

MARCOS ALVES DE OLIVEIRA NETO

**ESTUDO DAS FALHAS NO CARREGAMENTO DE VAGÕES NOS SILOS DE
CARAJÁS**

PARAUPEBAS, PA

2020

MARCOS ALVES DE OLIVEIRA NETO

**ESTUDO DAS FALHAS NO CARREGAMENTO DE VAGÕES NOS SILOS DE
CARAJÁS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em Beneficiamento Mineral.

Orientador: Alfredo Moises Sarkis

PARAUPEBAS, PA
2020

Título: Estudo das falhas no carregamento de vagões nos silos de Carajás

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48e

Oliveira Neto, Marcos Alves de
Estudo das falhas no carregamento de vagões nos silos de Carajás /
Marcos Alves de Oliveira Neto - Ouro Preto, 2020.

68 f.: il.

Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale,
2020.

Orientador (a): Alfredo Moisés Sarkis

1. Silos de Carregamento. 2. Manuseio. 3. Ajuste de Carga em Vagões.
I. Sarkis, Alfredo Moisés. II. Título.

CDD. 23. ed. 622.6

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 - 525

Marcos Alves de Oliveira Neto

ESTUDO DAS FALHAS NO CARREGAMENTO DE VAGÕES NOS SILOS DE CARAJÁS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *fae sensu* em [Beneficiamento Mineral].
Orientador: Prof. Alfredo Moises Sarkis

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 28 de agosto de 2020 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Alfredo Moises Sarkis
Orientador – Instituto Tecnológico Vale Mineração (ITV-MI)

Thiago César Souza Pinto
Membro interno – VALE

Frederico Quintiliano Guimarães Góes
Membro interno – VALE

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 ("MP nº 2.200-2").

Este documento foi registrado eletronicamente por Frederico Quintiliano Guimarães Góes, Thiago César Souza Pinto e Alfredo Moises Sarkis, em 31/08/2020 10:58 UTC-03:00, no sistema de registro eletrônico de assinaturas desenvolvido pelo Instituto Tecnológico Vale Mineração (ITV-MI), sob o código de verificação A6FC-9C59-84BC-F52A.



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/A6FC-9C59-84BC-F52A> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale. To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/A6FC-9C59-84BC-F52A> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: A6FC-9C59-84BC-F52A



Hash do Documento

D38DA315E1CF5528C6F928C198E4994DED0C753FFA6CFB7AB8431BE47779E231

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 16/09/2020 é(ão):

Nome no certificado: Frederico Quintiliano Guimarães Góes em 16/09/2020 15:08 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: frederico.goes@vale.com

Evidências

Client Timestamp Wed Sep 16 2020 15:08:17 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.971120118220682 Longitude: -43.97197581049234 Accuracy: 142
IP 201.80.54.117

Hash Evidências:
AC911A65A564EF2F9019762993F90AED172DB17EA2EF186BC16C6B7F71DABAED

Nome no certificado: Thiago César Souza Pinto em 31/08/2020 16:47 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: thiago.souza@vale.com

Evidências

Client Timestamp Mon Aug 31 2020 16:47:16 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.977195006101794 Longitude: -43.97609123412752 Accuracy: 151
Geolocation Latitude: -19.977195006101794 Longitude: -43.97609123412752 Accuracy: 151
IP 200.6.35.101

Hash Evidências:
35489D371C1F6C9402826E6C0117484A8300A70E8A8C183B93B41E7DE2ACF687
Client Timestamp Mon Aug 31 2020 16:47:16 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)

Geolocation Latitude: -19.977195006101794 Longitude: -43.97609123412752 Accuracy: 151

Geolocation Latitude: -19.977195006101794 Longitude: -43.97609123412752 Accuracy: 151

IP 200.6.35.101

Hash Evidências:

35489D371C1F6C9402826E6C0117484A8300A70E8A8C183B93B41E7DE2ACF687

Nome no certificado: Alfredo Moises Sarkis em 31/08/2020 10:58 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: alfredo.moises@itv.org

Evidências

Client Timestamp Mon Aug 31 2020 10:52:21 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)

Geolocation Latitude: -22.4693 Longitude: -44.4562 Accuracy: 8652

IP 179.107.136.13

Hash Evidências:

A8A2D78F7148F68AF485F03303CC2E1FF4D58BEF34C56A880AA803D202F0BDF4



AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, consumidor e dono de todas as coisas, sem ele não estaria aqui para disfrutar desta benção a mim concedida.

