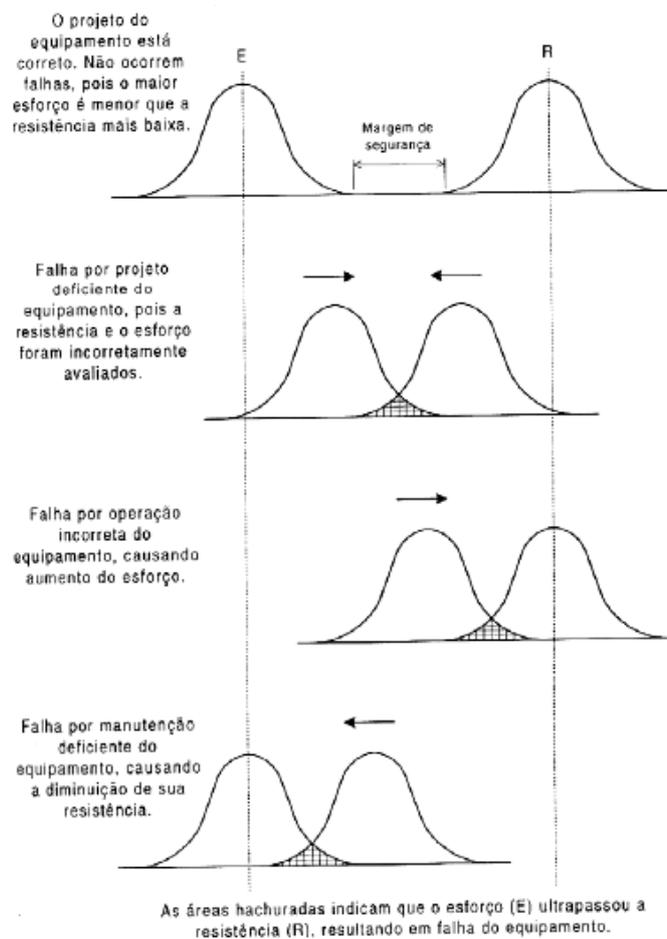


Figura 2 - Relação entre o Esforço e Resistência.
Fonte: Xenos (1998).

Observa-se pela Figura 2, que a falha ocorrerá sempre que a resistência cair abaixo dos esforços a que o equipamento estiver submetido, podendo isso acontecer devido a manutenção deficiente, operação incorreta ou mesmo por projeto deficiente – no caso de um projeto correto, as falhas não tendem a ocorrer devido ao maior esforço ser menor que a resistência mais baixa.

2.1.2 Manutenção Corretiva

Adentrando mais a fundo nos conceitos de manutenção, tem-se que ela pode ser dividida nas mais diversas áreas e tipos. Utiliza-se nesse estudo a divisão exposta pela Norma ABNT NBR 5462 (1994), a qual divide a manutenção em três principais vertentes, a saber: manutenção corretiva, preventiva e preditiva.

Segundo a ABNT NBR-5462, a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida, ideia confirmada pela citação de Xenos (1998), que diz que a manutenção corretiva é aquela executada sempre após a ocorrência de uma falha.

Kardec e Nascif (2009) pontuam que a manutenção corretiva ocorre para correção da falha ou queda de desempenho, não sendo essencialmente uma manutenção de emergência. O fator emergencial dependerá do planejamento ou não de tal ação, ainda que ela aconteça posterior à falha. Tendo como principal função corrigir e restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema. É dividida em duas classes: não planejada e planejada.

A manutenção corretiva não planejada, segundo Kardec e Nascif (2009), é a correção da falha de maneira aleatória. Também conhecida como emergencial, caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Esse tipo de manutenção acarreta diversos ônus, além do financeiro, pois a quebra pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção, além de poder afetar a segurança e o meio ambiente.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva planejada é a ação de correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, baseados no acompanhamento dos parâmetros de condições e diagnósticos levados a efeito pela preditiva e detectiva. Ao planejar ações de manutenção, garantimos menos

custo das mesmas, e menores perdas adjacentes como com baixas de produção acentuada advindas de pausas no sistema, por exemplo. Ou seja, é mais barato planejar do que atuar em situação emergencial.

Xenos (1998) ressalta que, mesmo que a manutenção corretiva tenha sido escolhida por ser mais vantajosa, não se pode simplesmente se conformar com a ocorrência de falhas como um evento já esperado e natural, é essencial o esforço para identificar precisamente as causas fundamentais das falhas e bloqueá-las, evitando sua reincidência.

A adoção de uma política de manutenção corretiva planejada segundo Kardec e Carvalho (2009) pode advir de vários fatores, tais como:

- Negociação de paradas de produção;
- Aspectos ligados à segurança dos funcionários;
- Melhores planejamentos dos serviços;
- Garantia de ferramentais e peças sobressalentes;
- Busca de recursos humanos com tecnologia externa.

Quanto maiores forem as implicações da falha na segurança pessoal e operacional, nos seus custos intrínsecos, nos compromissos de entrega da produção, maiores serão as condições de adoção da política de manutenção corretiva planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.3 Manutenção Preventiva

A função da manutenção não é consertar o equipamento quebrado, mas se antecipar à quebra (GURSKIE e RODRIGUES, 2008). Corroborando com isso temos a ideia de que a manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a principal atividade das equipes de manutenção em qualquer empresa (XENOS, 1998). É entendida como a manutenção que busca evitar que a falha ocorra a partir da programação de intervenções em intervalos de tempo pré-definidos (PINTO e XAVIER, 2001). Ou seja, as atividades de limpeza, lubrificação, substituição e verificação são programadas levando em consideração os tempos dos equipamentos, que podem ser definidos pelo fabricante ou pela própria empresa através de estatísticas (ALMEIDA, 2000)

De acordo com Kardec e Carvalho (2009), os seguintes fatores devem ser levados em consideração para adoção de uma política de manutenção preventiva, são eles:

- Quando não é possível a manutenção preditiva;
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam necessária a intervenção, normalmente para substituição de componentes;
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional;
- Riscos de agressão ao meio ambiente;
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua.

A utilização da manutenção preventiva é indicada nos casos de sistemas complexos, quando há riscos de danos ao meio ambiente, em equipamentos críticos e de alto custo e quando o equipamento oferece risco à saúde e à segurança dos trabalhadores (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.4 Manutenção Preditiva

Xenos (1998) defende a ideia que a manutenção preditiva é mais uma maneira de inspecionar os equipamentos. Tem como objetivo, prevenir falhas nos equipamentos através de acompanhamentos de parâmetros diversos, visando definir o instante correto da intervenção, ou seja, prever o tempo até a falha com o máximo de aproveitamento ativo (OTANI & MACHADO, 2008). Quando o grau de deterioração alcança o limite pré-estabelecido, é tomada a decisão de intervenção, com planejamento prévio da atividade, de forma a causar o menor impacto à produção (KARDEC e NASCIF, 2009).

Para Rodrigues (2003), a manutenção preditiva ganhou uma força fortuita na década de 90, com o aumento do nível da automação dos sistemas industriais, levando a função manutenção a ser vista como completamente necessária e que não precisa interferir no processo produtivo.

Segundo Almeida (2000), trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a quantidade do produto, o lucro, e a efetividade global das indústrias de manufatura e produção. Ainda para Almeida (2000), para que essa estratégia de manutenção seja adotada, é necessário que o equipamento necessite de acompanhamento e possibilite monitoramento/medição, para que as possíveis falhas tenham sua progressão acompanhada. A maior vantagem atribuída à manutenção preventiva está relacionada

à frequência de ocorrência das falhas não esperadas, que fica bastante reduzida, o que reflete no aumento da produtividade e qualidade do produto com consequente redução de custos.

As condições básicas para adotar a manutenção preditiva segundo Kardec e Nascif (2009) são as seguintes:

- O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento /medição;
- O equipamento, sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação em função dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Segundo Mirshawka (1993), este tipo de manutenção previne falhas, identifica problemas antes que eles se tornem críticos e minimiza paradas não programadas no maquinário. Atingido o exposto acima conseguimos reduzir custos/prejuízos e aumentar o lucro da empresa. O autor ainda recomenda alguns instrumentos e técnicas a fim de mensurar eventuais problemas no maquinário (chamadas técnicas preditivas), são eles: analisadores de óleos portáteis, caneta medidor de vibração, mapeador termográfico de alta resolução e contador de partículas em óleos lubrificantes.

A NBR 5462 (1994, p.7) determina Manutenção Preditiva como sendo:

Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Para que as técnicas de manutenção sejam bem entendidas e executadas, e para que a manutenção seja feita de forma promissória, é indispensável a garantia do bom desenvolvimento do processo em todos os seus âmbitos. Essa garantia pode ser conseguida com a aplicação de estudos e ferramentas de engenharia da confiabilidade.

2.1.5 Planejamento e Controle da Manutenção - PCM

De acordo com Branco Filho (2008), o PCM é todo o conjunto de ações para preparar, programar, controlar e verificar o resultado da execução das atividades das funções de

manutenção, com o intuito de progredir e melhorar, para atingir, ou até mesmo ultrapassar os objetivos da empresa. O PCM refere às formas como o setor de manutenção deve ser monitorado e controlado, além de analisar medidas que devem ser adotadas para que o setor se mantenha junto aos objetivos da organização, se tornando um fator indispensável para tomada de decisões referentes à estratégia, planejamento, e conseqüentemente produção da empresa.

Filho (2008) *apud* Souza (2008, p.72-76) pontuam que o PCM é resultado das ações planejamento, programação e controle as atividades de manutenção para atender os objetivos estratégicos, táticos e operacionais das organizações. Filho (2008) complementa que todos os dados referentes à manutenção dos ativos são geridos pelo PCM, como custos, tempo entre falhas, estado de conservação dos equipamentos, o tipo de manutenção a ser feita, tempo de manutenção, análise de falhas, dentre outros.

É possível perceber que o Planejamento e Controle da Manutenção pode trazer diversos benefícios para a organização. De acordo com Fabro (2003), algumas dessas vantagens são a possibilidade de planejamento de recursos humanos, identificação de trabalhos ainda não elaborados, estímulo ao senso de responsabilidade de cada funcionário na empresa, possibilidade de se evitar erros quando for necessário a contratação de terceiros, através de planos de trabalho e cronogramas preparados e coordenados com o plano de produção, redução do trabalho desnecessário e retrabalho, manutenção de oportunidade (onde se aproveita o tempo que a máquina já estará parada para a intervenção da manutenção), estimativa do número de etapas envolvidas no plano de manutenção e do custo relativo a esses processos. Com isso, é possível reduzir ou anular as paradas dos equipamentos e conseqüentemente as perdas de produção, melhorar a qualidade dos produtos e serviços, com a melhoria dos equipamentos, além de aumentar a vida útil deles.

De acordo com Branco Filho (2008), a implantação da função PCM traz algumas vantagens, são elas:

1. Redução da perda de mão de obra direta:

- Elimina a falta de informação sobre o que se fazer, onde efetuar a manutenção, quando executar a tarefa, o que fazer e o que usar durante a manutenção, quais ferramentas usar, quais sobressalentes e quais materiais utilizar, e como fazer;
- Elimina a falta de coordenação para evitar inconsistências durante a execução das tarefas;

- Faz com que os membros da equipe se preocupem em executar suas tarefas, dedicando-se a sua atividade principal.

2. Aumento da eficiência da mão de obra direta:

- Aumento da produtividade dos executantes;
- Menor tempo de parada dos equipamentos;
- Paradas apenas no momento adequado.

3. Padronização de procedimentos de execução de tarefas;

4. Análise de desvios de metas e medidas de correção.

Ainda segundo Branco Filho (2008), entre os diversos fatores que devem ser levados em consideração para a decisão de se criar uma equipe que cuide exclusivamente de planejamentos e controle da manutenção, estão: a organização da empresa, a aceitação da existência de uma seção PCM, a necessidade de melhor acompanhamento das atividades e controle de custos, a relação custo benefício entre os custos de implantação e vantagens que ele proporcionará.

De acordo com Souza (2008), são atribuições estratégicas do PCM:

- Assessorar a gerência em tudo que se refere à programação e controle;
- Assessorar o órgão competente na seleção e administração de contratos de serviços de terceiros;
- Assessorar o órgão competente na manutenção do patrimônio técnico da gerência;
- Assessorar o órgão competente na avaliação e definição das necessidades de treinamento do pessoal pesquisando cursos mais adequados;
- Revisar as programações e instruções de manutenção;
- Avaliar pontos de perda de produtividade emitindo sugestões.

Portanto, o PCM tem atribuições no âmbito estratégico, tático e operacional da manutenção; desenvolvendo atividades para maximizar e prover a gestão da manutenção; elevando a qualidade dos processos e a confiabilidade, disponibilidade e performance dos ativos; identificando e buscando soluções eficazes para os gargalos. E, por fim, definido as melhores estratégias para alocar os principais recursos da manutenção, como: tempo, mão de obra e dinheiro.

2.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC

Segundo o Beehler (1997), a confiabilidade é uma disciplina de projeto de engenharia a qual aplica conhecimento científico para garantir que um produto irá executar sua função pretendida para a duração necessária dentro de um determinado ambiente. Tal disciplina estabelece as leis do aparecimento de falhas nos produtos ou sistemas e os princípios e métodos que devem ser adotados nas fases de planejamento, projeto, fabricação, recepção, transporte e operação, de modo a assegurar-lhes o máximo de eficiência, segurança e economia.

A maioria das plantas não possui de forma estruturada uma função de Confiabilidade e nem programas que tratem do assunto de uma maneira sistemática. E é de conhecimento que a grande maioria dos problemas relacionados com confiabilidade não pode ser atribuída exclusivamente à Função Manutenção.

Kececioglu (1991) salienta que a confiabilidade é a melhor maneira quantitativa de medir a integridade dos componentes, produtos ou sistemas. Que a confiabilidade é a probabilidade dos componentes, produtos ou sistemas desempenharem suas funções pré-estabelecidas sem falhas em um determinado ambiente por um período desejado em um dado nível de confiança. O autor também descreve um breve histórico da confiabilidade desde o ano de 1941 até nossos dias. No histórico o autor descreve que foi Robert Lusser, em 1941, a ser o primeiro homem a reconhecer a necessidade da manutenção focada na confiabilidade como uma disciplina à parte.

De acordo com Moubray (1997) sendo complementado por Siqueira (2009) e Wang (2004), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), é uma abordagem da manutenção desenvolvida na indústria aeronáutica americana no início da década de 70 com o objetivo de direcionar os esforços da manutenção, para sistemas e equipamentos onde a confiabilidade é fundamental, visando garantir o desempenho, a preservação e a segurança do ambiente atrelado ao custo/benefício.

Segundo Kardec *et al* (2009, p. 140), a Manutenção Centrada na Confiabilidade é:

Uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas.

Kardec *et al* (2009) explica que este método, assim como os outros é uma ferramenta de suporte à decisão gerencial e inclui: seleção do sistema, definição das funções e padrões de desempenho, determinação das falhas funcionais e de padrões de desempenho, análise dos

modos e efeitos das falhas, histórico de manutenção e revisão da documentação técnica, determinação de ações de manutenção (política, tarefas, frequências).

Moubray (1997) relata que a Manutenção Centrada em Confiabilidade deu seus primeiros passos na década de 1970. O autor acrescenta que o evento primário publicamente notório como o “nascimento” da Manutenção Centrada em Confiabilidade foi a necessidade de certificar a nova linha de aeronaves Boeing 747 pela Administração Federal de Aviação - FAA (*Federal Aviation Authority*) nos Estados Unidos. O avião tinha níveis de automação jamais vistos e tinha uma capacidade de transportar passageiros três vezes maior que a maior aeronave existente na época. Logo foi percebido que o uso de metodologias comuns de manutenção não iria atender as exigências para a certificação da FAA e ainda iria custar caro (MOUBRAY, 1997).

A MCC proporciona às empresas uma série de benefícios, como redução de 40 a 70% nas tarefas rotineiras de manutenção, redução de 10 a 30% de trabalhos de emergências, melhoria das condições ambientais e de segurança, aumento da vida útil dos equipamentos, obtenção de um banco de dados de manutenção, maior motivação do pessoal, maior compartilhamento dos problemas de manutenção e geração de maior senso de equipe (KARDEC *et al*, 2009).

Rosa (2017) complementa afirmando que a Manutenção Centrada na Confiabilidade permite às empresas alcançar uma excelência nas atividades de manutenção, obtendo uma ampliação na disponibilidade dos equipamentos com um menor custo, tanto de manutenção quanto custos referentes a acidentes. Estas atividades são aplicadas de acordo com a criticidade de cada componente, ajustando tarefas em todos os momentos para atingir às metas de distribuição estabelecidas, buscando otimizar a segurança, a qualidade e a confiabilidade do processo.

Wireman (1998), diz que a MCC é uma evolução da manutenção tradicional, que tem como objetivo principal focar nas funções mais importantes do sistema, diminuindo as tarefas de manutenção e diminuindo também os custos de manutenção.

Garza (2002) afirma que além de introduzir um novo conceito de manutenção, a MCC tem como base novos objetivos para a tomada de ações, apresentando um novo foco para a manutenção. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre a MCC e o modelo tradicional de manutenção.

Tabela 1 - Comparação entre a MCC e o Modelo Tradicional de Manutenção.

Características	Manutenção Tradicional	MCC
Foco:	Equipamento	Função
Objetivo:	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação:	Componente	Sistema
Atividades:	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados:	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação:	Reduzida	Obrigatória e sistemática
Metodologia:	Empírica	Estruturada
Combate:	Falhas	Consequência das falhas
Normalização:	Não	Sim
Priorização:	Inexistente	Por função

Fonte: Siqueira (2009)

Assim, conforme Tabela 1, o MCC tem foco na função, buscando preservar a função e não em só manter o equipamento, como na manutenção tradicional. MCC prioriza o que deve ser feito, e não no que apenas pode ser feito, dando muita ênfase nos dados e tendo documentação obrigatória e sistemática, como metodologia estruturada e combate a consequência das falhas (e não nas falhas, como na manutenção tradicional).

Baseando-se nessas expectativas, a MCC é uma metodologia que, quando aplicada, permite a organização gerir de uma forma melhor as suas atividades de manutenção, podendo atuar nos pontos mais críticos do seu processo, diminuindo assim o esforço desnecessário com atividades de manutenção corretivas, uma vez que com o uso desta metodologia a equipe de gestão pode direcionar qual tipo de manutenção é mais viável para um determinado sistema ou equipamento.

Além destes, Moubrey (2000) complementa afirmando que os resultados esperados com uma correta implementação da MCC são: (i) maior segurança humana e proteção ambiental; (ii) melhoria do desempenho operacional em termos de quantidade e qualidade do produto e serviço; (iii) maior efetividade do custo de manutenção; (iv) aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos; (v) criação de um banco de dados completo sobre manutenção; (vi) maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção e (vii) melhoria do trabalho em equipe. Estes resultados esperados demonstram o quanto a implantação da

MCC pode trazer vantagens para a organização, identificando e concentrando os esforços da equipe de manutenção no foco do problema, evitando com que seja gasto um esforço desnecessário quando não é necessário.

Diversas ferramentas associadas a Manutenção Centrada na Confiabilidade podem ser aplicadas para aumentar a confiabilidade da manutenção em equipamentos e máquinas, como o Gráfico de Pareto, Perfil de Perdas, Análises de Falhas e Plano de Ações.

2.2.1 Gráfico de Pareto

Camargo (2018) cita que o Diagrama de Pareto faz parte de uma das sete ferramentas da qualidade. O autor afirma que este permite uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços para saná-los. Coutinho (2018) salienta que a partir de uma análise de frequências das ocorrências apresentadas no gráfico, é possível distinguir quais devem ser as ações prioritárias da empresa e onde ela deve direcionar os seus recursos para resolver um determinado tipo de problema.

Esta metodologia de análise é relatada por Lins (1993) pois sugere que nos processos industriais e na administração em geral, as ações práticas devem ser direcionadas para os problemas que ocorrem em maior frequência. Assim, é importante identificar quais as causas principais e atacá-las efetivamente, de modo a obter o máximo ganho em termos de solução para o problema em estudo.

O Diagrama de Pareto tem como vantagem mostrar as causas ou problemas em ordem de prioridade, identificando os fatores mais significativos e apontando onde deve-se focar os esforços, a fim de permitir o melhor uso dos recursos limitados (COUTINHO, 2018).

De acordo com Camargo (2018), o Diagrama de Pareto é caracterizado por ser uma ferramenta útil sempre que há classificações gerais de problemas, erros, defeitos, feedback de clientes que podem ser classificados para estudo e ações posteriores. O autor completa ainda que este esquema foi criado por um economista e sociólogo italiano, Vilfredo Pareto. Na Figura 3 pode ser visto um exemplo do gráfico.

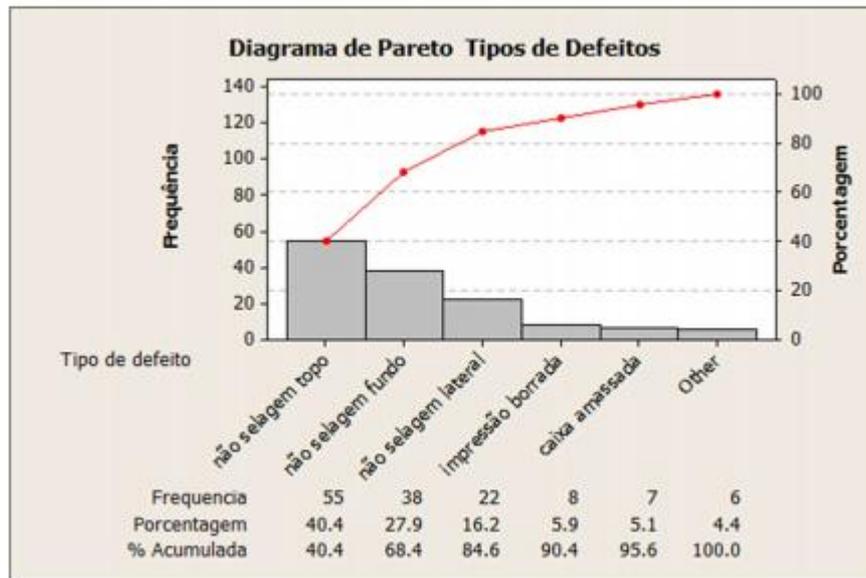


Figura 3 - Exemplo de gráfico de Pareto.
Fonte: FM2S (2020).

É apresentado pela Figura 3 um exemplo de aplicação do Diagrama de Pareto que se dá a partir de falhas no processo de empacotamento de uma empresa de correspondências. A não selagem de topo, fundo e lateral representam as falhas de maiores frequências e impacto no processo.

Bosso (2012) relata que Vilfredo Pareto (1897-1906), publicou, em 1896, o manual de economia política “*Cours d’Economie Politique*”. No manual, Pareto defende que grande parte da economia mundial segue uma determinada distribuição, denominada, mais tarde, de “Lei de Pareto”. Esta lei é também conhecida pela “Lei 80/20”, que significa que 20% da população reúne 80% da riqueza total do país, estando, assim uma pequena fração da sociedade a controlar a maior fatia do dinheiro.

Content (2018) cita que a regra 80/20, é uma condição que trata 80% de efeitos surgindo a partir de apenas 20% das causas, ou seja, em torno de 20% do que você se dedica na realização de alguma tarefa são responsáveis por 80% da sua execução, ou 20% dos produtos comercializados por alguma empresa retornam 80% do lucro, e 20% dos funcionários de alguma corporação são responsáveis por 80% dos resultados.

2.2.2 Perfil de Perdas

Com o objetivo de identificar onde devem ser priorizados os recursos de manutenção, é elaborado o Perfil de Perdas. A ferramenta consiste na estratificação das perdas do processo

produtivo através do Gráfico de Pareto que é um gráfico de barras verticais com a curva das porcentagens acumuladas. (VILAÇA, 2014).