Agradecer a minha família, principalmente minha esposa, que sempre me apoiou e incentivou a não desistir.

Aos meus amigos de trabalho, que no momento em que estava fora seguraram as rotinas no serviço para que eu pudesse estudar.

Aos meus gestores, Adilson Moura e Leonardo Marques por ter acreditado no meu potencial e confiado em minha pessoa na conclusão dessa especialização, foram momentos de dificuldades mas conseguimos vencer.

Achávamos-nos incapaz. Agora, além de capazes,
estamos mais felizes por termos vencidos.

Marcos Alves

RESUMO

Este trabalho buscou identificar as principais causas das falhas dos carregamentos em vagões nos silos de Carajás, sejam elas relacionadas às questões de manutenção, operação, projeto e condições dos materiais expedidos. O período analisado foi de dezembro de 2017 a abril 2018, este com maiores índices pluviométricos e onde as falhas se intensificam nos 4 silos de carregamento em operação. Através de pesquisa em campo, com fotos e depoimentos das equipes de operação e manutenção, além da coleta dos dados retirada do sistema de acompanhamento de produção e de paradas da empresa e analisando os dados estaticamente das ocorrências de falhas, obtendo resultados que mostram que os problemas de manuseio, confiabilidade de equipamentos e sazonalidade impactam no processo produtivo de expedição e carregamento.

Com as melhorias propostas no trabalho nos setores de manutenção e operação, foi atuado na parte estrutural dos silos de carregamento, revestimentos dos cones e revisou -se os procedimentos operacionais com foco em empilhamento e recuperação dos produtos para o período chuvoso.

Palavras-chave: Silos de carregamento; Manuseio; Vagões; Confiabilidade.

ABSTRACT

This work sought to identify the main causes of loading failures in wagons in the Carajás silos, whether related to the issues of maintenance, operation, design and conditions of the shipped materials. The period analyzed was from December 2017 to April 2018, this one with the highest rainfall levels and where the failures intensify in the 4 loading silos in operation. Through field research, with photos and testimonials from the operation and maintenance teams, in addition to the data collection taken from the company's production and shutdown monitoring system and analyzing the data statically from the occurrences of failures, obtaining results that show that the handling problems, equipment reliability and seasonality impact the production process of shipping and loading.

With the improvements proposed in the work in the maintenance and operation sectors, the structural part of the loading silos, cone coverings was performed and operational procedures were revised with a focus on stacking and recovery of products for the rainy season.

Keywords: Loading silos; Handling; Wagons; Reliability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma Carregamento de Vagões	15
Figura 2: Vista área dos pátios	16
Figura 3: Constituição de via permanente	18
Figura 4: Vagão de Carga e Locomotiva.....	19
Figura 5: Tipos de fundo: a) Plano e b) Com tremonha	21
Figura 6:(a) Escoamento de Massa (b) Escoamento de Funil	22
Figura 7: (a) Obstrução em tubo (b) Obstrução em abóbada	24
Figura 8: Silo Gravimétrico.....	25
Figura 9: Silo Volumétrico	26
Figura 10: Sobrecarga em vagões (Carga máxima de 130 ton).....	27
Figura 11: Carga Excêntrica.....	28
Figura 12: Carga Baixa (Carga mínima 93 Ton).....	28
Figura 13: Removedor de Sobrecargas.....	29
Figura 14: Retroescavadeira	30
Figura 15: Custo do produto x Confiabilidade	33
Figura 16: Mapa de Paradas	35
Figura 17 - Plano de manutenção Silos	36
Figura 18: Tipos de Minerais.....	37
Figura 19: Gráfico de sazonalidade	38
Figura 20 : Carregamentos de Carajás - Silos de Carregamento.....	39
Figura 21: Tipos de Minérios Expedidos	40
Figura 22: Página inicial sistema GPV	42
Figura 23: Menu inicial macrotab	43
Figura 24: Gráfico sequencial pluviometria x mês.....	44
Figura 25: Vagões com excesso de umidade.....	45
Figura 26: Gráfico paradas manuseio x pluviometria	45
Figura 27: Gráfico dispersão pluviometria x horas paradas manuseio.....	46
Figura 28: Gráfico horas paradas / Mt expedida	47
Figura 29: Massa Expedida Por Silo	47
Figura 30: Gráfico Pareto Causa	48
Figura 31: Gráfico Pareto Falhas.....	48
Figura 32: Gráfico Pareto Ajuste carga por silo	49
Figura 33: Gráfico Sequencial Ajuste Carga / Mt	49
Figura 34: Box Plot	50
Figura 35: Fotos Internas Cones Silos.....	52
Figura 36: Perfil de Perdas	53
Figura 37: Foto Supervisório Silo 04	54
Figura 38: Recuperação em Patamar	54
Figura 39: Recuperação em bancada	55
Figura 40: Estocagem em Conevron	55
Figura 41: Estocagem em Chevron	56
Figura 42: Transportadores com telhado danificado	56
Figura 43: Drenagem pátios	57
Figura 44: Mangueiras ligadas chute da usina	58
Figura 45: Gráfico de paradas sistema hidráulico silos.....	58
Figura 46: Umidade na formação de pilhas no pátio.....	59

Figura 47: Cartas de Controle Umidade H2O	60
Figura 48: Gráfico Linha	61
Figura 49: Teste de Revestimento	61
Figura 50: Revestimento CDP Liso no Silo 04	62
Figura 51: Drenagens Pátios.....	62
Figura 52: Sistema hidráulico revitalizado	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de formas de silos	20
Tabela 2: Perda Potencial Expedição	44
Tabela 3: Matriz Causas Priorizadas	51
Tabela 4: Causas Fundamentais	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVO	17
1.2.1 Geral.....	17
1.2.2 Específico	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA	17
2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO	18
2.3 SILOS DE CARREGAMENTO DE VAGÕES DE MINÉRIO DE FERRO	19
2.3.1 Escoamento de massa	22
2.3.2 Escoamento de funil.....	23
2.3.3 Problemas de escoamento	23
2.4 TIPOS DE SILOS DE CARREGAMENTO DE VAGÕES.....	24
2.4.1 Silo de Carregamento Gravimétrico	24
2.4.2 Silo de Carregamento Volumétrico.....	25
2.5 PROCESSO DE CARREGAMENTO	26
2.5.1 Principais Tipos de distribuição da carga de minério no vagão.....	27
2.6 PRINCIPAIS TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE RETIRADA DE CARGA EM VAGÕES	29
2.6.1 Pórtico	29
2.6.2 Retroescavadeira	30
3 ASPECTOS RELACIONADOS À MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO NO PROCESSO DE CARREGAMENTO	30
3.1 MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE EM SISTEMA DE CARREGAMENTO	30
3.1.1 Manutenção Corretiva	31
3.1.2 Manutenção Preventiva	32
3.1.3 Manutenção Preditiva	32
3.1.4 Confiabilidade.....	33
3.1.5 Estratégia de Manutenção	34
3.2 MANUSEIO DE MATERIAL	36
3.2.1 Sazonalidade	38
3.2.2 Propriedades mineralógicas.....	39
3.2.3 Tipos de Minérios Expedidos	40
3.2.4 Indicadores de performance de carregamento – Peso Médio e Tempo Médio de Carregamento	41
4 METODOLOGIA DA PESQUISA	42
4.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS	42
4.2 ESTUDO DE CASO	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1 LEVANTAMENTO DAS CAUSAS	50
5.1.1 Causas Potenciais.....	50
5.1.2 Causas Fundamentais	51
5.1.3 Comprovação das Causas Fundamentais.....	52
5.1.3.1 Causa 01 à 03.....	52
5.1.3.2 Causa 04	53
5.1.3.3 Causa 05	54
5.1.3.4 Causa 06	56