Bravim *et al* (2007) complementa que o perfil de perdas também permite identificar as oportunidades de ganho. Para elaborar o perfil é necessário definir a natureza da perda a ser tratada, como por exemplo, a quantidade de falhas e indisponibilidade física dos ativos. No caso dessas duas naturezas é possível identificar o perfil das paradas ocorridas, identificar os tipos de paradas que mais se repetem e os que são responsáveis pelo maior tempo de parada.

O Perfil de Perdas segue estas metodologias, onde segundo Vilaça (2014) é representado pela estratificação das perdas do processo produtivo por meio de Gráficos de Pareto, com objetivo de identificar onde devem ser priorizados os recursos da manutenção. A autora contextualiza que o Perfil de Perdas fornece dados para quantificar financeiramente as perdas, permitindo a priorização de ações tanto sobre ativos quanto sobre a solução dos modos de falhas cujo potencial econômico de ganhos financeiros ou a redução de custos marginais seja mais viável.

Vilaça (2014) salienta que em falhas que são necessários projetos de melhoria, ou seja, que não puderem ser corrigidas com a execução de manutenção preventiva ou preditiva, por meio da revisão e elaboração de planos de manutenção, o perfil de perdas fornece dados para quantificar as perdas e permite a priorização de ações sobre os ativos e a solução dos modos de falha.

Segundo Bravim (2007), para possuir uma consistência na descrição das falhas é necessário a padronização delas. Uma das formas de padronização é por meio da estrutura de classe de falha que consiste na codificação hierárquica, como mostra a Figura 4.



Figura 4 - Estrutura de Classe de Falhas.
Fonte: Bravim (2007).

Na Figura 4 são evidenciados os níveis da classe de falhas, estes são: sistema, conjunto, item e problema. Dessa forma, o autor completa, que é possível comparar o desempenho dos equipamentos e identificar quais classes de falha, sistemas, conjuntos, itens e modos de falhas mais afetam o índice de disponibilidade física. Por fim, Bravim (2007) conclui que por meio do perfil é possível identificar as causas principais das perdas e priorizar o tratamento das falhas mais significantes "que quando bem analisadas e tratadas, podem refletir em ganhos de disponibilidade física das usinas e, conseqüentemente, em ganhos de produtividade e aumento de faturamento da empresa".

Dorigo e Nascif (2009) relatam que as perdas no processo produtivo ocorrem devido a fatores cotidianos, tais quais, áreas de limitações de conhecimentos, falta de um departamento ou um grupo de pesquisa que se preocupe com a otimização da planta e a problemas do dia a dia como de disponibilidade, perdas na operação não permitem que se enxerguem oportunidades de ganho com as inúmeras formas pelas quais ocorrem as perdas.

Segundo Nakajima (1989), há seis perdas na produção que são otimizadas para contribuir na evolução contínua das empresas, além de promover um crescimento sustentável:

- Perda por quebra de equipamento: são relativos à quebra propriamente dita, ou seja, um fenômeno repentino ou quebra precedida de degeneração gradativa do desempenho;
- Perdas por ajustes nas operações: a causa está relacionada a falta de conhecimento dos operadores, falta de material e falta de colaboradores;
- Perda por parada temporária: esta situação ocorre quando há peças travadas na máquina, mau funcionamento dos sensores, necessidades pessoais do operador, erros de programa e do trabalhador;
- Perda por queda da velocidade da produção: a queda da velocidade da produção ocorre por inconveniências relativas à qualidade, problemas mecânicos, excesso de carga na máquina, operador ineficiente;
- Perda pela geração de produto defeituoso e devido ao retrabalho;
- Perda decorrentes de entrada em regime de produção: São fatores que atrasam a estabilização do processo, como instabilidade da própria operação, ferramentas inadequadas ou mal utilizadas, falta de domínio do processo, falta de manutenção, ajustes próprios das máquinas etc.

Nakajima (1989) afirma também que o perfil de perdas poderá ser detalhado até atingir o componente responsável pelas falhas. Pode-se iniciar a estratificação pelos itens detalhados de manutenção, sendo estes de elétrica, automação, instrumentação, mecânica, entre outros. na sequência analisar quais os equipamentos que mais contribuíram para as perdas de produção no período, através da interrupção da produção, isto é, tudo que tange paradas não programadas.

2.2.3 Sistema de Tratamento de Falhas

Xenos (1998, p.84) conceitua que “um sistema de tratamento de falhas é, essencialmente, uma estrutura formal de gerenciamento de informações sobre falhas e das ações subsequentes”. Ainda segundo o autor, a principal característica desse sistema é que ele permite ir além de apenas ações corretivas, exercitando as equipes de manutenção no diagnóstico das causas fundamentais das falhas e no estabelecimento de eficazes planos de contramedidas.

Uma mudança de atitudes precisa ser observada não somente no departamento de manutenção, mas deve acontecer simultaneamente no departamento de produção. É necessário que as duas equipes entendam que as falhas não deveriam ocorrer, ao invés de lidar com as falhas como acontecimentos inevitáveis, e dessa forma esforçarem-se para romper o círculo vicioso das falhas. Xenos (1998) estabelece que na ocorrência de falha de um equipamento, com interrupção da produção, existem dois tipos de ações a serem tomadas:

- Ação corretiva: a primeira ação deve ser o reparo imediato do equipamento, com o objetivo de minimizar a interrupção do processo produtivo. A ação corretiva visa apenas a remoção do sistema da falha e o reestabelecimento da operação do equipamento;
- Ação de bloqueio da causa fundamental: após reestabelecido o funcionamento do equipamento, é preciso tomar contramedidas de bloqueio das causas fundamentais da falha, para evitar sua reincidência. Esta ação inclui o planejamento de um plano de ações e implementação de contramedidas, começando no local da ocorrência, durante a remoção do sintoma. Para viabilizar o planejamento desta ação, a ferramenta 5W2H, que será discutida posteriormente, pode ser aplicada.

Xenos (1998) ainda discute sobre a importância da detecção e relato das falhas, segundo o autor, os operadores devem estar treinados para identificar e relatar os sinais das falhas, antes que elas ocorram. A partir da detecção da falha ou anomalia, o operador deve, imediatamente, solicitar o reparo do equipamento.

O princípio básico da eliminação definitiva de qualquer falha nos equipamentos é a identificação precisa das suas causas fundamentais, o que permite tomar todas as contramedidas necessárias para bloquear estas causas e evitar a reincidência da falha. Quando este princípio não é plenamente entendido e praticado, por todas as pessoas da manutenção, fecha-se o círculo vicioso das falhas, conforme Figura 5.

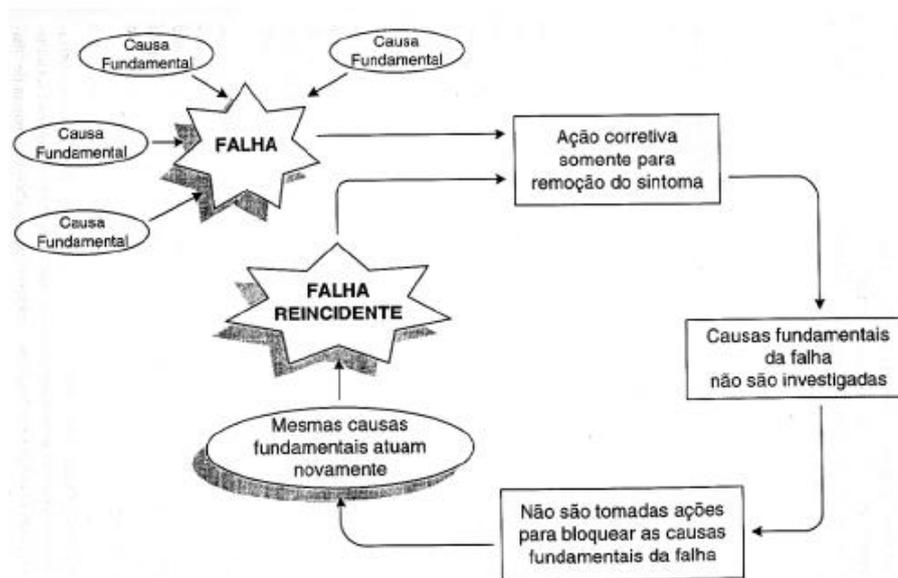


Figura 5 - O círculo vicioso de falhas.

Fonte: Xenos (1998)

Observa-se na Figura 5, que sem boas contramedidas para bloquear as causas fundamentais, os equipamentos estarão sujeitos à reincidência das falhas. Logo, para romper o círculo vicioso de falhas, é preciso colocar em prática um método de tratamento de falha nos equipamentos. Um método é um caminho pelo qual se atinge uma meta, sendo a meta, neste caso, a redução da ocorrência de falha nos equipamentos, reduzindo também a incerteza das equipes de manutenção.

Um sistema de tratamento é, em concordância com Xenos (1998), pode ser estruturado da seguinte forma:

- Detecção e relato da falha;
- Ação corretiva para remover o sintoma;

- Registro e análise das falhas para identificar suas causas fundamentais;
- Planejamento e execução das contramedidas para bloquear as causas fundamentais;
- Acompanhamento da execução das contramedidas;
- Análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritárias e definir projetos com metas;
- Execução dos projetos através do Ciclo PDCA de Solução de Problemas.

2.2.4 Análise da Causa-Raiz

De acordo com Engeman (2019) as análises de falhas visam a identificação de prováveis avarias e a determinação de riscos em um dado processo. Tal método determina a causa e efeito gerado por estes, a fim de se obter soluções que garantam a não ocorrência desses problemas novamente.

Engeman (2019) ainda relata a prática de analisar falhas significa impedir que defeitos ocorram em determinado projeto, produto ou serviço, bem como em todo o processo de manufatura. Inicialmente tem a estruturação dos processos, isto é, a identificação de condições de não conformidade para logo em seguida serem desenhadas as propostas de melhoria visando que as operações naquele equipamento estejam dentro da normalidade e do previsto.

Segundo Kardec *et al* (2009), a análise da causa-raiz é um método ordenado realizado para encontrar as causas de um determinado problema, de modo a determinar ações para evitar a reincidência do mesmo problema. Segundo o mesmo autor, este método é relativamente fácil se comparado a outros, porém é um exercício rigoroso de investigação. A utilização da ferramenta é baseada no uso do método dos “Porquês” e em cada etapa é feita a pergunta “Por quê?” até que se chegue à causa-raiz do problema.

O autor explica que toda a análise deve ser documentada para servir de apoio à tomada de decisão. No formulário deve conter informações básicas para entender o problema, como: data de início e conclusão da análise, identificação do equipamento, descrição da ocorrência, dados que caracterizam as consequências da falha, identificação das causas-raízes, o diagrama de resposta dos “Porquês”, recomendações para prevenir nova ocorrência e acompanhamento das ações recomendadas.

2.2.5 Plano de Ações

A implementação das ações do plano deve ser acompanhada de forma periódica e rigorosa. Isto é realizado a partir de várias reuniões que propõem contramedidas para serem implementadas no plano de ações. Caso essas medidas não ocorram, todas as falhas voltarão a ocorrer com o tempo. Durante a estruturação das contramedidas, as melhores propostas juntamente com seus respectivos planos de execução e validade devem ser atingidas e verificadas durante as reuniões (XENOS, 2004).

De acordo com Xenos (2004), as contramedidas estabelecidas também devem considerar a possibilidade de introdução de melhorias e modificações no projeto do equipamento, evitando a reincidência das falhas. Diante disso, é importante avaliar a relação custo/benefício das melhores propostas para evitar investimentos desnecessários.

Segundo Xenos (2004), se o plano de ação conter as causas fundamentais da falha, todas as medidas devem ser padronizadas e adotadas no setor operacional. A adoção de métodos que evitam a ocorrência da causa primária, consiste em realizar uma padronização que tem o objetivo de evitar que a falha ocorra. Para tornar esse processo eficiente, todos os padrões de operação devem ser revisados juntamente com os planos de manutenção, comunicando todas as mudanças para a equipe interna capacitando-a de acordo com os novos padrões.

2.3 *Business Intelligence*

Os sistemas de *Business Intelligence* (BI) podem ser entendidos como uma combinação de ferramentas analíticas, banco de dados, metodologias e aplicações, que permitem a extração e transformação de dados ativos em informações adequadas, com análises objetivas e de fácil compreensão, tornando mais eficiente e eficaz o processo de tomada de decisão dentro das organizações (SHARDA *et al.*, 2014, p.14-18).

O objetivo do BI é trazer à luz a informação implícita para que seja compreendida e transformada em conhecimento útil, contribuindo na definição de ações estratégicas, táticas e/ou operacionais, garantindo a competitividade e, conseqüentemente, maior produtividade e qualidade de seus produtos/serviços/processos, assegurando a perenidade da organização (MACHADO, 2019; REZENDE, 2002; COSTA, SANTOS, 2012).

O termo BI foi criado pelo *Gartner Incorporated* – empresa de consultoria sediada em *Connecticut*, Estados Unidos da América – em meados da década de 90, e é definido como

um termo que abrange sistemas, infraestrutura, ferramentas tecnológicas e métodos que permitem o acesso e a análise de dados para gerar informações que apoiem e otimizem a tomada de decisão (GARTNER, 2019).

Porém, o conceito já era aplicado em organizações através de diferentes sistemas advir da época que se toma como referência. Conforme demonstrado por Chaves e Falsarella (1995), os sistemas de BI têm início com os Sistemas de Informações Gerenciais (SIG), década de 70, baseado *softwares* que geravam relatórios simples, estáticos e sem recursos de análise. Em meados da década de 80, o aprimoramento das tecnologias e sistemas de informações culminaram na origem do Sistemas de Informações Executivas (SIE), desse modo, permitiram a criação de relatórios mais dinâmicos, precisos e com análises mais aprofundadas, com tendências e até previsões. Posteriormente esses recursos foram somados a novos, garantindo análises ainda mais eficientes, culminado na origem do BI. De acordo com Sharda *et. al.* (2014, p.15) a partir de 2005 os sistemas de BI começaram incluir inteligência artificial em seu escopo de recursos.

Dentro do ambiente empresarial os sistemas de BI vêm se destacando pois está ligado ao gerenciamento da organização, fornecendo o suporte necessário aos tomadores de decisão para gerenciar, monitorar e controlar a performance de processos dentro das métricas desejadas; produzindo informações e conhecimentos acerca do estado atual e o estado almejado. Como bem lembrado por Saito e Horita (2015), o mercado vem impondo às organizações a responderem de forma mais ágil e assertiva as constantes mudanças culturais e tecnológicas, ou seja, está atuando como um combustível para o processo de inovação e mudança da forma como são geridas, seja qual for nível empresarial, estratégico, tático ou operacional.

Embora os sistemas de BI de sejam comumente associados ao nível estratégico, apoiando as definições de metas e objetivos, também surgem como um suporte aos níveis tático, otimizando ações futuras e aspectos organizacionais, e operacional, suprindo os gestores operacionais com análises personalizadas para responder questões relacionadas com as atividades de rotina dentro da organização (COSTA, SANTOS, 2012).

Nesse âmbito, os sistemas de BI vêm para suprir essa necessidade de informações, através de análises que integram dados históricos e correntes, simulando cenários, auxiliando a encontrar oportunidades de desenvolvimento e estratégias exequíveis, para então, motivar e nortear as organizações a buscarem inovação na maneira como gerenciam seus processos (SAITO e HORITA, 2015; LIMA, LIMA; 2011).

É válido ressaltar que não existe uma solução completa de BI comum que possa ser aplicada a diferentes organizações, visto que cada organização é única e possui objetivos estratégicos diferentes. É necessário desenvolver soluções de BI personalizadas para atender as demandas de informação, e que estejam completamente alinhadas a cultura e necessidades da organização. Rezende (2002, p.62-66) diz que os sistemas de BI quando alinhados as estratégias da organização são capazes de criar ligações em toda a cadeia produtiva, permeando a cadeia de valor, alterando a forma pela qual as informações e atividades integram-se.

As organizações têm constante necessidade de informação e de conhecimento para responder as questões atuais e futuras com agilidade e qualidade (COSTA e SANTOS, 2012). Uma solução de BI pode ser entendida com uma ferramenta competitiva para as organizações que buscam se manter perenes e lucrativas frente a um mercado dinâmico, ou seja, é um fator crítico de sucesso.

Sem dúvida, as soluções de BI facilitam às organizações a lidarem com cenários instáveis e turbulentos, fornecendo informações implícitas que auxiliam na visualização do cenário atual e, também, outros cenários factíveis, permitindo a organização agir de modo proativo diante de um problema detectado antecipadamente.

Contudo, segundo Machado (2019, p.19) é necessário atender alguns requisitos para garantir a eficácia da solução desenvolvida, dentre eles estão:

- **Consistência das informações:** Um sistema de BI deve integrar meticulosamente os dados, visto que as fontes podem ser diferentes. Desse modo é possível garantir integridade e confiabilidade das informações e análises geradas, oferecendo uma base eficaz e confiável para suporte a tomada de decisão. Somente após os testes de integridade, segurança e validação o sistema deve ser compartilhado os usuários finais;
- **Tempo as informações:** As informações disponibilizadas no momento certo permitem melhorar o desempenho da organização, pois ações podem ser tomadas de forma mais proativa e menos reativa. De acordo com Costa e Santos (2012), quando as informações são de qualidade, confiáveis e disponibilizadas no momento certo a organização alcança vantagem competitiva, vislumbrando cenários futuros e oportunidades de investimentos econômico e/ou tecnológicos;

- **Acessibilidade as informações:** Um sistema de BI deve possuir uma interface *user-friendly*, ou seja, promover um ambiente de análise iterativo, simples e capaz de traduzir efetivamente os dados em informações relevantes aos *stakeholders*. Sharda *et al* (2014, p.15) diz que as interfaces devem apresentar informações diretas e compreensíveis aos profissionais e, por meio delas, identificar o desempenho de um processo, setor e/ou toda a organização;
- **Adaptabilidade do sistema de BI:** Um sistema de BI deve ser adaptável às mudanças, sejam estas tecnológicas, culturais, estratégicas ou econômicas, assegurando que os dados e as informações não sejam invalidados, ou seja, é essencial a escalabilidade do sistema;

Atender aos requisitos apresentados é fundamental para a concretização de um sistema de BI capaz de otimizar e dar fluidez ao processo de decisão, provendo informações consistentes e no tempo adequado. Entretanto, para que a solução de BI seja realmente efetiva, eficaz e escalável é necessário que o Planejamento Estratégico da Empresarial (PEE) esteja alinhado ao setor Tecnologia da Informação (TI). Como bem lembra Rezende (2002), o setor TI não deve ser reduzido a um simples comprador de recursos tecnológicos, e sim como um setor crítico para atingir os objetivos estratégicos. O alinhamento entre PEE e a TI estabelece o dinamismo necessário para a sobrevivência das organizações

2.3.1 Vantagens do BI

A exigência do dinamismo, eficiência e estabilidade nos processos empresariais vem sendo aceleradas simultaneamente com os objetivos e necessidades estratégicas da organização (SANTOS, 2020). O autor complementa que antes de investir em sistemas BI, é necessário um planejamento cuidadoso e alinhado com a TI em todos níveis organizacionais (estratégico, tático e operacional), a fim de encontrar as soluções de BI coerentes para que a organização seja mais produtiva e capaz de agir proativamente com rapidez e qualidade.

Segundo a pesquisa realizada entre 510 empresas os principais ganhos apontados através do uso de sistemas de BI, com suas respectivas porcentagens, são: Economia de tempo (60%); versão única da verdade (59%); melhores estratégias e planos (57%); melhores decisões táticas (56%); processos mais eficientes (55%), economia de custos (37%) (ECKERSON, 2003, p. 11).

Desse modo, os benefícios proporcionados por uma solução de BI permeiam por toda a organização, que tem acesso às informações mais detalhadas e aprofundadas sobre o negócio do que no passado.

2.3.2 Self Service BI

As organizações que buscam a excelência precisam fazer uso da tecnologia na flexibilização de soluções que suportem os seus objetivos estratégicos organizacionais, e, além disso, desburocratização de rotinas trabalhosas e de pouco valor agregado para o negócio.

Uma nova tendência em ferramentas de BI tem se destacado: as soluções baseadas no conceito *self-service*. As ferramentas de *Self-Service Business Intelligence* (SSBI) têm objetivo de fornecer aos tomadores de decisão mais liberdade para criar suas próprias métricas para o desenvolvimento de análises personalizadas (JOHANSSON *et al.*, 2015, p. 50). Ainda segundo o mesmo autor, as ferramentas SSBI precisam ser fluidas, dinâmicas, fáceis de usar e garantir a integração de dados de diferentes fontes.

O conceito SSBI pode ser mais bem assimilado, conforme mostrado por Nunes (2016), quando se considera que dentro de uma organização existem dois tipos de usuários de sistemas de BI, são eles: *Business Users* e *Power Users*. A Figura 6 representa o processo de comunicação entre os tipos de usuários de BI.



Figura 6 - Usuários de BI.
Fonte: Adaptado de Nunes, 2016.

Assim, pela Figura 6, entende-se *Power Users* como os profissionais de TI, produtores de informação, incumbidos de pré-processar dos dados e disponibilizá-los aos usuários finais. Já os *Business Users* são os usuários finais (analistas de negócios, supervisores, gerentes, entre outros). As informações recebidas são disponibilizadas pelos *Power Users*. A Figura 6 representa o processo de comunicação entre os tipos de usuários de BI

Quando há necessidade de informação, fora do escopo já oferecido por meio das ferramentas tradicionais de BI, o *Business User* faz uma nova demanda ao *Power User* que, por sua vez paralisa suas atividades rotineiras para atender a demanda e respondê-la. Porém de acordo com o trabalho de Sulaiman e Kurzhöfer (2013), as informações retornadas podem não atender de forma satisfatória o *Business User*, repetindo ciclo até que a demanda seja atendida. Logo, esse processo afeta a rotina de ambos usuários de BI, prejudicando o processo

de decisão, impedindo que repostas sejam atendidas em tempo hábil, e gerando custo com atividades de baixo valor agregado.

Portanto, o SSBI surge como uma solução, concedendo liberdade aos *Business Users* que, uma vez capacitados tecnologicamente, podem desenvolver análise personalizadas para atender a demandas específicas. E ainda, o SSBI traz mais fluidez e dinamicidade aos processos internos da organização, além de possibilitar o uso eficiente de um dos recursos mais escassos atualmente, o tempo.

2.4 Microsoft Power BI

O *Power BI* é um *software* da categoria BI, desenvolvido pela *Microsoft*, uma das maiores do setor de tecnologia. Esse *software* é capaz analisar bilhões de dados, seja qual for a fonte, tratá-los e deixá-los prontos para apresentação em dashboards ou relatórios online. Construído segundo o conceito de SSBI, permite mais independência da atuação da TI e rápida implantação se comparado a outros *softwares* da categoria. Essas e outras características fazem do *Power BI*, atualmente, uma das melhores ferramentas de BI disponíveis no mercado. A seguir serão expostos os principais conceitos e recursos do *software*.

Segundo o site oficial da *Microsoft* (2019), o *Power BI* é “uma coleção de serviços de *software*, aplicativos e conectores que trabalham juntos para transformar dados em informações coerentes, visualmente envolventes e interativas”. Lançado em junho de 2015, concebido segundo o conceito de SSBI, o *Power BI* oferece várias alternativas de conectividade com dados como planilhas do Excel, banco de dados do *SQL Server Analysis Services*, *Google Analytics*, Banco de dados do SAP, banco de dados do *Oracle*, redes sociais, PDF, Texto/CSV, JSON, GitHub, entre outras variadas fontes (LAGO, 2019).

De acordo com Turban *et. al.* (2009), o principal benefício do BI para uma organização é a capacidade de fornecimento de informações precisas quando necessário, permitindo ainda uma visão instantânea do desempenho da corporação e de suas divisões. Estas informações suportam a tomada de decisões e o planejamento estratégico das companhias, aumentando sua chance de sucesso em seu mercado de atuação.

Eckerson (2003) constatou, através de pesquisas com mais de 500 organizações, que, na visão dos membros das empresas, as principais vantagens do BI são a economia de tempo, a obtenção de uma versão única da verdade, a obtenção de melhores estratégias e planos, a melhoria nas decisões táticas, melhoria na eficiência dos processos e redução de custos.

Eckerson (2003) também relata que através das pesquisas que os principais benefícios do BI são a geração de relatórios mais rápida e precisa, a melhoria na tomada de decisões, a melhoria no serviço prestado ao cliente e uma maior receita. Assim, conclui-se que o *Power BI* permite tratar os dados e transformá-los em informações objetivas, personalizadas conforme a demanda do usuário final. A Figura 7 apresenta, de forma macro, o fluxo do processo de aplicação do *Power BI*, onde as fontes de dados, representadas pelas logomarcas a esquerda, são integradas e transformadas em visualizações com informações úteis, insights sobre o negócio.

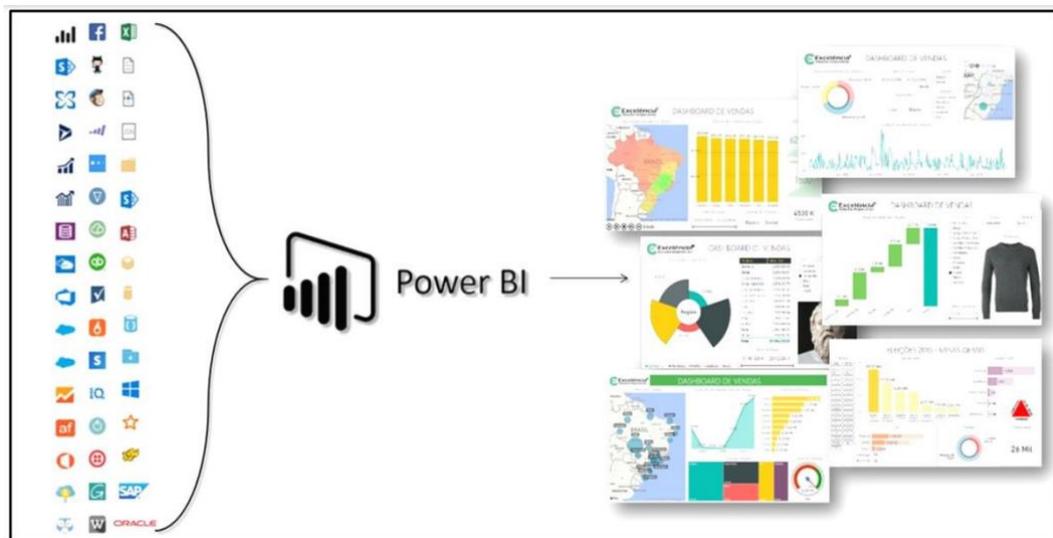


Figura 7 - Fluxo do processo de aplicação Power BI.
Fonte: Consultoria Excelência (2019)

Neste capítulo foram tratados os tópicos e conceitos fundamentais para o desenvolvimento e entendimento do trabalho proposto, em que foram base para a fundamentação teórica do estudo de caso.

3 METODOLOGIA

Este estudo analisa a implementação do perfil de perdas, com auxílio do *Business Intelligence*, para aumento da confiabilidade na manutenção de equipamentos móveis de mineração de uma empresa de grande porte. Neste capítulo é apresentado a metodologia que foi utilizada no desenvolvimento e realização do estudo; onde aborda-se o tipo de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, os instrumentos de coleta de dados, bem como a tabulação dos dados.

3.1 Tipo de Pesquisa

Para iniciar a pesquisa é importante classificá-la quanto aos objetivos, a forma de abordagem e aos procedimentos técnicos. Quanto aos objetivos, este estudo é classificado como uma pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória, em que segundo Gil (2008, p.27) "as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores". O autor complementa que podem envolver levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso.

Segundo Mattar (1994), os métodos empregados pelas pesquisas exploratórias compreendem o levantamento de dados em fontes secundárias, levantamento de experiências, estudos de casos selecionados e a observação informal do evento. O mesmo autor destaca que esse tipo de pesquisa geralmente assume a forma de pesquisa bibliográfica, seguida por um estudo de caso.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo deste trabalho é exploratório, uma vez que ele se trata de uma implantação de um método em uma empresa de grande porte, buscando desenvolver e esclarecer ideias sobre a influência do perfil de perdas na confiabilidade da manutenção de equipamentos, por meio de um levantamento bibliográfico e estudo de caso.

Além da classificação referente aos objetivos, as pesquisas podem ser classificadas como qualitativa ou quantitativa, sendo o presente estudo classificado como pesquisa qualitativa. A pesquisa qualitativa se dá quando o pesquisador estuda os fenômenos em seus ambientes naturais, tentando interpretá-los a partir do modo como são vistos. Sendo assim, esse tipo de pesquisa envolve a coleta e utilização de uma série de materiais empíricos (tais quais estudo de caso, experiência pessoal, observação, históricos, interação de fenômenos ou

fatores, entre outros), relativos à rotina e aos entraves observados na análise em questão (CRESWELL, 1998).

Assim, esta pesquisa é considerada qualitativa por estudar o comportamento da implantação de um método de confiabilidade na manutenção de equipamentos de mineração, onde a opinião do pesquisador pode estar integrada à pesquisa.

Por fim, as pesquisas podem ser classificadas quanto aos procedimentos técnicos. Quanto aos procedimentos técnicos, Gil (2002) destaca que a pesquisa pode ser classificada por diversos fatores, como: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, estudo de corte, levantamento, estudo de campo, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante. Um trabalho não necessariamente atende a apenas um desses requisitos.

Desta forma o presente estudo é classificado como pesquisa bibliográfica e como estudo de caso.

Segundo Fonseca (2002), a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto.

Já quanto ao estudo de caso, o pesquisador explora em profundidade um programa, um fato, uma atividade, um processo ou uma ou mais pessoas. Os casos são agrupados por tempo e atividade, e os pesquisadores coletam informações detalhadas usando uma variedade de procedimentos de coleta de dados durante um período prolongado (CRESWELL, 2007).

Logo, a pesquisa é considerada como bibliográfica e como estudo de caso, pois, inicialmente, é feito um levantamento de referências teóricas sobre manutenção, confiabilidade, perfil de perdas e *Business Intelligence*. Posteriormente, é feito um estudo de caso para obter-se os resultados quanto as contribuições da implantação do perfil de perdas com auxílio do *Business Intelligence* na manutenção no setor da mineração.

3.2 Materiais e Métodos

O fluxograma (Figura 8) apresenta o procedimento utilizado na implementação do perfil de perdas com auxílio do *Business Intelligence* no setor da manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração de grande porte.

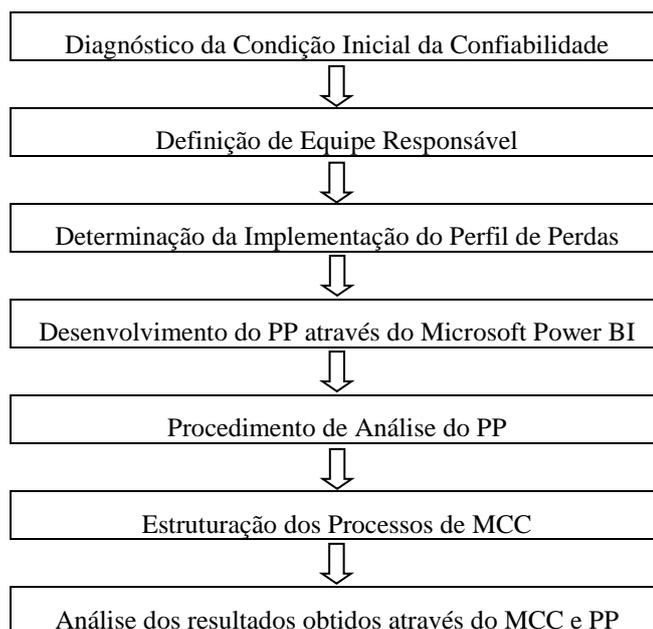


Figura 8 - Fluxograma do Procedimento.
Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

Conforme apresentado na Figura 8, o primeiro passo para a solução da problemática foi o diagnóstico da condição inicial da manutenção e da confiabilidade no setor de manutenção dos equipamentos móveis da mineradora estudada. Após isso, partiu-se então para definição de uma equipe responsável pela Manutenção Centrada na Confiabilidade para a gerência, e para a definição do Perfil de Perdas como a melhor ferramenta da Confiabilidade a ser aplicada no processo, para fins de melhoria do desempenho da manutenção e aumento da Confiabilidade dos equipamentos.

Posteriormente, seguiu-se para o acesso ao banco de dados da mineradora estudada, através do sistema PIMS. O sistema PIMS ou *Plant Information Management Systems* são sistemas que adquirem dados de processo de diversas fontes, os armazenam num banco de dados históricos e os disponibilizam através de diversas formas de representação (ROMANO, 2017). Dessa forma, nessa etapa foi realizado a análise detalhada de cada manutenção realizada e classificação dessas manutenções quanto a sistema, conjunto e item (classificação que será utilizada na construção dos Perfis), por parte de equipe técnica especializada.

Dessa forma, contando com banco de dados conciso e confiável, partiu-se para a etapa de tratamento das informações (ETL - extração, transformação, carregamento dos dados) e de construção dos *Dashboards* através do *software Power BI* – construção dos Gráfico de Pareto e elaboração do *Dashboard* Perfil de Perdas, com seguinte publicação do relatório para ambiente online e definição dos critérios de atualização do dashboard.

Assim, com o Perfil de Perdas elaborado, segue-se para a definição do procedimento de análise do relatório para fins de identificação das perdas do processo e priorização das falhas, definindo também as reuniões da equipe e os responsáveis por cada equipamento. A partir da definição desse procedimento, estrutura-se também os processos de Manutenção Centrada na Confiabilidade da equipe.

E por fim, apresentação das contribuições da implantação do Perfil de Perdas e da Manutenção Centrada na Confiabilidade, com o suporte do *Business Intelligence*, na melhoria do desempenho da manutenção de equipamentos móveis de uma mineradora – respondendo-se à pergunta problema proposta no início do estudo (item 1.1).

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Gil (2002), variável pode ser entendida como tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou circunstâncias, e ele também complementa que é um termo muito empregado pelos pesquisadores tendo como objetivo conferir maior precisão aos enunciados científicos.

Para Köche (2009) variáveis pode tratar-se de propriedades, aspectos, características individuais, ou ainda fatores mensuráveis ou potencialmente mensuráveis, que podem ser diferenciadas em um objeto de estudo através dos diferentes valores que podem assumir, com a finalidade de testar a relação enunciada em uma posição.

Os indicadores podem ser utilizados para controle e melhoria da qualidade dos processos ao longo do tempo. Assim, segundo Tadachi e Flores (1997), as características do produto estão ligadas à qualidade deles, relacionando os indicadores à demanda de gestão de desempenho.

Tadachi e Flores (1997, p.19) explicam que “indicadores são formas de representação quantificáveis das características de produtos e processos”. Eles são usados para controlar e melhorar a qualidade de produto e processos ao longo do tempo.

Assim, em de acordo com as definições apresentadas, pode-se afirmar que há três variáveis neste estudo: Confiabilidade, Perfil de Perdas e *Business Intelligence*. E seus indicadores são descritos na Tabela 2.

Variáveis	Indicadores
Manutenção Centrada na Confiabilidade	Falhas
	Número de Falhas
	Duração das Falhas
Perfil de Perdas	Horas de Manutenção Corretiva
	Número de Intervenções Corretivas
	Equipamentos Móveis de Mineração
	Classe de falha da parada (sistema, conjunto, item)
<i>Business Intelligence</i>	Banco de Dados SQL Server
	<i>Microsoft Power BI</i>

Fonte: Pesquisa Direta (2020)

3.4 Coleta de dados

As informações necessárias para o assunto foram disponibilizadas pela mineradora estudada através de um sistema PIMS. Segundo Romano (2017), o sistema PIMS ou *Plant Information Management Systems* são sistemas que adquirem dados de processo de diversas fontes, os armazenam num banco de dados históricos e os disponibilizam através de diversas formas de representação.

Romano (2017) complementa que, dessa forma, o sistema PIMS surgiu para resolver o problema da fragmentação de dados nas empresas e proporcionar uma visão unificada do processo. A partir do sistema, é possível visualizar tanto os dados de tempo real como históricos da planta. Além disso, a informação pode ser representada a partir de tabelas, gráficos de tendência e sinóticos, concentrando em uma única base de dados as informações sobre todos os aspectos de uma empresa. O principal papel de um sistema PIMS é concentrar os dados de diferentes fontes, transformá-los em informação e informação em conhecimento.

Logo, os dados para o presente estudo eram obtidos a partir do acesso ao sistema PIMS da mineradora estudada, que comunica com um banco de dados a partir de uma conexão SQL Server - utilizando-se dos *softwares Microsoft Power BI e Microsoft Excel*.

O SQL Server é um gerenciador de bancos de dados relacional, o que significa dizer que as informações que manipula estão armazenadas em campos de tabelas (IMPACTA, 2017).

Após consulta em SQL Server ao sistema PIMS, através dos *softwares Microsoft Power BI* ou *Microsoft Excel*, o banco de dados denominado como “Rastreamento de Tempo Manutenção” fornece as seguintes informações, como pode ser observado na Figura 9:

- Equipamento, Frota do equipamento, Grupo do equipamento, Família do equipamento, Fabricante do equipamento, Data de Início da intervenção, Data Fim da intervenção, Duração da Intervenção, Comentário / Descrição do Serviço realizado, Tipo de Manutenção, Sistema da falha, Conjunto da falha, Item da falha, Causa da falha, Efeito da falha, Executor da manutenção e Responsável Técnico da manutenção.

Id	Eqpto	Grupo	DataIni	DataFim	Duração	Descrição	Comentário
1	CA66538	Caminhao GP	01/01/2019 01:12:16	01/01/2019 01:57:54	0,720000029	MPS - EXEC MANUT	BX. NIVEL LIQ. ARREFECIMENTO COMPLETOU LIQUIDO DE ARREFECIMENTO
2	PM6517	Carregadeira	01/01/2019 00:37:09	01/01/2019 01:26:13	0,720000029	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	LUBRIFICACAO 75 HRS FEITA A LUBRIFICACAO DE 75 HRS
3	RE6001	Retro-escavadeira	01/01/2019 02:04:18	01/01/2019 02:26:18	0,479999989	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	LUBRIFICACAO DE CAMPO REALIZADO A LUBRIFICACAO
4	PF0003	Perfuratriz	01/01/2019 02:02:53	01/01/2019 03:37:31	1,679999948	HMC - EXEC MANUT	FAROS QUEIMADO RECONDICIONADO CHICOTE E SUBSTITUIDO FUSIVEL DO
5	CA67115	Caminhao GP	01/01/2019 03:01:56	01/01/2019 03:27:08	0,479999989	HMC - EXEC MANUT	NÃO BASCULA DESTRAVADO VALVULA DE COMANDO DE BASCULA
6	CA67108	Caminhao GP	01/01/2019 02:18:31	01/01/2019 03:21:27	0,959999979	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	LUBRIFICACAO DE 75HS REALIZADO LUBRIFICACAO DE 75HS
7	CA67113	Caminhao GP	01/01/2019 03:28:50	01/01/2019 04:02:25	0,479999989	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	LUBRIFICACAO DE 75HS REALIZADO LUBRIFICACAO DE 75HS
8	CA66533	Caminhao GP	01/01/2019 02:31:47	01/01/2019 04:55:33	2,400000095	HMC - EXEC MANUT	BANCO NÃO INFLA RECONDICIONADO TUBULACAO PNEUMÁTICA DA BOLSA
9	CA67106	Caminhao GP	01/01/2019 03:35:34	01/01/2019 05:18:15	1,679999948	HMC - EXEC MANUT	FILTRO OLEO FREIO OBSTRUÍDO TROCOU FILTRO DE OLEO DE FREIO
10	RE6001	Retro-escavadeira	01/01/2019 04:40:04	01/01/2019 05:00:49	0,239999995	HMC - EXEC MANUT	APAGOU O MOTOR AVALIADO PELO OPERADOR E FUNCIONOU NORMAL
11	PM6519	Carregadeira	01/01/2019 05:10:53	01/01/2019 05:29:45	0,239999995	HMC - EXEC MANUT	BAIXO RENDIMENTO TROCADO FILTRO DIESEL
12	CA66545	Caminhao GP	01/01/2019 06:58:47	01/01/2019 07:23:47	0,479999989	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	COMPLEMENTOS BOX COMPLETANDO GRAXA NO BOX FN
13	CA67114	Caminhao GP	01/01/2019 06:38:09	01/01/2019 06:45:23	0,239999995	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	COMPLEMENTO BOX COMPLETOU GRAXA NO BOX FZ
14	PM6518	Carregadeira	01/01/2019 06:58:48	01/01/2019 08:53:18	1,919999957	HMC - EXEC MANUT	VAZAMENTO DE ÓLEO PROXIMO AO COMANDO COMPLETADO ÓLEO DO DIFERENCIAL TRASEIRO
15	TE2204	Trator de Esteira	01/01/2019 09:03:05	01/01/2019 09:37:04	0,479999989	MPS - EXEC LUBRIFICACAO	LUBRIFICACAO DE CAMPO

Figura 9 - Visualização do Banco de Dados através da ferramenta Power Query, pelo *software Microsoft Power BI*.

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

3.5 Tabulação dos dados

Conforme explicitado no item 3.4, a consulta ao banco de dados do sistema PIMS da mineradora estudada é realizada a partir dos *softwares Microsoft Power BI* ou *Microsoft Excel*, utilizando da ferramenta Power Query presente em ambos os *softwares*.

O Power Query é um editor de consultas/tabelas que permite ao usuário fazer diversas modificações nessas consultas/tabelas de forma que fiquem da maneira que o usuário deseja para que possa importar ao Excel ou *Power BI* apenas para criar os relatórios e Dashboards sem que haja a necessidade de efetuar mais mudanças (HASHTAG TREINAMENTOS, 2020).

Assim, dentro da ferramenta Power Query realizou-se a etapa de ETL (extração, transformação, carregamento) do banco de dados, e para a construção dos Gráficos de Pareto, do Perfil de Perdas e Dashboards de visualização utilizou-se o *Microsoft Power BI*.

3.6 Considerações Finais do capítulo

Foram abordados neste capítulo os tipos de pesquisa utilizados para a execução do estudo, assim como as ferramentas de análise e métodos que levaram a concretização dos objetivos. O capítulo seguinte abrange o estudo de caso, no qual todos os conteúdos apresentados nas Referências Bibliográficas são utilizados para a aplicação prática e obtenção dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aborda-se nesse capítulo acerca do setor de manutenção de equipamentos móveis de mineração da empresa mineradora de grande porte situada no estado de Minas Gerais, bem como da implementação do perfil de perdas com auxílio do *Business Intelligence*. Além disso, apresenta-se os procedimentos atrelados a implementação do Perfil de Perdas e do MCC, e por fim, quais as contribuições na melhoria do desempenho da manutenção.

4.1 Mineração

A mineração é um dos segmentos mais lucrativos do Brasil e Minas Gerais é o mais importante estado minerador do país. A Figura 10 ilustra a presença da diversidade de minérios encontrado no estado.

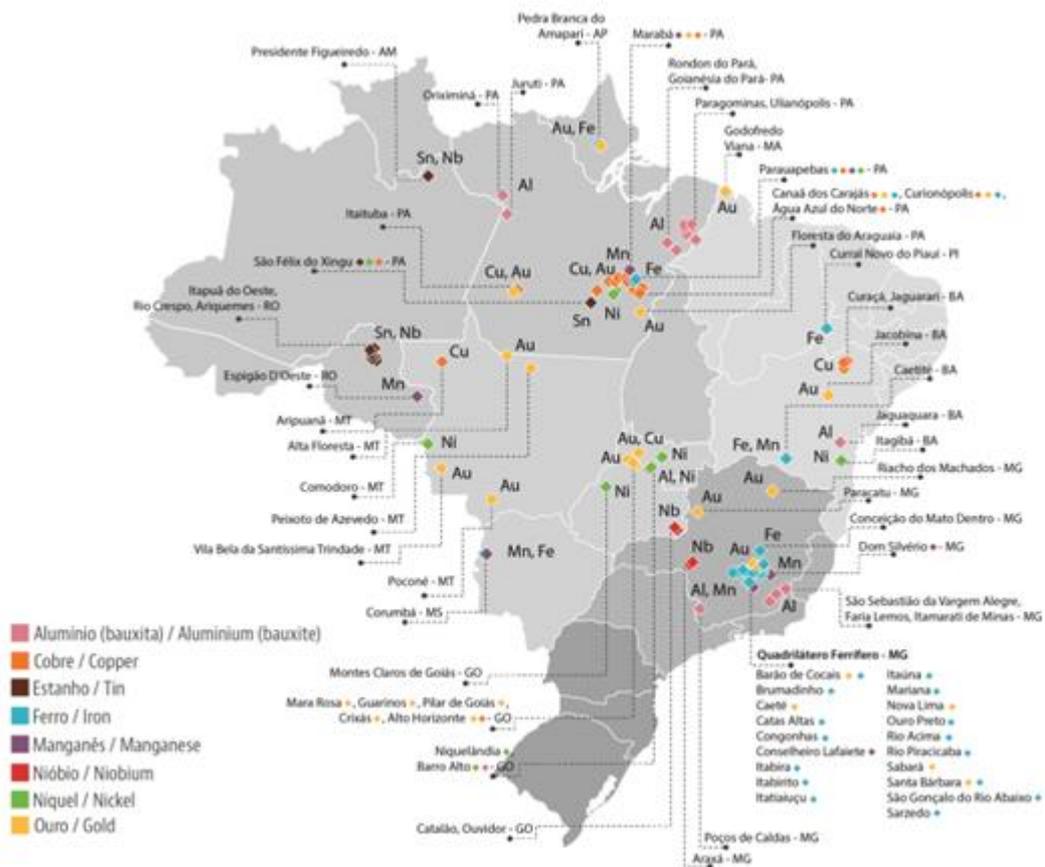


Figura 10 - Localização das principais reservas minerais brasileiras.

Fonte: Anuário Minerais Brasileiro 2018 da Agência Nacional de Mineração (2018).

Como observado na Figura 10 e ainda, de acordo com o IBRAM, Minas Gerais extrai mais de 160 milhões de toneladas/ano de minério de ferro, o Estado é responsável por aproximadamente 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% de minérios em

geral. A atividade de mineração está presente em mais de 250 municípios mineiros e dos dez maiores municípios mineradoras, sete estão em Minas Gerais e das 100 maiores minas do Brasil, 40 estão localizadas no Estado.

A mineradora do estudo em questão é a uma das maiores mineradoras do mundo, e tem em Minas Gerais um de seus maiores Complexos Mineradores – este do qual onde foi realizado o presente estudo.

A mineração envolve um grande processo envolvendo atividades e processos com o objetivo de extrair diferentes espécies minerais a partir de massas minerais ou depósitos. Na sociedade moderna, os minérios tornaram-se indispensáveis, uma vez que todos os recursos humanos nos mais diferentes setores de fabricação necessitam de recursos provenientes da extração mineral (BEZERRA JUNIOR, 2019).