5.1.3.5 Causa 07	57
5.1.3.6 Causa 08	57
5.1.3.7 Causa 09	58
5.1.3.8 Causa 10	59
5.2 AÇÕES DE CAMPO	60
5.2.1 Causa 01 – Troca de Revestimento Silo 04.....	61
5.2.2 Causa 07 – Rebaixamento dos Pátios.....	62
5.2.3 Causa 09 –Revitalização Sistema Hidráulico Silos.....	62
6 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

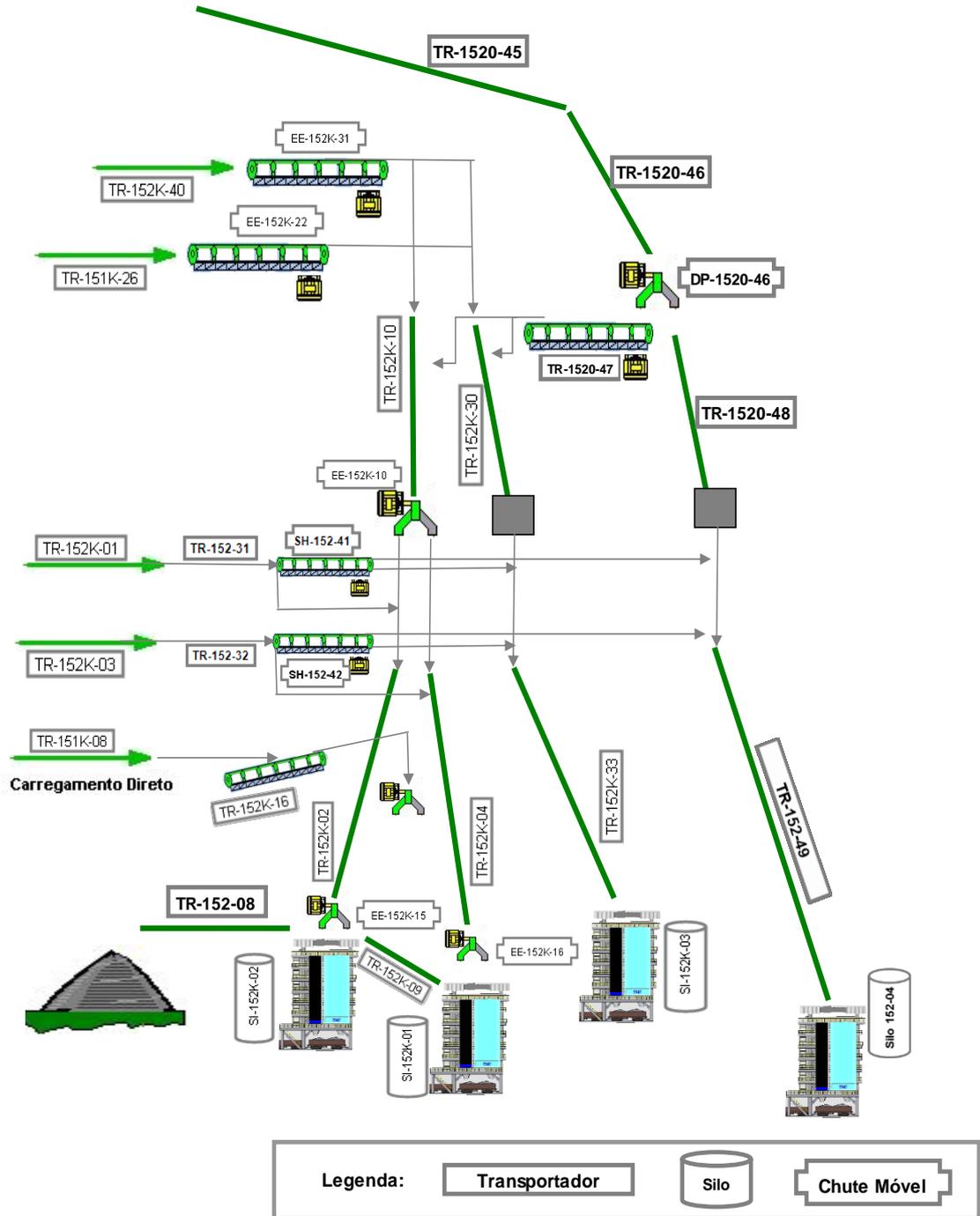
1 INTRODUÇÃO

O minério de ferro de Carajás, é exportado por um sistema que integra minas, usinas, ferrovia e porto chamado de Corredor Norte. Após a fase de lavra e processamento, o produto é transportado em vagões através da Estrada de Ferro Carajás até o Terminal Marítimo Ponta da Madeira em São Luís no Maranhão, são 972 Km de extensão e opera com mais de 18.000 vagões e 257 locomotivas. Carajás é a maior operação da Vale, fundamental e estratégico, em função da alta qualidade do seu minério de ferro e de sua capacidade de produção e expedição.

As reservas geológicas de minério de ferro de Carajás abrangem um total de 2.3 milhões de toneladas e seus principais eixos de exploração estão concentrados nas minas de N4, N5, N4E e N4WN (FORM 20-F VALE 2016).

Especificamente no carregamento de vagões, composto por 04 Silos (figura 01) e, responsável por escoar os materiais estocados em 6 pátios distintos e classificados por letras A B, C, D, G, H, conforme (figura 02), os pátios A B, C, D recebem a produção da usina 01 e os pátios G e H recebem a produção da usina 02, que somente em 2019 expediu 117.4 milhões de toneladas de minério de ferro e com orçamento em 2020 de 127.4 milhões de toneladas.

Figura 1: Fluxograma Carregamento de Vagões