No processo de extração mineral, principalmente em casos de empresas de grande porte (como a do presente estudo), envolve equipamentos de grandes magnitudes e que estão sujeitos a altas cargas de trabalho e grandes esforços.

As operações se iniciam com o planejamento das minas para averiguar a existência dos recursos. Após a localização encontrada, o material extraído é transportado da jazida por meio de operações de lavra até os pontos de descarga para que possa ser corretamente tratado em operações de beneficiamento de minérios.

Com o detalhamento do processo, pode-se compreender a função desempenhada por cada equipamento presente nas minas. Inicialmente, ocorre o desmonte do solo, realizado pelas perfuradoras ou perfuratrizes responsáveis pela perfuração da rocha. Posteriormente, as escavadeiras e tratores podem realizar o desmonte diretamente, ou realizam a detonação prévia para permitir maior celeridade e extração.

As escavadeiras e carregadeiras (ou pás carregadeiras) são responsáveis por extrair o material do ponto de carga e assim realizar o carregamento dos caminhões fora-de-estrada. Estes, por sua vez, são responsáveis pelo transporte do material da frente de lavra até as correias transportadoras ou diretamente para as usinas, onde inicia-se o processo de beneficiamento do minério – a sequência desse processo, caracteriza-se por equipamentos fixos, que não são objetos de estudo deste trabalho.

O processo tem continuidade com o beneficiamento do minério, onde as partículas são reduzidas por meio de britadores, tornando o transporte no interior da mina mais viável. Em seguida, as correias transportadoras realizam a locomoção do minério para a usina, onde o

material é dividido por granulometrias e tratado na planta para que possa ser levado ao porto e distribuído para os clientes. A Figura 11 apresenta um panorama geral das etapas de produção.

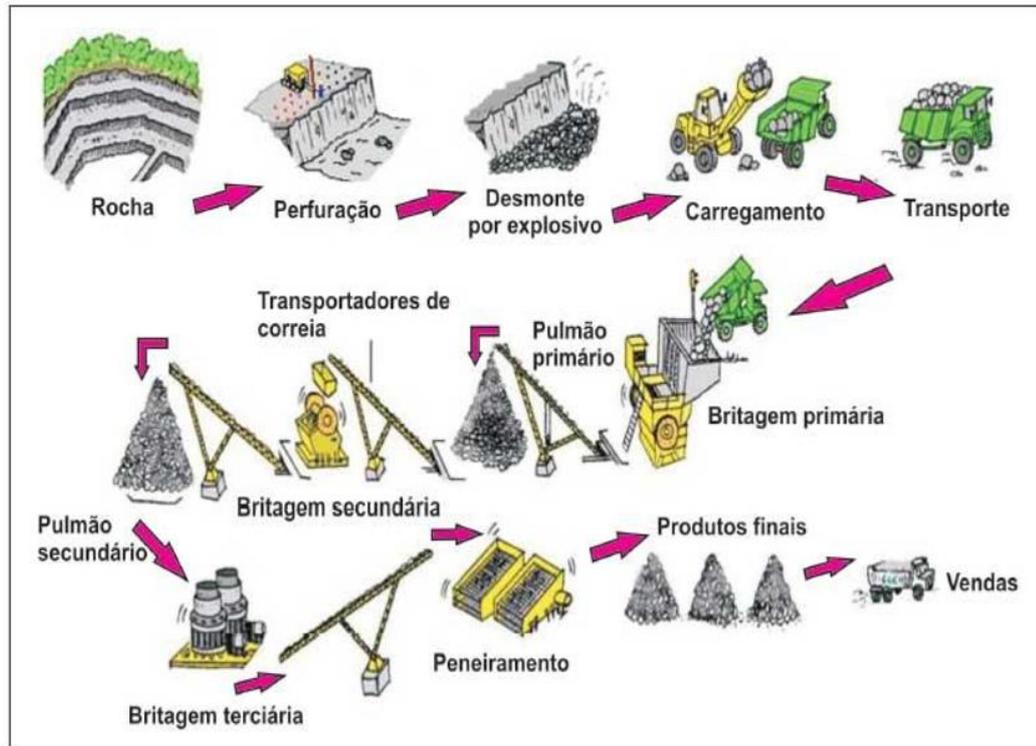


Figura 11 - Ciclo de Mineração
Fonte: Iramina *et al* (2009).

Além desses equipamentos ligados diretamente ao processo de extração, tem-se também os equipamentos auxiliares para todo o processo – conhecidos como os equipamentos de infraestrutura. Trata-se das motoniveladoras e tratores de esteira, responsáveis pela manutenção das vias de acesso a mina e trajetos executados pelos caminhões fora-de-estrada.

4.2 Equipamentos Móveis de Mineração

Uma vez que todos os equipamentos trabalham de forma conjunta, é importante que todos estejam aptos a desempenhar sua respectiva função sem apresentar falhas, para que as etapas conseguintes não sejam prejudicadas, pois paradas não programadas na extração de minérios resultam em altas perdas financeiras para a empresa.

Nesse sentido, o setor de manutenção deve garantir a confiabilidade de todos os equipamentos envolvidos no ciclo de mineração, a partir de inspeções programadas e planos de manutenção criteriosos.

Na mineradora em estudo, tem-se a divisão da manutenção em dois setores:

- Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina - equipe responsável pela manutenção dos equipamentos móveis, ou seja, equipamentos presentes na fase de extração e transporte (caso feita por caminhões fora-de-estrada) do minério,
- Gerência de Manutenção Industrial - equipe responsável pelos equipamentos fixos, pelos equipamentos na fase de beneficiamento do minério – ou seja, manutenção nas usinas do complexo minerador da empresa.

O presente estudo tem como objetivo aplicação do Perfil de Perdas para os dados dos equipamentos móveis de mina, tratando-se, portanto, de um trabalho realizado na Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina. Assim, Tabela 3 a seguir resume os equipamentos móveis de mina (objetos do estudo) segundo os processos em que os mesmos estão envolvidos.

Tabela 3 - Equipamentos Móveis de Mineração

Processo	Equipamentos Móveis
Perfuração	Perfuratrizes
Carregamento	Carregadeiras
	Escavadeiras
Transporte	Caminhões Fora-de-Estrada
Infraestrutura	Motoniveladoras
	Tratores de Esteira

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

A seguir, descreve-se sucintamente os seis equipamentos móveis que são de responsabilidade da equipe de Manutenção de Equipamentos de Mina, bem como sua funcionalidade dentro do processo de mina.

4.2.1 Perfuratrizes

A perfuratriz realiza diferentes funções nos processos de mineração. Sua função compreende a coleta de amostras geológicas, determinação das amostras físicas e químicas do solo, identificação dos minerais e escavação. A abertura dos furos ocorre com uma distribuição geométrica determinada e posteriormente, são inseridos explosivos que auxiliam no processo de lavra da rocha. No processo de mineração, as rochas são perfuradas pelo método de perfuração mecânica.

4.2.2 Carregadeiras

As pás carregadeiras ou simplesmente carregadeiras são equipamentos constituídos por rodas ou esteiras, equipados com caçamba frontal à qual é acionada através de um sistema de braços articulados. A caçamba permite a elevação do material nela depositado para um posterior despejo em unidades de transporte. (RACIA, 2016). No carregamento, as carregadeiras é que se deslocam, movimentando-se entre o talude e o veículo.

As carregadeiras são geralmente utilizadas para pequenos cortes de materiais que possuam pouca resistência, carregamento de material solto, limpeza de praças de trabalho e pequenos nivelamentos e espalhamentos.

As carregadeiras são equipamentos versáteis, utilizados na lavra de materiais em minas a céu aberto. A maior vantagem oferecida pelas carregadeiras, está relacionada ao fácil deslocamento, considerando que as quais utilizam pneus. De acordo BOHNET (2011), as carregadeiras são equipamentos muito móveis, logo são ideais para situações que requerem mudanças de frente de lavra constantemente.

4.2.3 Escavadeiras

A escavadeira, também conhecida como pá mecânica, é um equipamento que trabalha parado, isto é, a sua estrutura, portanto se destina apenas a lhe permitir o deslocamento sem, contudo, participar do ciclo de trabalho. Uma escavadeira pode ser montada sobre esteira, rodas e trilhos, sendo a escavadeira de esteira a mais utilizada no ambiente de mineração. As escavadeiras se dividem em diferentes grupos conforme o seu porte e a finalidade em que elas são empregadas (RICARDO e CATALANI, 2007).

Segundo Lacerda, Neto e Silva (2015), são máquinas comumente utilizadas para efetuar mecanicamente as operações de desmonte e/ou carga de estéril e minério. São destinadas ao desmonte e carga de rochas brandas; ou à carga de produtos que foram desmontados por explosivos, no caso de maciços formados por rochas mais duras.

O tempo de ciclo de carregamento das carregadeiras é aproximadamente 25% a 50% menor do que uma escavadeira. Porém, em determinados casos devido ao menor tamanho de concha das carregadeiras, elas tendem a ser menos produtivas (BOHNET, 2011).

4.2.4 Caminhões Fora-de-Estrada

Os caminhões fora-de-estrada são destinados, em sua maioria, para atividades em mineração construção e pedreiras, onde se exige uma grande capacidade de carga, deste modo, tais máquinas são capazes de transportar até 400 toneladas.

No processo em questão, a mineração à céu aberto, estes caminhões são carregados transportam o minério extraído na frente de lavra até as etapas beneficiamento e melhoramento, quando este se fizer necessário, ou diretamente para o trem ou mineroduto que o levará até o porto para distribuição para os clientes.

4.2.5 Motoniveladoras

Consiste em máquinas equipadas com lâminas que possuem variada movimentação. São utilizados em operações de infraestrutura para nivelar terrenos, conformar talude, espalhar material, auxiliar na manutenção e construção de acessos.

Consiste em um veículo em geral com 6 rodas, das quais 4 se localizam na traseira para que possa ter uma maior força sustentando o peso do motor e aumentar o torque para a laminação do solo, as outras 2 na dianteira do veículo para controle de direção. Sua lâmina se encontra na horizontal e é ajustável (horizontal, vertical e ângulo) através de braços mecânicos e/ou pistões hidráulicos e engrenagens (Wikipedia).

É uma máquina especialmente utilizada para a preparação do solo em que a obra será realizada, ajustando o terreno por meio da terraplanagem. Esse procedimento é necessário para que este terreno possa receber os passos seguintes da construção, sem que haja qualquer desnível que possa interferir na obra e dificultar sua realização.

4.2.6 Tratores de Esteira

Tratores podem ser entendido como “uma máquina automotora especialmente construída para empurrar outra(s) máquina(s) e/ou acionar implemento(s) a ela adaptado(s)” (JAWORSKI, 2018).

Na mineração, o trator de esteira é imprescindível para o desenvolvimento de uma mina, onde ele realiza várias funções e sua flexibilidade aumenta a importância para concluir os serviços. Geralmente, a atividade do trator de esteira antecede as atividades de produção, sendo importante na etapa de extração e transporte. Sendo assim, os atrasos referentes ao seu

deslocamento poderão comprometer todo o planejamento acarretando a perda de produtividade de outros mecanismos.

É um tipo de trator movido por um material rodante que tem a função de promover a sustentação e a locomoção da máquina. O sentido de locomoção da esteira é dado no mesmo sentido de movimentação do trator (FURLANI e SILVA, 2006).

4.3 Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina

Conforme informado no tópico anterior, a Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina é a responsável por fazer a gestão, administração e execução da manutenção dos equipamentos móveis. Dessa forma, é de responsabilidade dela que os ativos da gerência continuem exercendo a performance e função as quais são requeridas, realizando manutenções de maneira eficaz e mais objetiva possível - ou seja, reparando o equipamento de uma maneira breve e evitando falhas e/ou avarias futuras as quais podem gerar uma queda de confiabilidade do equipamento e paradas não planejadas.

Assim, para cumprimento desses papéis e responsabilidades, a gerência é dividida em grupos com diferentes competências, como pode ser visto na Tabela 4 a seguir – tratam-se das seis supervisões que fazem parte da gerência, onde 5 delas são responsáveis pela execução das manutenções (duas supervisões responsáveis pelas manutenções preventivas, e três pelas manutenções corretivas) e uma supervisão, a Supervisão de Planejamento e Controle da Manutenção, responsável por todo o planejamento e programação das manutenções (corretivas, preventivas ou preditivas), provisionamento de matérias, preparação de área e que também executa as inspeções em todos os equipamentos (inspeções sensitivas e inspeções preditivas – ou seja, as manutenções preditivas).

Tabela 4 – Estrutura Original de Supervisões da Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina da mineradora estudada

Supervisões	Responsabilidades	Efetivo	Turno
PCM	<ul style="list-style-type: none"> • Inspecionar: Realizar as inspeções sensitivas e preditivas de todos os ativos da gerência, resultando nas demandas de manutenções condicionais. • Planejar: Realizar o planejamento das atividades de manutenção a curto, médio e longo prazo, com base nas demandas condicionais (inspeções) e planos sistemáticos (preventivos). • Aprovisionar: Realizar solicitação e compra de materiais e componentes, diligenciando sua entrega, para proporcionar mais eficiência à execução da manutenção. • Programar: Programar as atividades de manutenção de acordo com a necessidade do ativo, otimizando a utilização dos recursos. • Preparar: Preparar recursos necessários com antecedência para a execução das atividades e entregar no local, no tempo, na qualidade e quantidade em acordo com etapas de planejamento e programação. • Gerenciar KPIs: Monitorar e gerenciar os processos de PCM e de Execução, através da consolidação e análise de indicadores, propondo soluções para os desvios e falhas de processo bem como auxiliar a identificar oportunidades de melhoria. 	<p>1 Supervisor 1 Engenheiro 3 Analistas 8 Técnicos 6 Planejadores 3 Aprovisionadores 3 Programadores 2 Preparadores 8 Inspetores</p>	<p>ADM (de 7:00hs às 16:00hs)</p> <p>Segunda à sexta</p>
Preventiva ADM	Responsável por executar as manutenções preventivas conforme planejamento e programação realizados pela equipe de PCM. Importante realizar contínuo feedback com os programadores e planejadores de PCM quanto as atividades programadas e planejadas pelos mesmos.	<p>1 Supervisor 3 Técnicos 12 Mecânicos 9 Eletricistas 3 Soldadores</p>	<p>ADM (de 7:00hs às 16:00hs)</p> <p>Segunda à sábado</p>
Preventiva 16x01	Responsável por executar as manutenções preventivas conforme planejamento e programação realizados pela equipe de PCM. Importante realizar contínuo feedback com os programadores e planejadores de PCM quanto as atividades programadas e planejadas pelos mesmos.	<p>1 Supervisor 3 Técnicos 12 Mecânicos 9 Eletricistas 3 Soldadores</p>	<p>16:00hs às 01:00hs)</p> <p>Segunda à sábado</p>
Corretiva ADM	Responsável por executar as intervenções corretivas ou emergenciais nos equipamentos da gerência, objetivando retorno imediato da plena funcionalidade dos ativos.	<p>1 Supervisor 3 Técnicos 9 Mecânicos 6 Eletricistas 3 Soldadores</p>	<p>ADM (de 7:00hs às 16:00hs)</p> <p>Todos os dias</p>
Corretiva 16x01	Responsável por executar as intervenções corretivas ou emergenciais nos equipamentos da gerência, objetivando retorno imediato da plena funcionalidade dos ativos.	<p>1 Supervisor 3 Técnicos 9 Mecânicos 6 Eletricistas 3 Soldadores</p>	<p>16:00hs às 01:00hs)</p> <p>Todos os dias</p>
Corretiva 00x09	Responsável por executar as intervenções corretivas ou emergenciais nos equipamentos da gerência, objetivando retorno imediato da plena funcionalidade dos ativos.	<p>1 Supervisor 3 Técnicos 9 Mecânicos 6 Eletricistas 3 Soldadores</p>	<p>00:00hs às 09:00hs)</p> <p>Todos os dias</p>

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

Observa-se na Tabela 4, que as equipes de PCM possuem turno de trabalho administrativo de segunda a sexta, enquanto as equipes preventivas operam em regimes de trabalho diferentes.

Já as manutenções corretivas, por seu caráter emergencial e imprevisível, devem ter suas equipes de trabalho em regime de 24 horas disponíveis – logo, as três supervisões corretivas, operam em regime de segunda a segunda e dividem-se exatamente pelos seus regimes de trabalho objetivando estarem disponíveis a todo momento para o conserto imediato dos equipamentos falhos.

Por fim, as manutenções preventivas, essas planejadas e programadas pela equipe de PCM, são previstas durante o dia de 07:00hs até as 01:00h de segunda a sábado – as equipes não trabalham durante o turno da madrugada em virtude da política de segurança da empresa.

4.4 Supervisão de Planejamento e Controle da Manutenção - PCM

Considerando que das seis supervisões da gerência, cinco delas se referem apenas a execução das manutenções (sejam elas corretivas ou preventivas), o estudo foca então na Supervisão de Planejamento e Controle da Manutenção – PCM. Conforme evidenciado pela Tabela 4, o PCM tem a responsabilidade desde a inspeção de todos os ativos da gerência, passando por todos os processos de planejamento, provisionamento e programação (até a preparação de área), até a parte de controle e gerenciamento de indicadores. Assim, apresenta-se a seguir (Figura 12) o organograma da Supervisão PCM.

Observa-se na Figura 12 o organograma do PCM, a presença de um engenheiro, responsável técnico por todo o PCM e apoio ao gerenciamento e gestão da supervisão; e de três analistas, com as seguintes responsabilidades:

- Analista de Planejamento e Materiais – este responsável pelos processos de planejamento a curto, médio e longo prazo, bem como as atividades de provisionamento de materiais e componentes e gestão de contratos.
- Analista de Inspeção, Programação e Preparação – responsável pelos processos de inspeção preditiva e sensitiva, programação e preparação semanal e diária. Vincula-se a ele também o processo de Orientação Técnica.
- Analista de Processos e Riscos – responsável pelo monitoramento e gerenciamento dos processos e indicadores da gerência, bem como riscos e auditorias.

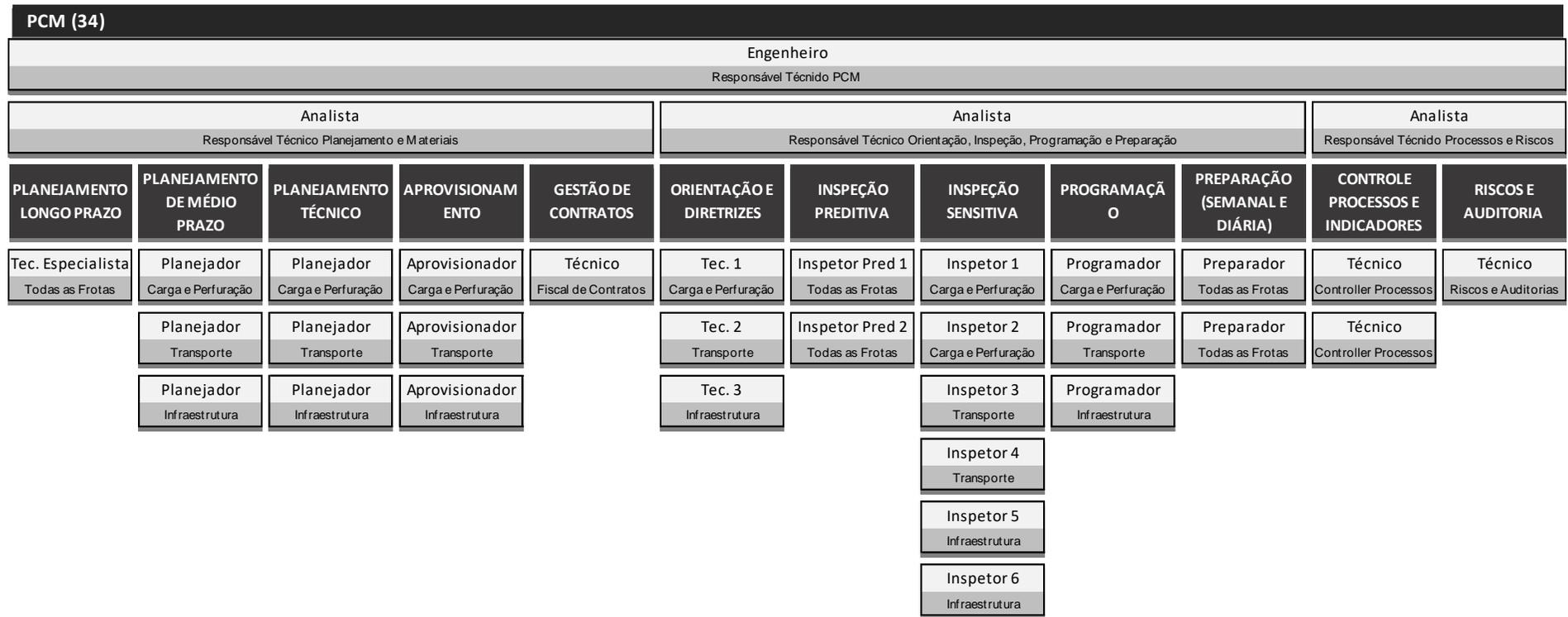


Figura 12 - Organograma da Supervisão de Planejamento e Controle da Manutenção.
Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

4.5 Diagnóstico da Condição Inicial da Confiabilidade na Gerência

Observando a toda a estrutura da Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina, bem como principalmente o organograma e responsabilidades da Supervisão de PCM, nota-se pouca preocupação quanto à análise de desempenho das manutenções realizadas – ou seja, percebe-se pouco destaque dado a confiabilidade das atividades de manutenção realizadas pela gerência.

Atenta-se para que, embora ferramentas de MCC como Diagrama de Causa e Efeito, Método dos “Por Quês” e Análise de Falhas fossem aplicados pela gerência (explicação da forma como eram aplicadas a partir do parágrafo seguinte), estas ferramentas não se configuram de forma sistêmica, sendo aplicadas segundo mais diretrizes sensitivas dos gestores responsáveis (com base no julgamento pessoal das experiências de cada um) do que segundo as diretrizes da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

O método de Análise de Falhas aplicado de forma padronizada e unificada por todos os setores de manutenção da mineradora é descrito pela Tabela 5. Trata-se de uma adaptação bem fiel do modelo de PDCA teórico, iniciando-se pela observação e análise da falha objetivando a causa raiz, e posteriormente traçando-se e executando ações para sanar a mesma; com etapas de verificação das medidas tomadas. Por fim, padronização das medidas executadas através de documentos normativos oficiais da mineradora.

Tabela 5 - Modelo de PCDA para Análise de Falhas aplicado pela Minerado X

PDCA	Fluxograma	Etapa	Objetivo
P	1	Observação	Investigar as características específicas da falha com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
	2	Análise	Descobrir as causas fundamentais dos problemas mapeados utilizando-se de métodos como: Análise de Causas Raiz, 5 Por quês, MCS (Motivo, Causa, Solução) e Diagrama de Causa e Efeito.
	3	Plano de Ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais, elaborando e gerenciando ações advindas dessa análise.
D	4	Execução	Bloquear as causas fundamentais.
C	5	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
A	6	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema tornando o procedimento como novo padrão para realização de atividades similares.

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

Assim, percebe-se que a mineradora (e, portanto, a gerência) possuem um método elaborado e estruturado para Análises de Falha. O “porém” desse método, no caso particular da gerência em estudo, é a forma pela qual ele é aplicado.

Dentro da estrutura da gerência, verifica-se uma inexistência de atribuições quanto aos responsáveis por executar tal método e uma indefinição quanto à quando e em quais casos esse método deve ser aplicado. Na maioria das aplicações, os analistas do PCM que executavam as análises e a demanda para que ocorresse as mesmas, vinham por parte gerencial – em quase todos os casos, devido a falha extremamente onerosa ou mesmo uma falha catastrófica de algum componente.

Dessa forma, devido as poucas falhas devidamente analisadas e sem, portanto, ter suas causas fundamentais bloqueadas, as falhas voltavam a ocorrer – reincidência de falhas. Círculo Vicioso de falhas se instaurava então nas manutenções realizadas pela gerência, na medida que ocorrida a falha, apenas ações corretivas para remoção do sintoma eram tomadas, sem investigação das causas raízes (sem análises de falha), e a falha reincidia novamente quando as mesmas causas raízes, não sanadas, atuavam novamente.

Nota-se também a partir da estrutura da gerência e da supervisão de PCM, a inexistência de uma equipe responsável para tratar de confiabilidade dentro das manutenções realizadas. Pela Tabela 3 pode-se perceber que sequer faz parte do escopo de responsabilidades de nenhuma das supervisões a análise de confiabilidade, bem como também

percebe-se por ela a falta de preocupação com as análises de falhas, mesmo tendo um método padronizado pela empresa. Dessa forma, estando essas responsabilidades com carência de atribuição, essas responsabilidades eram muitas vezes abandonadas e deixadas em segundo plano, com baixa prioridade.

Importante salientar que uma boa manutenção atua preventivamente no sentido de evitar falhas recorrentes, introduzindo melhorias nos equipamentos, a partir da identificação e implementação de medidas de bloqueio para causas fundamentais de falhas – ou seja, esses princípios não estavam sendo seguidos pela gerência, em virtude da indefinição de em quais falhas se deviam aplicar o método de Análise de Falhas, bem como na falta de uma equipe responsável pra tal.

Conclui-se então, que embora a gerência possua um método de Análise de Falha padronizado e que, mesmo que em poucas falhas, seja aplicado, o mesmo não é aplicado de forma sistêmica. Ressalta-se também que não existia na Gerência de Manutenção de Equipamentos de Mina uma metodologia que estudasse um equipamento ou um sistema em detalhes, analisando como ele pode falhar e definindo a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas – ou seja, a Confiabilidade não era aplicada conforme conceitos teóricos.

4.6 Diagnóstico da Performance dos Equipamentos de Mina

Iniciou-se o estudo pelo levantamento da performance dos equipamentos móveis da mineradora. Como parâmetros de performance optou-se pelos dados de número de falhas (manutenções ou intervenções corretivas) e duração das falhas (horas de manutenção corretiva ou não programadas).

Importante atentar a dinâmica de operação dos equipamentos na mineradora. Em virtude da demanda e de decisões gerenciais. O número de equipamentos operando em cada mês não é fixo, variando muito de um mês para o outro. Dessa forma, nos meses em que ocorre maior quantidade de equipamentos em operação, os valores de horas corretivas e de número de falhas conseqüentemente serão também maiores. Assim, para critérios de comparação, adotou-se a média mensal a partir da quantidade de equipamentos em operação. Assim, dividiu-se o total de horas em manutenção – ou número de falhas - pela quantidade de equipamentos operando, chegando assim as horas paradas não programadas médio – e número de ocorrências não programadas médio.

4.6.1 Levantamento de Horas Paradas Não Programadas Médio 2019

Dessa forma, foi realizado o levantamento de todo o histórico do ano de 2019 para a performance da manutenção nos equipamentos. Destaca-se que o levantamento considerou a separação entre as famílias de equipamentos: carregamento, transporte, infraestrutura e perfuração. A Tabela 6 apresenta então o levantamento das horas paradas não programadas médio das frotas da empresa mineradora durante o ano de 2019.

Tabela 6 - Levantamento das Horas Paradas Não Programadas Médio em 2019

Grupo	Dado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	2019
Carregamento	Perdas (Horas)	1.087,78	1.528,59	1.771,52	999,92	1.832,84	767,30	1.067,18	1.140,25	685,68	960,14	2.729,62	1.978,17	16.548,99
Carregamento	Nº de Equipamentos	30	30	31	25	29	25	28	27	22	22	33	33	335
Carregamento	Média Mensal	36,26	50,95	57,15	40,00	63,20	30,69	38,11	42,23	31,17	43,64	82,72	59,94	49,40
Infraestrutura	Perdas (Horas)	3.817,27	3.904,99	8.233,78	5.074,56	4.746,01	2.467,01	4.595,82	6.834,25	4.466,56	4.874,44	4.188,74	6.119,57	59.323,02
Infraestrutura	Nº de Equipamentos	28	28	27	27	25	23	26	24	26	26	27	28	315
Infraestrutura	Média Mensal	136,33	139,46	304,95	187,95	189,84	107,26	176,76	284,76	171,79	187,48	155,14	218,56	188,33
Transporte	Perdas (Horas)	1.763,78	2.249,11	3.266,67	1.454,36	815,58	641,23	320,19	337,90	1.239,54	749,74	2.219,37	1.478,41	16.535,87
Transporte	Nº de Equipamentos	36	37	37	28	19	18	15	16	15	16	26	25	288
Transporte	Média Mensal	48,99	60,79	88,29	51,94	42,93	35,62	21,35	21,12	82,64	46,86	85,36	59,14	57,42
Perfuração	Perdas (Horas)	541,10	311,57	315,05	1.306,95	1.138,18	1.096,17	714,88	1.087,26	480,32	390,66	175,02	538,31	8.095,46
Perfuração	Nº de Equipamentos	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	61
Perfuração	Média Mensal	108,22	62,31	63,01	261,39	227,64	219,23	142,98	181,21	96,06	78,13	35,00	107,66	132,71
Total	Perdas (Horas)	7.209,92	7.994,26	13.587,02	8.835,79	8.532,61	4.971,70	6.698,07	9.399,66	6.872,09	6.974,99	9.312,75	10.114,46	100.503,33
Total	Nº de Equipamentos	99	100	100	85	78	71	74	73	68	69	91	91	999
Total	Média Mensal	72,83	79,94	135,87	103,95	109,39	70,02	90,51	128,76	101,06	101,09	102,34	111,15	100,60

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

A partir do levantamento dos dados apresentado pela Tabela 6, é possível perceber que os equipamentos ficaram um total de mais de 100 mil horas em manutenções corretivas, apresentando uma média de 100,6 horas de média mensal por equipamento em operação.

Os equipamentos de infraestrutura foram os que apresentam maior média, ficando cerca de 188,33 horas em manutenção não programadas por mês; enquanto os equipamentos de carregamento foram os que apresentaram menores valores – 49,40 horas de média.

Após levantamento da primeira natureza, partiu-se então para a análise quanto ao número de ocorrência não programadas.

4.6.2 Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio 2019

Da mesma forma que para a natureza de horas paradas não programadas, foi realizado o levantamento de todo o histórico do ano de 2019 para a natureza de número de ocorrências não programadas da manutenção nos equipamentos, apresentado na Tabela 7. Novamente levou-se em consideração a separação entre as famílias de equipamentos: carregamento, transporte, infraestrutura e perfuração.

Tabela 7 - Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio em 2019.

Grupo	Dado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	2019
Carregamento	Nº de Falhas	210	187	164	124	128	114	100	120	117	121	161	168	1.714
Carregamento	Nº de Equipamentos	30	30	31	25	29	25	28	27	22	22	33	33	335
Carregamento	Média Mensal	7,00	6,23	5,29	4,96	4,41	4,56	3,57	4,44	5,32	5,50	4,88	5,09	5,12
Infraestrutura	Nº de Falhas	442	419	334	331	343	283	296	288	353	401	380	431	4.301
Infraestrutura	Nº de Equipamentos	28	28	27	27	25	23	26	24	26	26	27	28	315
Infraestrutura	Média Mensal	15,79	14,96	12,37	12,26	13,72	12,30	11,38	12,00	13,58	15,42	14,07	15,39	13,65
Transporte	Nº de Falhas	564	656	458	260	170	157	89	83	129	140	291	291	3.288
Transporte	Nº de Equipamentos	36	37	37	28	19	18	15	16	15	16	26	25	288
Transporte	Média Mensal	15,67	17,73	12,38	9,29	8,95	8,72	5,93	5,19	8,60	8,75	11,19	11,64	11,42
Perfuração	Nº de Falhas	93	66	19	53	74	62	74	77	73	72	30	44	737
Perfuração	Nº de Equipamentos	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	61
Perfuração	Média Mensal	18,60	13,20	3,80	10,60	14,80	12,40	14,80	12,83	14,60	14,40	6,00	8,80	12,08
Total	Nº de Falhas	1.309	1.328	975	768	715	616	559	568	672	734	862	934	10.040
Total	Nº de Equipamentos	99	100	100	85	78	71	74	73	68	69	91	91	999
Total	Média Mensal	13,22	13,28	9,75	9,04	9,17	8,68	7,55	7,78	9,88	10,64	9,47	10,26	10,05

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Analisando-se então, agora, pelo número de ocorrências não programadas, observa-se um total de 10.040 falhas ocorridas no ano de 2019. Vale frisar que esse total de falhas teve duração de 100.503,33 horas, conforme pode ser visto na Tabela 7.

Dessa forma, em 2019 os equipamentos móveis apresentaram um número médio de 10,05 falhas mensais por equipamento. Da mesma forma como ocorreu com a análise de duração, infraestrutura foi a frota que também apresentou maior média mensal de ocorrências com 13,65 e carregamento o menor valor com 5,12 ocorrências.

Assim, tendo-se realizado todo o levantamento da performance dos equipamentos, seguiu-se para a análise dos processos de MCC e dos responsáveis dentro da gerência.

4.7 Definição de Equipe de Confiabilidade

Visto que a mineradora estudada não possui de forma estruturada uma função de Confiabilidade e nem uma metodologia que trate do assunto de uma maneira sistêmica, partiu-se então para a definição de uma equipe responsável pela confiabilidade dentro da gerência.

Assim, redefiniu-se a estrutura da Gerência, criando-se uma supervisão voltada para aplicação dos processos de Manutenção Centrada na Confiabilidade, de forma sistemática e estruturada, visando aumento da disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos ativos (equipamentos), mitigando as perdas do processo mantenedor (reduzindo as paradas dos equipamentos e diminuindo as horas paradas em manutenções corretivas) - a Supervisão de Confiabilidade.

Para desenvolvimento da equipe de MCC, foi realizada a contratação (em alguns casos apenas movimentação de cargos dentro da gerência), resultando na seguinte como pode ser visto na Figura 13 - Organograma da Supervisão de Confiabilidade.

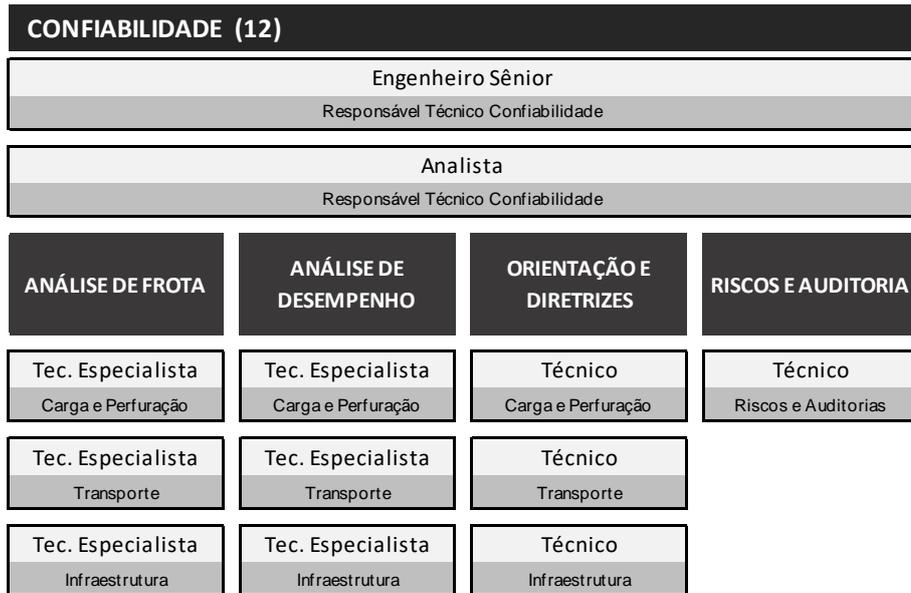


Figura 13 - Organograma da Supervisão de Confiabilidade.
Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

Observa-se pela Figura 13, que os processos (bem como os cargos) de Orientação Técnica e Riscos foram direcionados da Supervisão de PCM para a nova supervisão (decisão gerencial executiva da empresa). Observa-se que, exceto essa modificação referente a orientação e Riscos, o organograma de PCM apresentado na Figura 12 manteve-se o mesmo.

Destaca-se o papel dos Orientadores Técnicos dentro da Gerência na busca constante diálogo com as equipes de execução, objetivando análise técnica de campo, suportando as rotinas diárias da manutenção, monitorando e orientando os executores em conformidade com os procedimentos operacionais e planejamento/programação, tratando desvios e gerenciando riscos de segurança - buscando sobretudo maior confiabilidade nas manutenções realizadas pela execução, justificando então a sua presença na supervisão de Confiabilidade.

A supervisão de Confiabilidade surge, portanto, de modo a oferecer suporte à decisão gerencial e inclui: seleção do sistema, definição das funções e padrões de desempenho, determinação das falhas funcionais e de padrões de desempenho, análise dos modos e efeitos das falhas, histórico de manutenção e revisão da documentação técnica, determinação de ações de manutenção (política, tarefas, frequências).

E, para tanto, ela conta com uma equipe especializada (grande experiência em manutenção de equipamentos móveis de mineração), sendo seis técnicos especialistas, sob responsabilidade técnica de um analista e um engenheiro.

4.8 Determinação da Implementação do Perfil de Perdas

Tendo, portanto, a definição quanto a equipe responsável pela aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade, partiu-se então para a sistematização desses processos e funções dentro da gerência.

Dessa forma, tem-se então a etapa de definição das responsabilidades da Supervisão, os quais foram estabelecidos segundo metodologia teórica (conforme elucidado no item 2.2 desse presente estudo). As responsabilidades são descritas a seguir (também são expostos através da Tabela 9 – Nova Estrutura das Supervisões da Gerência, após criação da Supervisão de Confiabilidade.):

1. Identificar e estratificar as perdas no processo de manutenção a fim de identificar as maiores oportunidades de ganho.
2. Investigar e eliminar as causas que gerarem falha nos ativos, visando melhorar a performance e garantir atingimento dos resultados.
3. Avaliar de forma sistemática a performance e produtividade da manutenção.
4. Garantir atingimento de metas e resultados operacionais de forma sustentável, aumentando a disponibilidade, utilização física, confiabilidade e produtividade dos ativos da gerência, gerenciando custos, mitigando e reduzindo riscos.

Observa-se que a melhor ferramenta para se aplicar a primeira responsabilidade (conforme elucidado no referencial teórico, item 2.2.3 deste estudo) consiste na aplicação do Perfil de Perdas. A ferramenta consiste exatamente nessa estratificação das perdas do processo produtivo (nesse caso especificamente do processo mantenedor). Através do PP é possível também identificar as oportunidades de ganho - identificar o perfil das paradas ocorridas, identificar os tipos de paradas que mais se repetem e os que são responsáveis pelo maior tempo de parada.

A segunda responsabilidade traçada refere-se exatamente ao processo de Análise de Falhas, que conforme já apresentado, possui um padrão já normatizado pela Minerada X. Lembra-se que a deficiência desse processo era em virtude da indefinição de em quais falhas se deviam aplicar o método – e é nesse ponto que o Perfil de Perdas também apresenta seu papel com a segunda responsabilidade. Através do Perfil de Perdas, onde a partir de toda a estratificação de todas as perdas do processo mantenedor, tem-se a identificação das perdas,

bem como sua priorização – logo, a lacuna do método de Análise de Falhas já implantado obtém pelo Perfil de Perdas sua solução.

Dessa forma, tendo como processo a Identificação das perdas (logo, dos problemas) pelo PP e analisando as falhas pelo método exposto na Tabela 5, aplica-se na gerência os primeiros procedimentos em conformidade com as diretrizes técnicas de MCC.

Assim, a Tabela 8 apresenta as etapas do sistema para tratamento de falhas implantado. Observa-se pela Tabela 8 em comparação com a Tabela 5 – Modelo de PDCA para Análise de Falhas aplicado pela mineradora estudada que foram adicionadas as etapas de estratificação e análise do perfil de perdas, exatamente objetivos desse presente estudo.

Tabela 8 – Procedimento de tratamento de falhas implantado, através da Análise do Perfil de Perdas e Análise de Falhas pelo PDCA.

Método		Fluxo	Etapa	Objetivo
Perfil de Perdas	-	1	Estratificação	Estratificação das perdas do processo produtivo.
		2	Identificação das Perdas	Identificar o perfil das paradas ocorridas, identificar os tipos de paradas que mais se repetem e os que são responsáveis pelo maior tempo de parada.
PDCA	P	3	Observação	Investigar as características específicas da falha com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
		4	Análise	Descobrir as causas fundamentais dos problemas mapeados utilizando-se de métodos como: Análise de Causas Raiz, 5 Por quês, MCS (Motivo, Causa, Solução) e Diagrama de Causa e Efeito.
		5	Plano de Ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais, elaborando e gerenciando ações advindas dessa análise.
	D	6	Execução	Bloquear as causas fundamentais.
	C	7	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	A	8	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema tornando o procedimento como novo padrão para realização de atividades similares.

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

A terceira e quarta responsabilidade da gerência não serão abordadas diretamente pelo presente estudo, mas salienta-se que a implementação do Perfil de Perdas e estruturação do Sistema de Tratamento de Falhas contribuiu de forma direta nas mesmas – faz parte da avaliação da performance e produtividade da manutenção, bem como contribuiu efetivamente para o atingimento de metas e resultados operacionais (aumentando a disponibilidade, utilização física, confiabilidade e produtividade dos equipamentos).

Por fim, tendo-se estabelecido tanto a equipe de Confiabilidade (efetivo da Supervisão de Confiabilidade) quanto a matriz de responsabilidades, apresenta pela Tabela 9 o novo organograma de supervisões da gerência.

Tabela 9 – Nova Estrutura das Supervisões da Gerência, após criação da Supervisão de Confiabilidade.

Supervisões	Responsabilidades	Efetivo	Turno
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> Responsável pelos processos e funções de Confiabilidade dentro da gerência Identificar e estratificar as perdas no processo de manutenção a fim de identificar as maiores oportunidades de ganho. Investigar e eliminar as causas que gerarem falha nos ativos, visando melhorar a performance e garantir atingimento dos resultados. Avaliar de forma sistemática a performance e produtividade da manutenção. Garantir atingimento de metas e resultados operacionais de forma sustentável, aumentando a disponibilidade, utilização física, confiabilidade e produtividade dos ativos da gerência, gerenciando custos, mitigando e reduzindo riscos. 	1 Engenheiro 1 Analista 6 Técnicos Especialistas 4 Técnicos	ADM (de 7:00hs às 16:00hs) Segunda à sexta
PCM	<ul style="list-style-type: none"> Inspecionar: Realizar as inspeções sensitivas e preditivas de todos os ativos da gerência, resultando nas demandas de manutenções condicionais. Planejar: Realizar o planejamento das atividades de manutenção a curto, médio e longo prazo, com base nas demandas condicionais (inspeções) e planos sistemáticos (preventivos). Aprovisionar: Realizar solicitação e compra de materiais e componentes, diligenciando sua entrega, para proporcionar mais eficiência à execução da manutenção. Programar: Programar as atividades de manutenção de acordo com a necessidade do ativo, otimizando a utilização dos recursos. Preparar: Preparar recursos necessários com antecedência para a execução das atividades e entregar no local, no tempo, na qualidade e quantidade em acordo com etapas de planejamento e programação. Gerenciar KPIs: Monitorar e gerenciar os processos de PCM e de Execução, através da consolidação e análise de indicadores, propondo soluções para os desvios e falhas de processo bem como auxiliar a identificar oportunidades de melhoria. 	1 Supervisor 1 Engenheiro 3 Analistas 8 Técnicos 6 Planejadores 3 Aproveisionadores 3 Programadores 2 Preparadores 8 Inspetores	ADM (de 7:00hs às 16:00hs) Segunda à sexta
Preventiva ADM	Responsável por executar as manutenções preventivas conforme planejamento e programação realizados pela equipe de PCM. Importante realizar contínuo feedback com os programadores e planejadores de PCM quanto as atividades programadas e planejadas pelos mesmos.	1 Supervisor 3 Técnicos 12 Mecânicos 9 Eletricistas 3 Soldadores	ADM (de 7:00hs às 16:00hs) Segunda à sábado
Preventiva 16x01	Responsável por executar as manutenções preventivas conforme planejamento e programação realizados pela equipe de PCM. Importante realizar contínuo feedback com os programadores e planejadores de PCM quanto as atividades programadas e planejadas pelos mesmos.	1 Supervisor 3 Técnicos 12 Mecânicos 9 Eletricistas 3 Soldadores	16:00hs às 01:00hs) Segunda à sábado
Corretiva ADM	Responsável por executar as intervenções corretivas ou emergenciais nos equipamentos da gerência, objetivando retorno imediato da plena funcionalidade dos ativos.	1 Supervisor 3 Técnicos 9 Mecânicos 6 Eletricistas 3 Soldadores	ADM (de 7:00hs às 16:00hs) Todos os dias
Corretiva 16x01	Responsável por executar as intervenções corretivas ou emergenciais nos equipamentos da gerência, objetivando retorno imediato da plena funcionalidade dos ativos.	1 Supervisor 3 Técnicos 9 Mecânicos 6 Eletricistas 3 Soldadores	16:00hs às 01:00hs) Todos os dias
Corretiva 00x09	Responsável por executar as intervenções corretivas ou emergenciais nos equipamentos da gerência, objetivando retorno imediato da plena funcionalidade dos ativos.	1 Supervisor 3 Técnicos 9 Mecânicos 6 Eletricistas 3 Soldadores	00:00hs às 09:00hs) Todos os dias

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

4.9 Desenvolvimento do PP através do *Microsoft Power BI*

Segue-se então para a etapa de desenvolvimento e elaboração do Perfil de Perdas. E como forma de tornar esse processo mais eficiente e eficaz, garantindo a competitividade e, conseqüentemente, maior produtividade e qualidade no processo, buscou-se então o auxílio do *Business Intelligence* através do *software self-service Microsoft Power BI*.

Portanto, através do uso *Business Intelligence* torna-se o processo extremamente mais eficaz e produtivo, considerando que a equipe de Confiabilidade será direcionada apenas a análise do PP, sem preocupar-se com a elaboração diária do relatório. Isso porque, uma vez elaborado o dashboard no *Microsoft Power BI* e publicado para o ambiente online, a atualização dos dados é automática e assim, reduz-se gastos de tempos diários com atualizações manuais dos dados, caso por exemplo, esse mesmo relatório fosse desenvolvido a partir do *software Microsoft Excel*. Exemplifica-se esse fato através da Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação entre tempos gastos para desenvolvimento do PP, com e sem a utilização de ferramentas de *Business Intelligence*.

Ferramenta	Característica	Tempo Gasto Para Elaboração Inicial do Relatório	Tempo gasto diariamente
<i>Microsoft Excel</i>	Manual	-	3 a 4 horas
<i>Microsoft Power BI</i>	<i>Business Intelligence</i>	40 horas	-

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Observa-se na Tabela 10 que utilizando o *Microsoft Power BI* tem um tempo de elaboração relativamente alto (no presente estudo foram dedicados cinco dias de trabalho até finalização do mesmo, totalizando 40 horais totais), porém, finalizado o mesmo, não se tem gastos de tempo diários sequer com a atualização dos dados. Já através do *software Microsoft Excel*, tem-se um tempo constante de 3 a 4 horas para elaboração. Ou seja, enquanto através do *Business Intelligence* foram dedicados cinco dias de trabalho para elaboração, sem as ferramentas teriam de ser dedicados para desenvolvimento meio expediente de serviço todos os dias.