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2: Vista área dos pátios



Fonte: Arquivos pessoais.

Os problemas existentes no carregamento que geram falhas, contribuem ao longo dos anos com prejuízos e reduzindo a capacidade de expedição.

De modo geral, essas falhas causam uma perda no desempenho operacional aumentando os custos de operação e atuando como uma barreira ao crescimento do volume expedido.

Por essa razão, esse estudo encontra-se focado em analisar as causas que podem estar gerando desperdícios no processo de carregamento de vagões relacionadas ao manuseio e confiabilidade operacional e de manutenção dos equipamentos.

1.1. JUSTIFICATIVA

As perdas geradas no processo de carregamento de vagões mediante aos problemas são muito expressivas e com bastante relevância dentro da cadeia.

A crescente demanda por uma maior produtividade, redução de custo e aumento da performance do sistema de carregamento de Carajás, motiva todos os envolvidos a procurar por novas referências e aumentar a eficiência nessa etapa do processo.

1.2. OBJETIVO

Para este trabalho, foram levantados os seguintes objetivos.

1.2.1. Geral

Este estudo tem como objetivo geral identificar as causas das falhas no carregamento de vagões nos silos de Carajás, analisando suas criticidades dentro do processo e propor, sugestões e melhorias para mitigação desse problema.

1.2.2. Específico

- Realizar análise estatística através da metodologia 6 sigma com intuito de encontrar a causa raiz das principais falhas que contribuem para as paradas durante o carregamento de vagões nos silos.