Além desse enorme ganho de tempo (HH, ou seja, homem-hora de trabalho), destaca-se a redução de atividades de baixo valor agregado, a atividade de elaboração do perfil, que não gera valor a manutenção. Dessa forma, retirando-se essas horas que seriam dedicadas a atividades manuais de desenvolvimento do PP através do *Business Intelligence*, ganha-se produtividade na análise do mesmo, permitindo-se maior tempo para identificação e

observação das perdas e oportunidades de ganho – atividades estas de grande valor agregado para a manutenção, na medida que geram resultado, geram maior confiabilidade para a manutenção.

Por fim, ressalta-se o enorme volume de dados presentes no banco de dados, em torno de milhões de linhas/ informações – trata-se de dados de todos os equipamentos (móveis ou fixos, de usina ou de mina) não só do complexo minerador em estudo, como também de todos os complexos da mineradora estudada.

Conforme mencionado anteriormente no item 3.4, as informações necessárias para o assunto foram disponibilizadas através de um sistema PIMS - sistemas que adquirem dados de processo de diversas fontes, os armazenam num banco de dados históricos e os disponibilizam através de diversas formas de representação.

O banco de dados do estudo, denominado “Rastreamento de Tempo Manutenção” fornece todas as informações a respeito das paradas do equipamento, sejam essas em virtude de manutenções preventivas, preditivas, corretivas ou mesmo apenas para lubrificação ou abastecimento. Ou seja, cada linha desse banco de dados refere-se a uma parada de algum equipamento.

Portanto, justifica-se ainda mais a utilização do *Business Intelligence* nessa etapa, visto enorme volume de dados geraria dificuldades para processamento de forma manual. Ressalta-se que mesmo utilizando de um *software* que não se caracteriza por ser um *software* de BI, como por exemplo o *Microsoft Excel*, estes não são capacitados para executar manipulação de um volume tão grande de dados. No caso prático em que testou-se pelo *Microsoft Excel*, o *software* por vezes travou ou mesmo encerrou seu processamento em virtude das milhares e milhares de linhas carregadas pelo banco de dados - o que influencia também no tempo de 4 horas observado na Tabela 10 - Comparação entre tempos gastos para desenvolvimento do PP, com e sem a utilização de ferramentas de *Business Intelligence*

4.9.1 ETL do banco de dados

Como primeiro passo para o desenvolvimento do Perfil de Perdas, tem-se a etapa de tratamento das informações (ETL - extração, transformação, carregamento dos dados).

Essa etapa foi realizada no ambiente Power Query do *software Microsoft Power BI*, onde-se a partir do acesso ao sistema PIMS da mineradora, realizou-se a comunicação com um banco de dados “Rastreamento de Tempo Manutenção” a partir de uma conexão SQL

Server – etapa de extração utilizando-se a linguagem de programação M. O script pode ser observado pela Figura 14.

```

1 let
2     Fonte = Sql.Database("172.18.72.146", "SIAM", [Query="SELECT Rastreamento_Tempo.LetraIni, Rastreamento_Tempo.LetraFim,
    Rastreamento_Tempo.TurnoIni, Rastreamento_Tempo.TurnoFim, Rastreamento_Tempo.Trimestre, Rastreamento_Tempo.Semana,
    Rastreamento_Tempo.Id, Rastreamento_Tempo.Tipo, Rastreamento_Tempo.DiaIni, Rastreamento_Tempo.DiaFim, Rastreamento_Tempo.MesIni,
    Rastreamento_Tempo.MesFim, Rastreamento_Tempo.AnoIni, Rastreamento_Tempo.AnoFim, Rastreamento_Tempo.DataIni,
    Rastreamento_Tempo.DataFim, Rastreamento_Tempo.HoraIni, Rastreamento_Tempo.HoraFim, Rastreamento_Tempo.Duração,
    Rastreamento_Tempo.CodRazao, Rastreamento_Tempo.Razao, Rastreamento_Tempo.Descrição, Rastreamento_Tempo.Comentário,
    Rastreamento_Tempo.DataAtu, Rastreamento_Tempo.OrdemServ, Rastreamento_Tempo.TpAtividade, Rastreamento_Tempo.Eqpto,
    Rastreamento_Tempo.Frota, Rastreamento_Tempo.Grupo, Rastreamento_Tempo.Modelo, Rastreamento_Tempo.Fabricante,
    Rastreamento_Tempo.LocComponente, Rastreamento_Tempo.Componente, Rastreamento_Tempo.Falha, Rastreamento_Tempo.Causa,
    Rastreamento_Tempo.Efeito, Rastreamento_Tempo.Responsavel, Rastreamento_Tempo.Executor, Rastreamento_Tempo.Preenchimento,
    Rastreamento_Tempo.OS, Rastreamento_Tempo.Cont, Rastreamento_Tempo.DataPrevLib, Rastreamento_Tempo.AderLib#(1f)FROM
    SIAM.dbo.Rastreamento_Tempo_Rastreamento_Tempo#(1f)WHERE (Rastreamento_Tempo.AnoIni>=2019)"]),
3     #"Outras Colunas Removidas" = Table.SelectColumns(Fonte,{"Tipo", "DataIni", "DataFim", "Duração", "Descrição", "Comentário",
    "TpAtividade", "Eqpto", "Frota", "Grupo", "Modelo", "Fabricante", "LocComponente", "Componente", "Falha", "Causa", "Efeito",
    "Responsavel", "Executor"}),
4     #"Linhas Filtradas" = Table.SelectRows(#"Outras Colunas Removidas", each ([Tipo] = "Manut Nao Programada")),
5     #"Tipo Alterado" = Table.TransformColumnTypes(#"Linhas Filtradas",{{"Tipo", type text}, {"DataIni", type datetime}, {"DataFim", type
    datetime}, {"Duração", type number}, {"Descrição", type text}, {"Comentário", type text}, {"TpAtividade", Int64.Type}, {"Eqpto", type
    text}, {"Frota", type text}, {"Grupo", type text}, {"Modelo", type text}, {"Fabricante", type text}, {"LocComponente", type text},
    {"Componente", type text}, {"Falha", type text}, {"Causa", type text}, {"Efeito", type text}, {"Responsavel", type text}, {"Executor",
    type text}}}),
6 in
7     #"Tipo Alterado"
  
```

✓ Nenhum erro de sintaxe detectado.

Concluído Cancelar

Figura 14 - Script em linguagem M da consulta ao banco de dados "Rastreamento de Tempo Manutenção" (print do Power Query)

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Observa-se pelo script apresentado na Figura 14, que ao se consultar o banco de dados, primeira ação realizada foi a seleção das colunas de interesse para a futura elaboração do PP. Estas são listadas a seguir:

- Equipamento, Frota do equipamento, Grupo do equipamento, Família do equipamento, Fabricante do equipamento, Data de Início da intervenção, Data Fim da intervenção, Duração da Intervenção, Comentário / Descrição do Serviço realizado, Tipo de Manutenção, Sistema da falha, Conjunto da falha, Item da falha, Causa da falha, Efeito da falha, Executor da manutenção e Responsável Técnico da manutenção.

Posteriormente realizou-se a filtragem das linhas relacionadas as manutenções não programadas – tendo-se em vista o PP com objetivo de buscar estratificar e identificar as perdas do processo mantenedor, foca-se então exatamente nas manutenções corretivas (estas denominadas pelo banco de dados como Manutenção Não Programada pela coluna Tipo). Também foi realizado o filtro dos equipamentos pertencentes ao complexo em estudo, restringido e diminuindo o volume de dados.

Como última etapa de transformação foi realizada a detecção do tipo de dados de cada coluna (número, número inteiro, número decimal, texto, hora, data, percentual, duração).

Logo, após extração realizada por consulta SQL ao banco de dados “Rastreamento de Tempo Manutenção” do sistema PIMS da mineradora e transformação de dados descritas acima, pode-se então efetuar o carregamento dos dados para o ambiente de construção dos dashboards - fim da etapa ETL.

4.9.2 Construção dos Dashboards

Para elaborar o perfil primeiro foi necessário definir a natureza da perda a ser tratada. Definiu-se então a quantidade de falhas (contagem simples de paradas corretivas, também denominadas aqui como NIC Acumulado – número de interversões corretivas acumuladas) e a duração das paradas (denominada aqui como Horas Acumuladas, tratando-se da diferença entre as colunas Fim e Início). No caso dessas duas naturezas é possível identificar o perfil das paradas ocorridas, identificar os tipos de paradas que mais se repetem e os que são responsáveis pelo maior tempo de parada.

Assim, tendo-se detalhado as duas naturezas, pode-se iniciar a etapa de estratificação das perdas. Utilizou-se então a codificação hierárquica padronizada pelo banco de dados para cada falha – por meio da estrutura de classe de falha, mesma já descrita teoricamente por Bravim (2007) no estudo teórico. Dessa forma, evidencia-se na Figura 15 a seguir a estratificação a ser realizada pelo perfil.

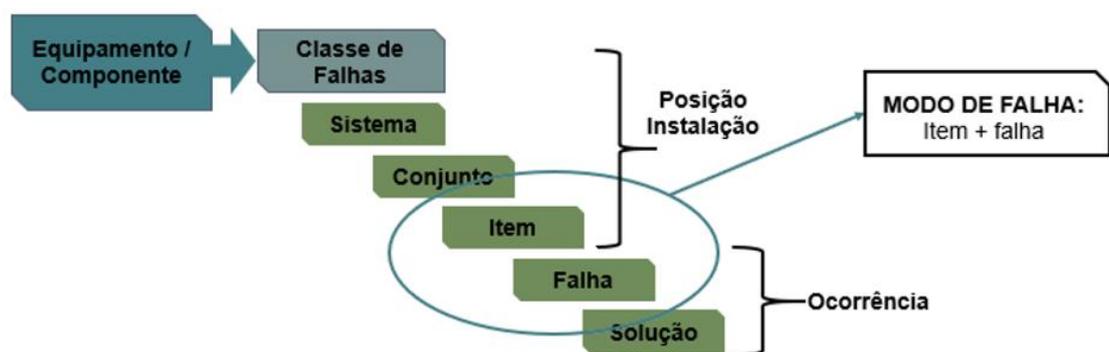


Figura 15 - Classe de falhas utilizada no banco de dados "Rastreamento de Tempo Manutenção".
Fonte: Adaptado de material interno da mineradora estudada.

Dessa forma, é possível comparar o desempenho dos equipamentos e identificar quais classes de falha, sistemas, conjuntos, itens e modos de falhas mais afetam diretamente o desempenho das manutenções realizadas.

Tendo-se então a definição das naturezas (quantidade de falhas e duração das paradas) e a estratificação das perdas pelas classes de falhas (sistema, conjunto, item, causa, efeito), elaborou-se os Gráficos de Pareto e aplicou-se a regra do 80/20 resultando então no *Dashboard* apresentado nas Figura 16 e Figura 17.

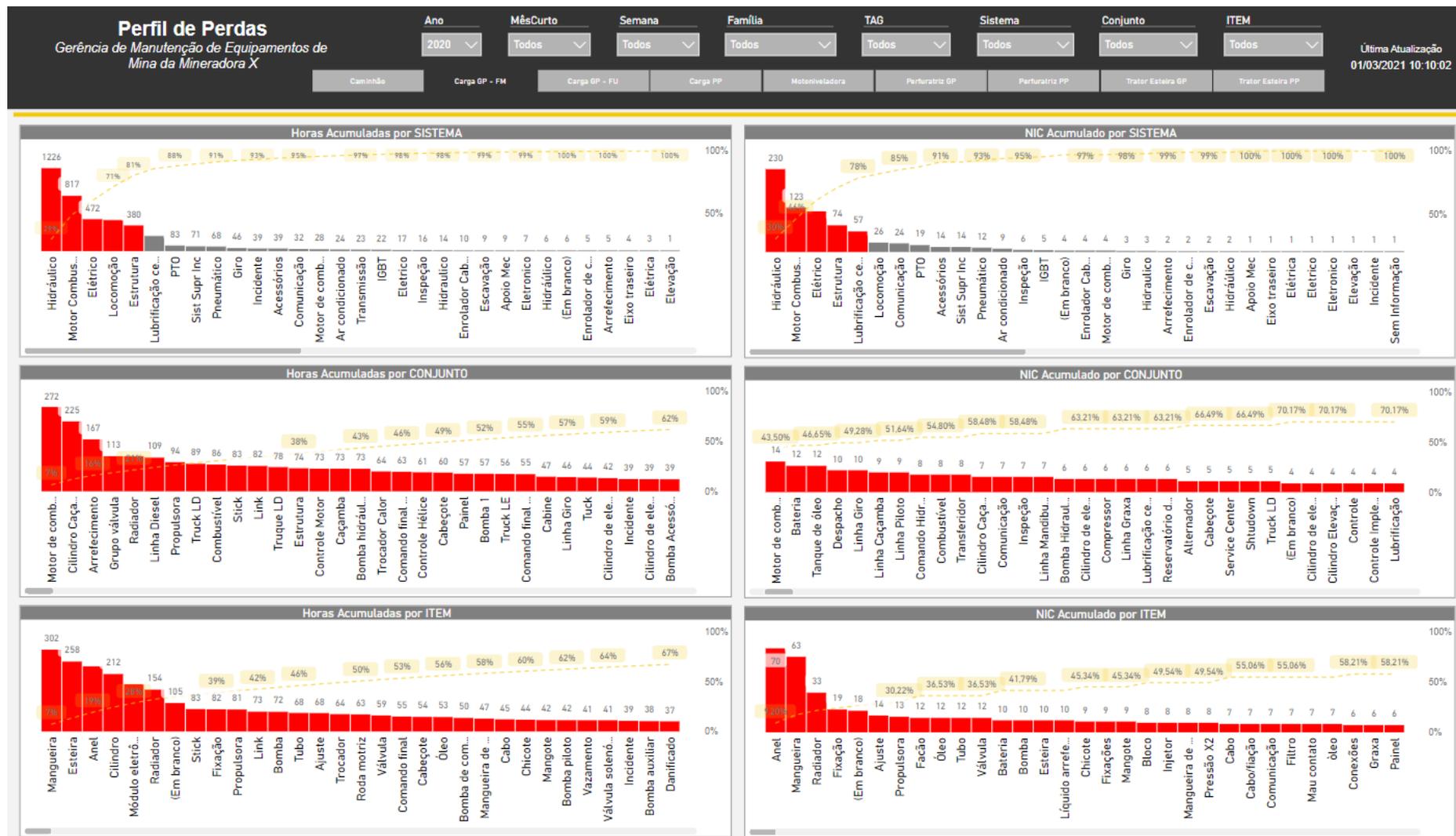


Figura 16 - Dashboard Perfil de Perdas concluído (Parte 1).
Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

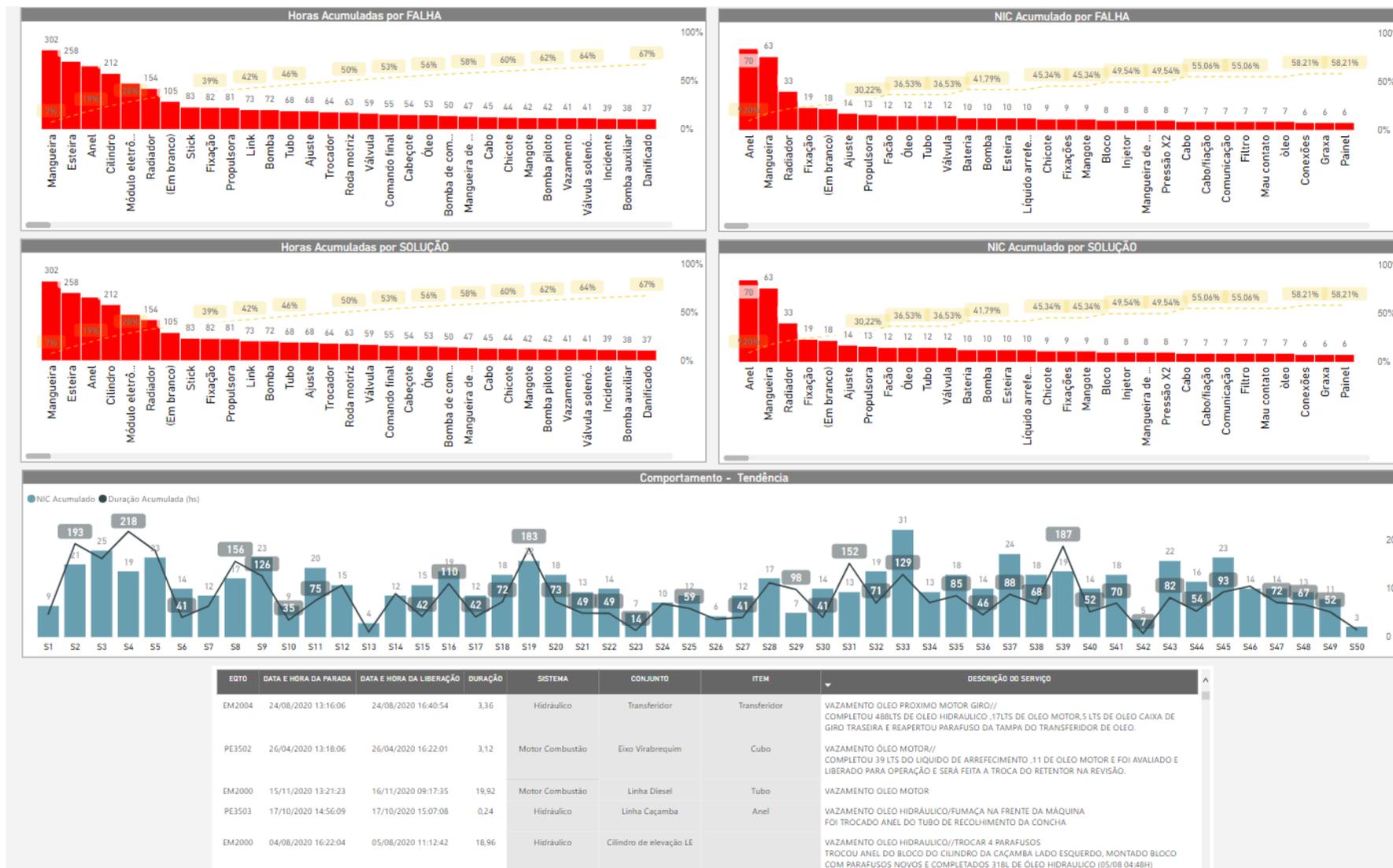


Figura 17 - Dashboard Perfil de Perdas concluído (Parte 2)
 Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

O dashboard apresenta no seu cabeçalho além do título e gerência responsável, a data e horário da última atualização dos dados – importante no momento de análise. No mesmo cabeçalho apresentam-se todos os filtros necessários para a análise dos perfis. Estes são:

- Ano, mês e semana – Filtros de data, que objetivam auxiliar o filtro de dados por tempo, para facilitar assim a análise seja ela diária, semanal, mensal ou mesmo anual.
- Família de equipamentos, Grupo de Equipamentos e TAG (Equipamento) – Filtros relacionados aos equipamentos, visto separação entre técnicos especializados na análise com relação aos equipamentos de responsabilidade de cada um.
- Sistema, Conjunto e Item – Filtros relacionados a estratificações das falhas, tendo em vista o processo de análise.

Abaixo do cabeçalho tem-se elaborado os dez visuais relacionados ao Perfil de Perdas – os Gráficos de Pareto, sendo os cinco da esquerda vinculados a natureza de duração das paradas (Horas Acumuladas) e os cinco da direita referem-se a natureza da quantidade de paradas (NIC – número de intervenções acumuladas). Estes já se encontram hierarquizados (de cima pra baixo) conforme processo de análise sistema-conjunto-item-falha-solução.

Observa-se pelas Figura 16 e Figura 17 que em todos os visuais a aplicação da regra do 80/20, evidenciando em vermelho os dados referentes os 80%, enquanto as demais colunas ficam em cinza. Na linha tem-se o acumulativo percentual (de horas ou NIC) – ou seja, a esquerda da linha as colunas apresentam-se em vermelho, em destaque, dando foco aonde deve-se priorizar o processo de análise. Ressalta-se que a regra de Pareto 80/20 é uma ferramenta de análise que estabelece que 80% dos resultados se originam de apenas 20% das causas – é uma ideia de concentração e priorizar as soluções para grandes problemas, direcionando o foco ao menor percentual das causas.

Com propósito de auxiliar o processo de análise, todos os visuais (gráficos) do relatório possuem a ferramenta de filtragem cruzada – ferramenta que na seleção de um valor em um visual (seleção de alguma coluna de um dos gráficos) filtra os dados relacionados a todos os demais visuais (os dados não relacionados não ficam visíveis, exatamente como filtro). Ou seja, atua diretamente na etapa de estratificação na Análise do Perfil de Perdas – quando na análise de um nível para o outro, no simples clique de uma coluna de um visual, os demais são filtrados. Exemplo disso é dado na Figura 18 onde-se a nível de sistema, priorizou-se o sistema hidráulico e ao simples clique na coluna desse sistema, o gráfico abaixo (de nível conjunto) foi filtrado e apresenta apenas os conjuntos pertencentes ao sistema

hidráulico e os seus consequentes dados. Todos os outros gráficos foram filtrados de forma semelhante, o exemplo buscou apresentar um deles de forma a facilitar o entendimento. Esta ferramenta auxilia bastante no processo de estratificação entre os níveis sistema-conjunto-item-falha-solução.

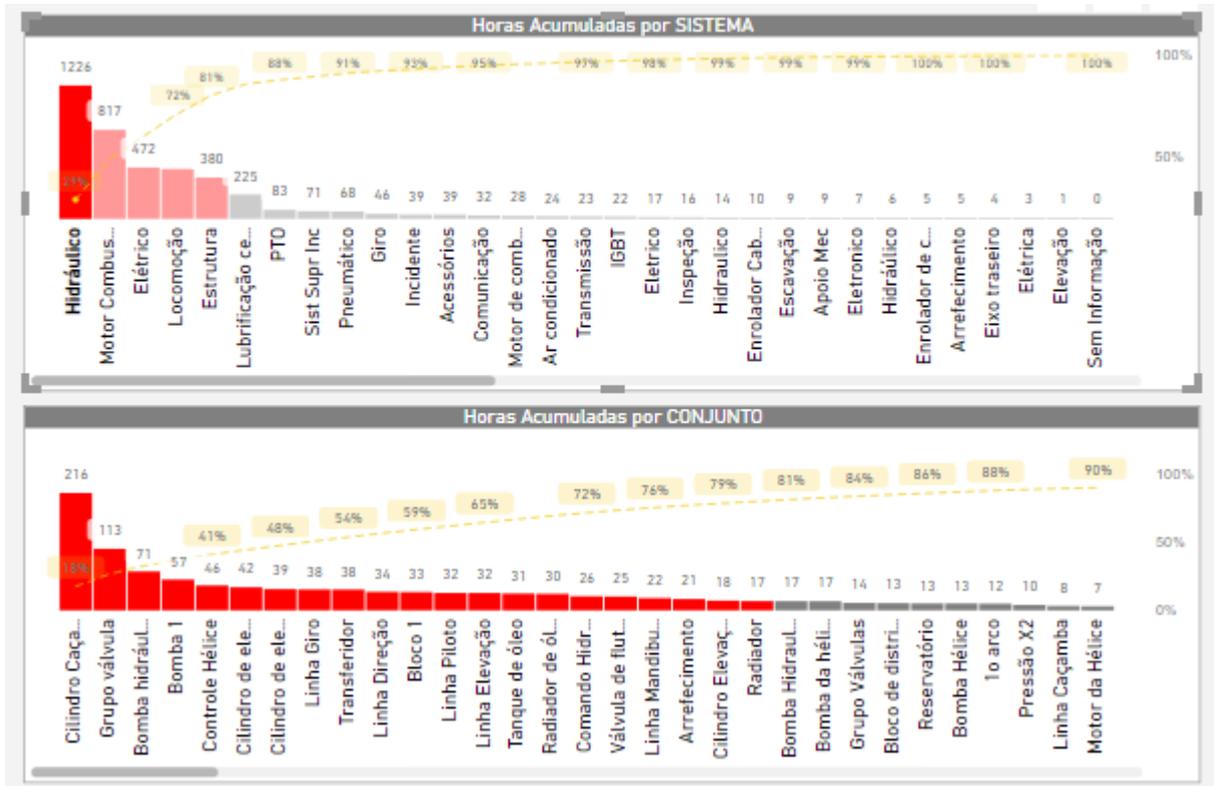


Figura 18 - Exemplo da ferramenta de Filtragem Cruzada aplicada na etapa de Estratificação da Análise do Perfil de Perdas

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Ressalta-se a grande vantagem do *Business Intelligence* quanto as visualizações iterativas que o relatório oferece, possibilitando várias análises de forma simples e muito rápida pela utilização do relatório.

Como forma de auxílio para o processo de análise de perdas, faz-se também presente no dashboard o Gráfico de Comportamento – Tendência que possui a discriminação das duas naturezas (NIC Acumulado nas colunas e Horas Acumuladas na linha) quanto as semanas do ano, representando o comportamento ou tendência das paradas – grande ferramenta de análise a partir dos filtros realizados durante o processo de análise. A Figura 19 apresenta esse gráfico no detalhe para melhor observação.

Observa-se também na Figura 19 o último visual do relatório, tratando-se de uma tabela resumindo as principais informações do banco de dados. Estão presentes nessa tabela as colunas equipamento, data e hora da parada e liberação, duração, sistema, conjunto, item e

descrição do serviço. Essa tabela tem como objetivo auxiliar o processo de análise após o processo de estratificação – após toda a estratificação, ou mesmo durante a mesma, tem-se a visualização exata das perdas que estão sendo tratadas.



Figura 19 - Detalhe dos visuais de Comportamento - Tendência e tabela presentes no dashboard de Perfil de Perdas.

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Dessa forma, conclui-se que o dashboard foi elaborado com intuito de auxiliar e facilitar ao máximo o processo de análise de perdas do processo mantenedor, utilizando-se de todas as ferramentas de *Business Intelligence* disponíveis do *software Power BI*, tornando-se referência para apoiar a tomada de decisões.

4.9.3 Atualização dos Dados

O *workspace* da empresa é um ambiente que possui o licenciamento *Power BI* Premium, ou seja, não é necessária uma licença PRO para visualizar os relatórios e painéis associados ao ambiente. Assim, todos os colaboradores têm o acesso previamente permitido ao *workspace* e podem consumir todas as informações lá compartilhadas.

Após a publicação no *Power BI Service*, foi configurado o *gateway* de dados – o uso do *gateway* de dados foi necessário para que a atualização agendada funcionasse corretamente, já que o banco de dados da empresa, gerenciado pelo *SLQ Server*, está em um servidor local (sistema PIMS). Definiu-se então os horários de 06:30hs e 12:30hs diariamente para atualização dos relatórios.

4.10 Procedimento de Análise do Perfil de Perdas

Com o relatório de Perfil de Perdas elaborado, parte-se então para a etapa de definição do procedimento de análise desse dashboard por parte da equipe responsável. Importante

salientar os indicadores NIC e Horas acumuladas já foram definidos com lacunas a serem analisadas, tratando-se então de referências de performance e como objetos para a Confiabilidade do processo mantenedor.

Logo, a primeira etapa da análise são as estratificações, a partir da exposição da natureza das perdas e ordenação do maior impacto para o menor impacto. A estratificação, conforme já exposto, chega até o nível solução – possuindo cinco níveis de análise. Como uma regra geral é desejável priorizar de um nível para o outro os elementos que somarão 80% do valor total das perdas conforme exemplo apresentado na Figura 20.

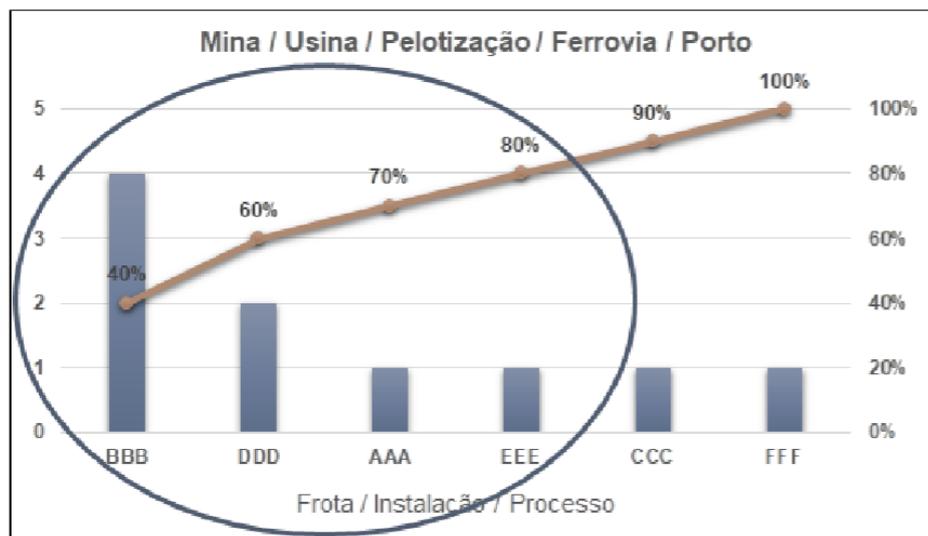


Figura 20 - Exemplo de priorização dos elementos que somam 80% do valor total.
Fonte: Adaptado de material da mineradora estudada.

Deve-se utilizar a estrutura de classe de falhas presente no relatório (e possível devido ao banco de dados da empresa) para identificar quais os modos de falha predominantes nas perdas priorizadas nas estratificações anteriores. A Figura 15 apresentada anteriormente apresenta a estrutura de classe de falhas utilizada. Dessa forma, para cada nível deve-se estratificar as perdas utilizando como priorização a regra dos elementos que somam 80% do valor total. Este roteiro de estratificação encontra-se a seguir na Figura 21.

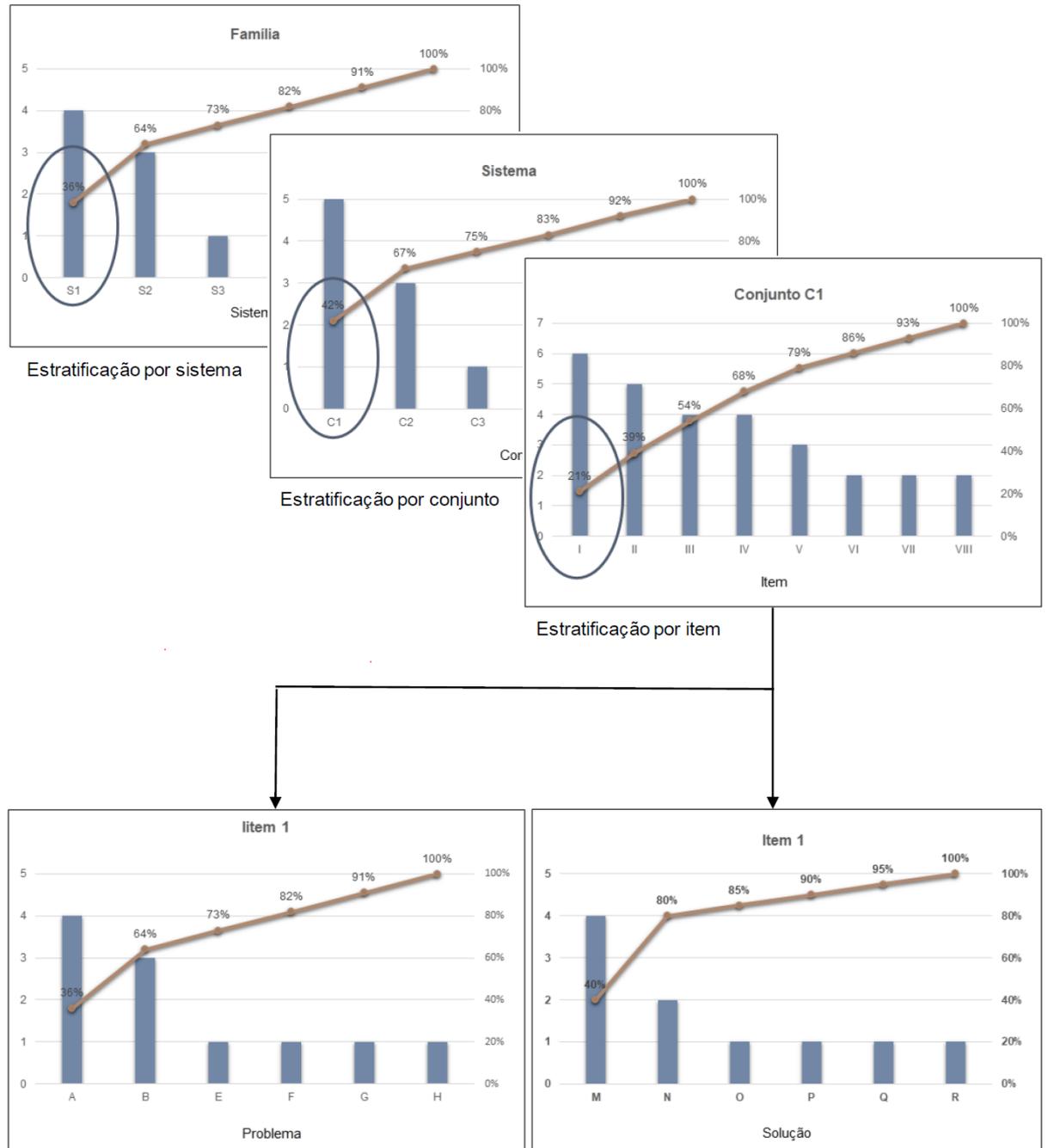


Figura 21 - Roteiro de Estratificação Elaborado.
Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

Dessa forma, aplicando-se o procedimento descrito para a Análise do Perfil de Perdas, objetiva-se chegar ao final desse processo com as principais perdas identificadas, bem como as maiores oportunidades de ganho – logo, tem-se a priorização de onde devem ser direcionados os recursos da manutenção (nesse caso, para aplicação do Método de Análise de Falhas nas perdas priorizadas). Assim, através desse processo estabelece-se um processo mandatório e robusto de avaliação da performance operacional, de forma padronizada, com o objetivo de direcionar os esforços do negócio em relação a causa raiz de cada lacuna

identificada, no intuito de prover mais valor, mitigar e/ou eliminar riscos, priorizando a atuação em ativos e/ou processos com maior potencial de retorno.

4.11 Método de Análises de Falhas

O procedimento para as análises de falhas, a partir da definição das perdas e priorização dessas mesmas, é mantido ao já exposto e explicado na Tabela 5 – Modelo de PDCA para Análise de Falhas aplicado pela mineradora estudada. Em virtude de ser um procedimento já padronizado e estruturado para toda a organização, melhorias no mesmo só podem ser feitas por equipe responsável – logo, fora da abrangência da gerência em questão.

Além do que, o método assemelha-se bastante ao estudado em teoria, utilizando-se de ferramentas de Confiabilidade como Diagrama de Causa e Efeito e Método dos “Por Quês?”. Portanto, assegura-se que utilizando-se de forma correta o método normatizado pela empresa (ciclo PDCA adaptado pela mineradora estudada), as causas fundamentais das falhas serão evidenciadas e ações assertivas serão definidas.

4.12 Estruturação dos Processos de MCC

Com a determinação da equipe responsável e o com o procedimento de Análise do Perfil de Perdas desenvolvido, o próximo passo do estudo foi a estruturação dos processos de MCC para a equipe – ou seja, estabelecer assim a rotina de confiabilidade. A rotina de confiabilidade deve ser estruturada de forma a suportar o atingimento dos resultados de performance e mitigação dos riscos.

Assim, o fluxograma da Tabela 11 evidencia o fluxo de tratamento da confiabilidade definido para a equipe visando a Manutenção Centrada na Confiabilidade:

Tabela 11 - Processos atrelados ao MCC implantados pelo estudo.

Processos de-MCC
1. Análise crítica de todas as falhas ocorridas no dia anterior
2. Análise do Perfil de Perdas
3. Aplicação do Método de Análise de Falhas
4. Elaboração de ações advindas dessas análises
5. Gerenciamento das Ações
6. Padronização

Fonte: Pesquisa Direta, 2020.

A rotina do MCC na gerência inicia-se pela análise crítica dos técnicos especializados em todas as falhas ocorridas no dia anterior. Possuindo uma equipe focada para isso, permite-se então, avaliar de forma sistemática a performance e produtividade da manutenção – tornando esse procedimento como rotineiro em busca do aumento da confiabilidade das intervenções realizadas nos equipamentos.

O próximo e principal processo da Confiabilidade (do presente estudo) trata-se da implementação do Perfil de Perdas desenvolvido na rotina da manutenção. Nesse processo, além dos técnicos especializados, o analista e engenheiro devem estar presentes objetivando identificação das maiores oportunidades de ganho. Resulta-se então, após estratificação e priorização, a identificação das principais perdas, que devem então ser levadas ao próximo passo.

As perdas identificadas e priorizadas pela análise do Perfil de Perdas devem então serem investigadas, através do Método de Análise de Falhas, objetivando eliminar as causas fundamentais que geraram as perdas (falhas nos ativos) – buscando melhorar a performance e garantir o atingimento dos resultados. Como resultado dessas análises, tem-se a elaboração de ações com objetivo de sanar a lacuna identificada pelo método de Análise de Falhas, buscando bloquear as causas raízes das falhas. As ações advindas dessas análises têm o objetivo de melhorar continuamente os processos, correlacionando as falhas às atividades contidas nos planos, verificando sua abrangência, periodicidade e parâmetros.

E por fim, trata-se do gerenciamento das ações elaboradas anteriormente. A implementação das ações deve ser acompanhada de forma periódica e rigorosa. Para tanto, a verificação da eficácia das ações (continuidade ou não do problema) tem-se grande papel – observando o comportamento do modo de falha ao longo do tempo. Para tanto, revisar continuamente o perfil de perdas para garantir que a lacuna foi eliminada e o problema sanado na causa raiz. Uma vez confirmada a eficácia das ações, elas devem se tornar o novo padrão utilizado na manutenção e operação, de forma a garantir a sustentabilidade das ações no longo prazo. Logo, mais um dos processos da Confiabilidade é tornar procedimentos como padrões para realização de atividades similares

Assim, tem-se a estruturação dos processos da Manutenção Centrada na Confiabilidade. O objetivo desses processos é ter uma rotina bem clara e definida para a gestão das análises de falhas e perfil de perdas e conduzir as ações que se refere à disciplina e eficiência operacional.

Importante ressaltar que o engajamento da liderança (sendo tratada aqui não só como o supervisor da Confiabilidade, como também o analista e engenheiro), nesses processos e nessa rotina estabelecida, é determinante para o sucesso do resultado esperado com a confiabilidade. Estes devem acompanhar periodicamente os resultados das ações, definindo prioridades e direcionando as ações, para que a equipe entenda as suas responsabilidades e cumpra com maestria suas tarefas.

4.13 Performance dos Equipamentos após implantação do PP e processos de MCC

Tendo-se então implantado o Perfil de Perdas de forma sistematizada e organizado, visando a identificação e estratificação das perdas no processo de manutenção, bem como estruturado os procedimentos de MCC, com definições claras das atribuições e responsabilidades, bem como os responsáveis, partiu-se então para o levantamento dos dados pós implantação, objetivando-se a análises da influência do presente estudo na performance dos equipamentos, e conseqüentemente da manutenção.

Importante salientar que todo o estudo ocorreu a partir do mês de janeiro de 2020. O levantamento dos dados foi realizado então do mês de janeiro até o mês de dezembro, objetivando-se comparar a performance desse período com o período de 2019, já apresentada anteriormente no estudo.

Novamente, para critérios de comparação, adotou-se a média mensal a partir da quantidade de equipamentos em operação – como ocorreu em 2019, o número de equipamentos operando é variável de um mês para o outro. Assim, dividiu-se o total de horas em manutenção – ou número de falhas - pela quantidade de equipamentos operando, chegando assim as horas paradas não programadas médio – e número de ocorrências não programadas médio.

4.13.1 Levantamento de Horas Paradas Não Programadas Médio após implantação

A Tabela 12 apresenta então o levantamento de horas paradas não programadas médio na empresa no período de 2020 – após implementação do PP com auxílio do BI na manutenção de equipamentos móveis.

Tabela 12 - Levantamento das Horas Paradas Não Programadas Médio após implantação do PP

Grupo	Dado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	2020
Carregamento	Perdas (Horas)	1.663,59	1.087,38	1.830,43	691,16	715,86	683,81	1.044,46	674,02	1.959,36	487,55	923,42	456,97	12.218,01
Carregamento	Nº de Equipamentos	27	26	31	23	25	26	25	27	29	27	25	25	316
Carregamento	Média Mensal	61,61	41,82	59,05	30,05	28,63	26,30	41,78	24,96	67,56	18,06	36,94	18,28	38,66
Infraestrutura	Perdas (Horas)	5.598,46	4.463,37	3.844,36	937,35	902,41	1.749,99	10.873,52	1.301,99	2.787,43	3.012,87	3.245,22	3.505,83	42.222,81
Infraestrutura	Nº de Equipamentos	28	28	28	28	22	22	28	28	28	28	30	30	328
Infraestrutura	Média Mensal	199,95	159,41	137,30	33,48	41,02	79,55	388,34	46,50	99,55	107,60	108,17	116,86	128,73
Transporte	Perdas (Horas)	1.219,96	1.983,33	933,65	1.026,98	401,64	1.007,05	999,58	1.309,21	2.287,00	1.405,25	1.789,91	2.721,12	17.084,69
Transporte	Nº de Equipamentos	22	22	19	15	18	19	24	30	32	32	34	34	301
Transporte	Média Mensal	55,45	90,15	49,14	68,47	22,31	53,00	41,65	43,64	71,47	43,91	52,64	80,03	56,76
Perfuração	Perdas (Horas)	420,97	380,25	403,68	50,06	16,80	186,58	167,09	235,22	315,09	309,04	477,62	715,92	3.678,33
Perfuração	Nº de Equipamentos	5	5	5	5	3	5	3	4	4	4	5	5	53
Perfuração	Média Mensal	84,19	76,05	80,74	10,01	5,60	37,32	55,70	58,80	78,77	77,26	95,52	143,18	69,40
Total	Perdas (Horas)	8.902,98	7.914,33	7.012,12	2.705,55	2.036,71	3.627,43	13.084,65	3.520,44	7.348,89	5.214,72	6.436,18	7.399,84	75.203,83
Total	Nº de Equipamentos	82	81	83	71	68	72	80	89	93	91	94	94	998
Total	Média Mensal	108,57	97,71	84,48	38,11	29,95	50,38	163,56	39,56	79,02	57,30	68,47	78,72	75,35

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Observa-se então pela Tabela 12, que de janeiro a dezembro de 2020 os equipamentos ficaram um total de 75.203,83 horas em manutenções corretivas, apresentando uma média de 75,35 horas de média mensal por equipamento em operação.

Como em 2019, os equipamentos de infraestrutura também foram os que apresentam maior média, ficando agora com cerca de 128,73 horas em manutenção não programadas por mês; enquanto os equipamentos de carregamento foram os que apresentaram menores valores – 38,66 horas de média.

4.13.2 Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio após implantação

Da mesma forma como no início do estudo, realizou-se também o levantamento quanto ao número de ocorrências não programadas apresentado pela Tabela 13.

Tabela 13 - Levantamento do Número de Ocorrências Não Programadas Médio após implantação do PP.

Grupo	Dado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	2020
Carregamento	Nº de Falhas	189	157	127	107	136	121	138	128	173	123	161	154	1.714
Carregamento	Nº de Equipamentos	27	26	31	23	25	26	25	27	29	27	25	25	316
Carregamento	Média Mensal	7,00	6,04	4,10	4,65	5,44	4,65	5,52	4,74	5,97	4,56	6,44	6,16	5,42
Infraestrutura	Nº de Falhas	459	421	329	136	128	162	191	168	250	264	293	251	3.052
Infraestrutura	Nº de Equipamentos	28	28	28	28	22	22	28	28	28	28	30	30	328
Infraestrutura	Média Mensal	16,39	15,04	11,75	4,86	5,82	7,36	6,82	6,00	8,93	9,43	9,77	8,37	9,30
Transporte	Nº de Falhas	258	263	234	150	138	176	222	239	309	315	401	422	3.127
Transporte	Nº de Equipamentos	22	22	19	15	18	19	24	30	32	32	34	34	301
Transporte	Média Mensal	11,73	11,95	12,32	10,00	7,67	9,26	9,25	7,97	9,66	9,84	11,79	12,41	10,39
Perfuração	Nº de Falhas	34	30	30	14	10	28	26	30	48	39	53	40	382
Perfuração	Nº de Equipamentos	5	5	5	5	3	5	3	4	4	4	5	5	53
Perfuração	Média Mensal	6,80	6,00	6,00	2,80	3,33	5,60	8,67	7,50	12,00	9,75	10,60	8,00	7,21
Total	Nº de Falhas	940	871	720	407	412	487	577	565	780	741	908	867	8.275
Total	Nº de Equipamentos	82	81	83	71	68	72	80	89	93	91	94	94	998
Total	Média Mensal	11,46	10,75	8,67	5,73	6,06	6,76	7,21	6,35	8,39	8,14	9,66	9,22	8,29

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Analisando-se então, agora, pelo número de ocorrências não programadas na Tabela 13, observa-se um total de 8.275 falhas ocorridas até o final de novembro 2019. Os equipamentos móveis apresentaram um número médio de 8,29 falhas mensais por equipamento. Da mesma forma como ocorreu com a análise de duração, infraestrutura foi a frota que também apresentou maior média mensal de ocorrências com 9,30 e carregamento o menor valor com 5,42 ocorrências.

Dessa forma, possuindo os dados antes e após a implantação do Perfil de Perdas e dos métodos de MCC, partiu para a comparativo entre as performances apresentadas pelos equipamentos.

4.14 Comparativo da performance dos equipamentos antes e após implantação do PP

Para se comparar as performances dos equipamentos antes e após a implantação do Perfil de Perdas e dos processos de MCC, compilou-se nas Tabela 14 e Tabela 15 os valores totais e das médias mensais (de horas paras e número de ocorrências). Na última coluna de cada tabela calculou-se o percentual de redução das perdas.

Tabela 14 - Comparativo de Horas Paradas Não Programadas Médio entre 2019 e 2020

Tipo	2019		2020		Redução de perdas
	Total	Média	Total	Média	
Carregamento	16.548,99	49,40	12.218,01	38,66	 -21,74%
Infraestrutura	59.323,02	188,33	42.222,81	128,73	 -31,65%
Transporte	16.535,87	57,42	17.084,69	56,76	 -1,15%
Perfuração	8.095,46	132,71	3.678,33	69,40	 -47,70%
Total	100.503,33	106,96	75.203,83	73,39	 -31,39%

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Tabela 15 - Comparativo de Ocorrências Não Programadas Médio entre 2019 e 2020

Tipo	2019		2020		Redução de perdas
	Total	Média	Total	Média	
Carregamento	1.714	5,12	1.714	5,42	 5,86%
Infraestrutura	4.301	13,65	3.052	9,30	 -31,87%
Transporte	3.288	11,42	3.127	10,39	 -9,02%
Perfuração	737	12,08	382	7,21	 -40,31%
Total	10.040	10,57	8.275	8,08	 -23,56%

Fonte: Pesquisa Direta, 2021.

Observando-se o comparativo de horas paradas não programadas médio, para todas frotas analisadas houve redução de perdas – reduziu-se o valor médio mensal de horas de manutenção, chegando a ser de 47,70% para a frota de perfuração. A frota de infraestrutura reduziu 31,65%, já a de carregamento 21,74% e pôr fim a de transporte obteve uma redução de 1,15% em comparação com a média apresentada em 2019. No total, houve uma redução de perdas de 31,39% nas horas paradas corretivas nos equipamentos da gerência.

Analisando-se pelo número de ocorrências, diagnostica-se também uma redução de 23,56% das falhas em comparação com o período de 2019. Apenas a frota de carregamento apresentou um aumento de 5,86% no número médio de falhas. A frota de perfuração reduziu 40,31%, já infraestrutura reduziu 31,87%, enquanto transporte teve 9,02% de redução de perdas relacionadas ao número de ocorrências. Ressalta-se que mesmo apresentando um aumento na média de número de ocorrências, a frota de carregamento reduziu em 21,74% a duração das paradas.

Por meio da análise dos dados de número e duração das falhas é possível perceber que o perfil de perdas influencia positivamente na performance dos equipamentos móveis da empresa mineradora. Os valores de número de ocorrências ocorridas, bem como da duração dessas ocorrências apresentação considerável redução a partir da implantação do PP pela equipe de Confiabilidade.

A performance dos equipamentos é impactada positivamente pela construção do perfil de perdas e as informações que são obtidas através dele, bem como dos processos que foram estruturados dentro da gerência. As informações devem ser analisadas de maneira correta e utilizadas na criação de meios para otimizar a performance dos ativos da gerência, e consequentemente, a confiabilidade deles, como está sendo feito pelo setor de Confiabilidade.

É através do perfil de perdas que as falhas recorrentes nos equipamentos são identificadas e tratadas por meio do plano de ação. As ações elaboradas são responsáveis por mitigar as paradas ocasionadas pelos sistemas, conjuntos e itens que mais tem impactado negativamente na performance dos ativos, ou seja, aqueles que apresentam o maior número de paradas ou o maior tempo de horas de manutenção corretiva no perfil de perdas.

Ressalta-se também os ganhos atrelados ao uso do *Business Intelligence* atrelado ao Perfil de Perdas – é através do BI que a ocorre a transformação de dados ativos em informações adequadas, com análises objetivas e de fácil compreensão, tornando mais eficiente e eficaz o processo de tomada de decisão dentro gerência (facilitando o processo de identificação das

principais perdas, bem como das oportunidades de ganho). Com ele reduz-se também os gastos de tempos diários de elaboração e atualizações manuais dos dados.

Pode-se concluir então que as contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade alcançadas na implementação do Perfil de Perdas, com o suporte do *Business Intelligence*, na manutenção de equipamentos móveis foram a diminuição do número de ocorrências de falhas e redução da duração acumulada de horas corretivas, bem como otimização do processo de tomada de decisão dentro da gerência, facilitando o todo o processo de análise e identificação das perdas e oportunidades de ganhos na manutenção dos ativos da empresa.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

Este presente estudo tem o objetivo de aplicar o método de Manutenção Centrada na Confiabilidade com a implantação do Perfil de Perdas, com auxílio do *Business Intelligence*, no setor de manutenção de equipamentos móveis de mina de uma empresa mineradora de grande porte. Paradas não programadas desses equipamentos comprometem negativamente o bom andamento do processo da empresa, uma vez que a paralisação da linha de produção acarreta dispêndios financeiros e descontentamento dos clientes além de poder causar também acidentes de trabalho.

Inicialmente, verificou-se uma inexistência de atribuições quanto aos responsáveis por executar as análises de falhas e uma indefinição quanto à quando e em quais casos esse método deve ser aplicado – quando aplicada eram sob demanda gerencial devido em suma maioria a falhas onerosas ou mesmo catastróficas de algum componente. Dessa forma, devido as poucas falhas devidamente analisadas e sem, portanto, ter suas causas fundamentais bloqueadas, as falhas voltavam a ocorrer – reincidência de falhas. Círculo Vicioso de falhas se instaurava então nas manutenções realizadas pela gerência, na medida que ocorrida a falha, apenas ações corretivas para remoção do sintoma eram tomadas, sem investigação das causas raízes (sem análises de falha), e a falha reincidia novamente quando as mesmas causas raízes, não sanadas, atuavam novamente.

Notava-se também a partir da estrutura da gerência e da supervisão de PCM, a inexistência de uma equipe responsável para tratar de confiabilidade dentro das manutenções realizadas – sequer fazia parte do escopo de responsabilidades de nenhuma das supervisões da gerência. Dessa forma, estando essas responsabilidades com carência de atribuição, essas responsabilidades eram muitas vezes abandonadas e deixadas em segundo plano, com baixa prioridade.

Dessa forma, definiu-se então uma supervisão voltada para aplicação dos processos de Manutenção Centrada na Confiabilidade, de forma sistemática e estruturada, visando aumento da disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos ativos (equipamentos), mitigando as perdas do processo mantenedor (reduzindo as paradas dos equipamentos e diminuindo as horas paradas em manutenções corretivas) - a Supervisão de Confiabilidade.

Conjuntamente atribuiu-se os papéis e responsabilidade para a equipe objetivando-se aplicação dos processos de MCC: identificação e estratificação das perdas no processo de manutenção a fim de identificar as maiores oportunidades de ganho, investigação e eliminação as causas que gerarem falha nos ativos, visando melhorar a performance e garantir atingimento dos resultados e avaliação de forma sistêmica a performance e produtividade da manutenção. E para tanto, foi definido então a aplicação do Perfil de Perdas, com auxílio do *Business Intelligence*.

Através do uso *Business Intelligence*, o processo torna-se extremamente mais eficaz e produtivo, considerando que a equipe pode ser direcionada apenas para a análise do PP, sem preocupar-se com a elaboração diária do relatório. Isso porque, uma vez elaborado o dashboard no *Microsoft Power BI* e publicado para o ambiente online, a atualização dos dados é automática e assim, reduz-se gastos de tempos diários com atualizações manuais dos dados, caso por exemplo, esse mesmo relatório fosse desenvolvido a partir do *software Microsoft Excel*.

Observa-se que utilizando o *Microsoft Power BI* tem um tempo de elaboração relativamente alto (no presente estudo foram dedicados cinco dias de trabalho até finalização do mesmo, totalizando 40 horais totais), porém, finalizado o mesmo, não se tem gastos de tempo diários sequer com a atualização dos dados. Já através do *software Microsoft Excel*, tem-se um tempo constante de 3 a 4 horas para elaboração. Ou seja, enquanto através do *Business Intelligence* foram dedicados cinco dias de trabalho para elaboração, sem as ferramentas teriam de ser dedicados para desenvolvimento meio expediente de serviço todos os dias.

Além desse enorme ganho de tempo (HH, ou seja, homem-hora de trabalho), destaca-se a redução de atividades de baixo valor agregado, a atividade de elaboração do perfil, que não gera valor a manutenção. Dessa forma, retirando-se essas horas que seriam dedicadas a atividades manuais de desenvolvimento do PP através do *Business Intelligence*, ganha-se produtividade na análise do mesmo, permitindo-se maior tempo para identificação e observação das perdas e oportunidades de ganho – atividades estas de grande valor agregado para a manutenção, na medida que geram resultado, geram maior confiabilidade para a manutenção.

Dessa forma, após Perfil de Perdas desenvolvido e implantado, pode-se estabelecer a rotina da Confiabilidade com os seguintes processos de MCC: análise crítica de todas as falhas ocorridas, análise do PP elaborado, aplicação do Método de Análise de Falhas,

elaboração de ações advindas dessas análises com consequente gerenciamentos das mesmas, e assim, a padronização das atividades.

Por fim, pode-se então comparar através das naturezas de número de ocorrências e horas paradas não programadas – valor médio mensal por equipamento – a performance obtida antes e após implantação do MCC através do Perfil de Perdas. Por meio dessa análise foi possível perceber claramente que o perfil de perdas influenciou positivamente na performance dos equipamentos móveis da empresa mineradora: os valores de número de ocorrências ocorridas, bem como da duração dessas ocorrências apresentação considerável redução a partir da implantação do PP pela equipe de Confiabilidade.

Observando-se o comparativo de horas paradas não programadas médio, para todas frotas analisadas houve redução de perdas de 31,39% nas horas paradas corretivas nos equipamentos da gerência. Analisando-se pelo número de ocorrências, diagnostica-se também uma redução de 23,56% das falhas em comparação com o período de 2019. A performance dos equipamentos é impactada positivamente pela construção do perfil de perdas e as informações que são obtidas através dele, bem como dos processos que foram estruturados dentro da gerência

Logo, de acordo com a pergunta formulada neste trabalho **“Quais as contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade com a implementação do Perfil de Perdas, com o suporte do Business Intelligence, na performance da manutenção de equipamentos móveis de uma empresa mineradora de grande porte?”** conclui-se que a aplicação do MCC através da implantação e utilização do PP com auxílio do *Business Intelligence*:

- Otimiza as análises das falhas ocorridas nos equipamentos, por meio dos gráficos gerados no *Microsoft Power BI* que facilitam a interpretação das falhas;
- Permite a identificação e estratificação das perdas no processo de manutenção possibilitando identificação das maiores oportunidades de ganho e correta priorização os recursos de manutenção;
- Possibilita a investigação e eliminação as causas que gerarem falha nos ativos, visando melhorar a performance e garantir atingimento dos resultados e avaliação de forma sistêmica a performance e produtividade da manutenção;
- Permite quantificar as perdas, permitindo a priorização de ações tanto sobre ativos quanto sobre a solução dos modos de falhas cujo potencial econômico de ganhos financeiros ou a redução de custos marginais seja mais viável;

- Possibilita a elaboração do plano de ação para tratamento das falhas a fim de evitar a reincidência;
- Torna todo o processo extremamente mais eficaz e produtivo, pelo uso *Business Intelligence*, reduzindo-se gastos de tempos diários de elaboração e atualizações manuais dos dados
- Permite a transformação de dados ativos em informações adequadas, com análises objetivas e de fácil compreensão, tornando mais eficiente e eficaz o processo de tomada de decisão dentro gerência;
- Traz luz a informação implícita para que seja compreendida e transformada em conhecimento útil, contribuindo na definição de ações estratégicas, táticas e/ou operacionais, garantindo a competitividade e, conseqüentemente, maior produtividade e qualidade à manutenção;
- Reduz as atividades de baixo valor agregado;
- Facilita o acesso ao histórico de paradas de manutenção corretiva para toda área, e assim, aumentam o fluxo de informações dentro do setor;
- Reduz das perdas no comparativo de horas paradas não programadas médio mensal por equipamento – em 31,39%;
- Diminui as perdas no comparativo de número de ocorrências não programadas médio mensal por equipamento – em 23,56%;
- Aumenta a performance dos equipamentos pela redução do número e duração de falhas;
- Otimiza todo o processo de manutenção, por meio, da diminuição de paradas inesperadas e uma aderência maior aos planos de manutenção preventiva e inspeções.

Portanto, o MCC através do Perfil de Perdas implantado gerou influências positivas na performance dos equipamentos, e através de melhorias no processo é possível eliminar um maior número de falhas no processo, manter/aumentar a disponibilidade física dos ativos e otimizar o sistema produtivo da função Manutenção, e conseqüentemente de toda a empresa.

5.2 Recomendações

A partir do trabalho realizado, recomenda-se os seguintes trabalhos futuros:

- Estudo da Confiabilidade dos equipamentos móveis de mina a partir da aplicação da Distribuição de Weibull;
- Aplicação do FMEA para o Tratamento de Falhas dos Equipamentos Móveis de uma Empresa Mineradora;
- Estudo de Árvore de falhas dos Equipamentos móveis de uma Empresa Mineradora.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GUEDES, Cezar Rogério. **Aplicação da Engenharia de Confiabilidade para Otimização da Manutenção e Redução de Falhas de um Sistema de Bombeamento de Água**. Monografia de Especialização – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.

XENOS, Harilaus Georgios d'Philippou. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 1998. 299 p.

XENOS, Harilaus Georgios d'Philippou. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. 299 p.

PINTO, A, K; XAVIER, J, N. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PINTO, A. K.; FLORES, J. F.; SEIXAS, E. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

NASCIF, J.A. **Manutenção – função estratégica**. 2.^a ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2001.

MIRSHAWKA, Vitor e OLMEDO, Napoleão Lupes. **Manutenção - Combate aos Custos da Não-Eficácia – A vez do Brasil**. São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1993, 373 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 361 p

ROSA, R. N. D. **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um Processo da Indústria Automotiva**. VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 02 Dezembro 2016. 1-10

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 1992, 426 p.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia: **PCM: planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

BRAVIM, Vinícius Dalapícula; SOUZA, M. S. **Perfil de Perdas de Produção Relacionado a Falhas Elétricas: Estudo de Caso das Usinas de Pelotização da CVRD do Complexo de Tubarão.** 2007.

VILAÇA, Ana Flávia. **Perfil de Perdas no Processo da Moagem de uma Usina de Pelotização de Minério de Ferro: Estudo de Caso da Vale Tubarão.** Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica - Fundação de Assistência e Educação - FAESA. 2014.

GREGO, Maurício. **Conteúdo digital dobra a cada dois anos no mundo.** Abril 2014. Disponível em <<https://exame.com/tecnologia/conteudo-digital-dobra-a-cada-dois-anos-no-mundo/#:~:text=A%20IDC%20afirma%20que%20o,vai%20se%20multiplicar%20por%20dez>>, acesso em 04 de dezembro de 2020.

REZENDE, D. A. **Tecnologia da informação integrada à inteligência empresarial alinhamento estratégico e análise da prática nas organizações.** São Paulo: Atlas, 2002.

LAGO, Karine. Webinar: 20 Fatos do *Power BI* Que Você Precisa Saber, 2019. Disponível em <<http://conteudo.databinteligencia.com.br/webinar>>, acesso em 04 de dezembro de 2020.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, José Luis Duarte: **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.

MOUBRAY, Johan. **Manutenção Centrada em Confiabilidade in Reliability-Cetred Maintenance.** United Kingdom: Aladon Ltd, 2000.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance.** London: Butterworth Heinemann, 1992.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 2.d. São Paulo: Atlas, 2002.

PINTO, A. K.; FLORES, J. F.; SEIXAS, E. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho.** Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

NORTON, R. L. **Projetos de Máquinas: Uma Abordagem Integrada.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1030p.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705p.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2005. 408p.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.

KARDEC, A.; CARVALHO, C. **Gestão estratégica e terceirização**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

GURSKIE, C. A. G.; RODRIGUES, M. **Planejando estrategicamente a manutenção**. XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2020. Disponível em: < <https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf> > Acesso em 10 de dezembro de 2020.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. (2008). **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, v.4.

RODRIGUES, M. **Manutenção industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: Um diagnóstico atual**. Dissertação de mestrado apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2003.

QUADROS, Rocha Diéssi, MARRANGHELLO, Moacyr. **Manutenção Preditiva em uma Empresa no RS: Como Vai Essa Jovem Parceria?**. TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul. v. 15. 2011. Disponível em < <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/2447> >. Acessado em 20.out.2017.

BRANCO FILHO, G. **A Organização o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2008.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e funções do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem analítica**. 2008.172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica do Paraná.

FABRO, Elton. **Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processos**. Florianópolis, 2003.

BEEHLER, M. E. **Reliability Centered Maintenance for Transmission Systems**. 1997. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 12, n. 2 (Abr.), p. 1023-1028.

KECECIOGLU, Dimitri. **Reliability Engineering Handbook**. 1991. Prentice Hall, v.1, 720p.

WANG, Cheng-Hua & Hwang, Sheue-Ling. **A stochastic maintenance management model with recovery factor**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 10, n. 2, p. 154-164, Bingley (UK), abr-jun. 2004.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: Manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

WIREMAN, Terry. **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**. New York: Industrial Press, Inc., 1998. 256p.

GARZA, Luiz. **A Case Study of the Application os Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV)**. 2002. 85 f. Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. Calidornia, 2002.

CAMARGO, Robson. **Diagrama: conheça os principais modelos para o gerenciamento de projetos**. 2018. Disponível em: < <https://robsoncamargo.com.br/blog/Diagrama-conheca-os-principais-modelos-para-o-gerenciamento-de-projetos> >. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

COUTINHO, Thiago. **Diagrama de Pareto: aprenda o que é e como fazer**. 2018. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/diagrama-de-pareto>> Acesso em: 08 de dezembro de 2020.

LINS, Bernardo Felipe Estellita. **Ferramentas básicas da qualidade**. Ciência da Informação, Brasília, 1993.

BOSSO, H. S. V. **A lei de Zipf ou regra 80/20 da internet**. 2012. 56f. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

CONTENT, Rock. **Entenda a ciência por trás do Princípio de Pareto e saiba como aplicá-lo em diferentes áreas da empresa**. 2019. Disponível em:< <https://rockcontent.com/br/blog/principio-de-pareto/>> Acesso em: 08 de dezembro de 2020

NASCIF, J.; DORIGO, L.C. **Manutenção Orientada Para Resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989. 110p.

PASCHOAL, D. S. S., MENDONÇA, M. A., MORAIS, R. D., GITAHY, P. F. S. C. R., LEMOS, M. A. **Disponibilidade e confiabilidade: aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade**. Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA. nº. 03 Jan.-Jun. 2009.

ENGEMAN. **Como fazer análise de falhas e manutenção da empresa de maneira eficiente?**. 2020. Disponível em: < <https://blog.engeman.com.br/como-fazer-analise-de-falhas-e-manutencao-da-empresa-de-maneira-eficiente/> > Acesso em: 08 de dezembro de 2020.

SHARDA, R.; DELEN, D.; TURBAN, E. **Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support**. New Jersey: Person, 2014.

MACHADO, H. Z. **Business intelligence aplicado ao monitoramento de sistemas de execução de manufatura**. 2019. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

COSTA S.; SANTOS, M. Y. **Sistema de business intelligence no suporte à gestão estratégica: Caso prático no comercio de equipamentos eletrônicos**. In: XII Conferência da Associação Portuguesa de sistemas de informação, 2012, Portugal.

GARTNER, I. **About us. 2019**. Disponível em <<https://www.gartner.com/en/about>> acesso em 15 de março de 2021.

CHAVES, E. O. C.; FALSARELLA, O. M. **Os sistemas de informação e sistemas de apoio à decisão**. **Revista do Instituto de Informática**, v. 3, n.1, p. 24-31, 1995. Disponível em < <https://scholar.google.com.br/scholar?oi=bibs&hl=pt-BR&cluster=3691807185031315159> > acesso em 20 de janeiro de 2021.

SAITO, E. S.; HORITA, R. Y. **BUSINESS INTELLIGENCE COMO UMA FERRAMENTA DE GESTÃO** In: V Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano, São Paulo, 2015. Disponível em <<http://www.unisalesiano.edu.br/simposio2015/publicado/artigo0196.pdf> >, acesso em 15 de março de 2021.

LIMA, A. V., Lima D. M. **Business Intelligence como ferramenta gerencial no suporte ao processo de business performance management**. Univ. Gestão e TI, Brasília, v. 1, n. 1, p. 111-129, 2011.

COSTA S.; SANTOS, M. Y. **Sistema de business intelligence no suporte à gestão estratégica: Caso prático no comercio de equipamentos eletrônicos**. In: XII Conferência da Associação Portuguesa de sistemas de informação, 2012, Portugal. Disponível em < <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/21541> >, acesso em 30 de janeiro de 2021.

MACHADO, H. Z. **Business Intelligence aplicado ao monitoramento de sistemas de execução de manufatura**. 2019. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

SANTOS, Hugo Vinícius dos. **Business Intelligence aplicado no desenvolvimento de indicadores de manutenção**. 2020. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

ECKERSON, W. **Smart Companies in the 21st Century: the secrets of creating successful business intelligent solutions**. Seattle, WA: The Data Warehousing Institute, 2003.

JOHANSSON, B.; ALKAN, D.; CARLSSON, R. **Self-Service BI does it Change the Rule of the Game for BI Systems Designers**. CEUR Workshop Proceedings. 2015, p. 48-61. Disponível em <<http://ceur-ws.org/Vol-1420/>> Acesso em 15 de março de 2021.

NUNES, E. D. **Uma análise comparativa sobre ferramentas para self-service business intelligence**. 2016. 39 p. Monografia (Trabalho de Final de Curso de Sistemas de Informação) – Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

SULAIMAN, Safwan & Gomes; KURZHÖFER, Joachim. **Business Intelligence Systems Optimization to Enable Better Self-Service Business Users**. 2013

MICROSOFT. **O que é Power BI**. Julho, 2019. Disponível em <<https://docs.microsoft.com/pt-br/power-bi/power-bi-overview>>, acesso em 15 de março de 2021.

LAGO, K. **Webinar: 20 Fatos do Power BI Que Você Precisa Saber**, 2019. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=nQxbwRkqSaA>>, acesso em 6 de janeiro de 2021.

SHARDA, R.; DELEN, D.; TURBAN, E. **Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support**. New Jersey: Person, 2014.

CONSULTORIA EXCELÊNCIA. **Power BI essencial**. Julho, 2019. Disponível em: <http://www.consultoriaexcelencia.com.br/detalhes_pbi.php> acesso em 23 janeiro de 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MATTAR, F.N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento, execução e análise**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

ROMANO, Matheus. **Entenda tudo sobre sistema PIMS e como essa tecnologia vai transformar o futuro das indústrias**. 2017. Disponível em: <<https://www.logiquesistemas.com.br/blog/sistema-pims/>> Acesso em 15 de março de 2021.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação científica**. Petrópolis: Vozes, 2009.

TADACHI, N.T., e FLORES, M.C.X. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho**. 1ª.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

IMPACTA, Redação. **O que é Banco de Dados SQL Server?**. 2017. Disponível em: <<https://www.impacta.com.br/blog/entenda-de-uma-vez-por-todas-o-banco-de-dados-sql-server/>> Acesso em 15 de março de 2021.

HASHTAG TREINAMENTO. **Power query – como impressionar com essa ferramenta!**. 2020. Disponível em: <https://www.hashtagtreinamentos.com/power-query/?gclid=Cj0KCQiAvvKBBhCXARIsACTePW-wqOTUbgkY2W1fmqf9kEFclDZkZboConQUCvKIG_LTQuNCDqpUQt0aAnQREALw_wcB> Acesso em 15 de março de 2021.

BEZERRA JUNIOR, Luis Fernando ker. **Estudo do sistema de tratamentos de falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração**. [manuscrito]. 2019. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto.

IRAMINA, W. S; TACHIBANA, I. K; SILVA, L. M.C; ESTON, S. M. **Identificação e controle de riscos ocupacionais em pedreira da região metropolitana de São Paulo**. REM- Revista da Escola de Minas vol. 62 n°4 Ouro Preto, 2009.

RACIA, M. I. **Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.2016.

BOHNET, E. **Comparison of Surface Mining Methods**. SME Mining Engineering Handbook, Volume 3, Estados Unidos da América, 2011, p. 405-413

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha**. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007. 656 p.

LACERDA, D. O. T.; NETO, C. B. A.; SILVA, R. A.P. **Critérios de seleção e principais equipamentos utilizados na lavra a céu aberto**. Revista pensar, 2015. Disponível em: http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a179.pdf. Acesso em: 21 de novembro de 2018.

WIKIPEDIA. Motoniveladora. 2021. Disponível em: <
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Motoniveladora>> Acesso em 30 de março de 2021.

JAWORSKI, Tadeo. **Equipamentos para escavação – compactação e transporte**. Novembro de 2018.

FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. **Tratores Agrícolas: Apostila Didática Nº 3**. 2006. Jaboticabal – SP.