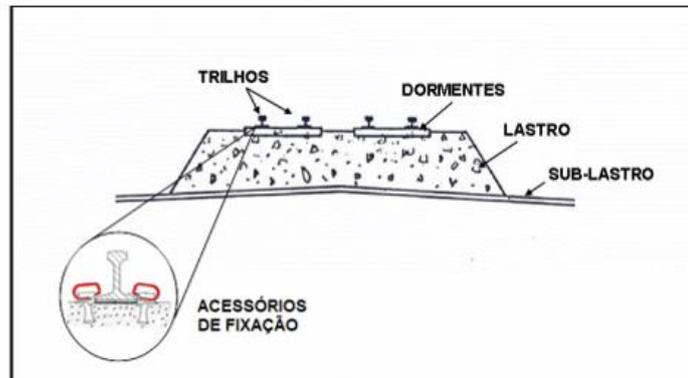
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA

A ferrovia é composta por diversos subsistemas complexos que possuem influência no processo produtivo, pois interferem diretamente na confiabilidade, qualidade e segurança do mesmo. Um dos subsistemas de maior importância e fundamental para a operação de uma ferrovia é a Via Permanente.

Segundo Rives et al. (1977, p.29), a Via Permanente é constituída por duas vigas metálicas contínuas longitudinais denominadas trilhos, fixados aos apoios transversais espaçados regularmente, denominados dormentes que compõem a grade, que repousam sobre um colchão amortecedor de material granular, denominado lastro que por sua vez, absorve e transmite ao solo as pressões correspondentes às cargas suportadas pelos trilhos (figura 3) (COIMBRA 2008).

Figura 3: Constituição de via permanente



Fonte: Adaptado pelo autor de BRINA (1979, p.6).

Esta superestrutura da linha férrea têm a função de receber e distribuir os impactos diretos das cargas oriundas da circulação do material rodante, garantindo a estabilidade longitudinal, lateral e vertical do plano de rolamento dos veículos e a segurança (CASTELLO BRANCO et al. 2002, p.202 e COIMBRA 2008).

2.2. PRINCIPAIS TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO

As principais classificações dos tipos de equipamentos que podem ser usados no transporte de cargas ou passageiros.

- Material Rodante é toda a frota de veículos ferroviários de uma empresa e subdivide-se em Material de Tração e Material Rebocado.
- O Material de Tração compreende as locomotivas, os trens autopropulsados e as locomotivas de manobra.
- O Material Rebocado compreende os carros de passageiros e os vagões de cargas (COIMBRA 2008).

Fundamentalmente, a diferença entre as composições de transporte consiste em onde está localizada a unidade de força tração. A primeira e mais antiga forma é com o uso de locomotivas, nas quais toda a força de tração está localizada em um único elemento. A locomotiva concentra toda a tração, sendo capaz de puxar (ou empurrar) vagões de carga ao longo da via (DELCAN ARUP, 2010) e (Transporte sobre trilhos no Brasil: uma perspectiva do material rodante).

Figura 4: Vagão de Carga e Locomotiva



Fonte: Arquivo Pessoal.

2.3. SILOS DE CARREGAMENTO DE VAGÕES DE MINÉRIO DE FERRO

A palavra “silo”, segundo a gramática portuguesa significa fosso ou depósito, cujo o significado original caiu em desuso. A utilização dos silos nos processos industriais apresenta, até os dias atuais, importante papel para o desenvolvimento econômico de uma região.

Rotter (2001) refere-se ao termo silo como toda construção destinada a armazenagem de produtos sólidos enquanto Freitas (2001) o conceitua de modo mais completo como sendo um termo genérico indicado para designar toda e qualquer construção cuja finalidade seja de armazenar produtos granulares ou pulverulentos, podendo a mesma ser equipada com dispositivos de carregamento e que seja capaz de ser esvaziada preferencialmente por gravidade ou através de meios mecânicos ou pneumáticos.

Os objetivos do processo de ensilagem são basicamente seis (CHAVES, 2012):

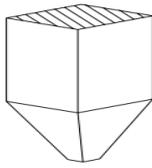
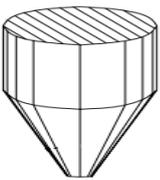
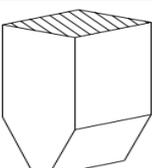
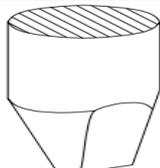
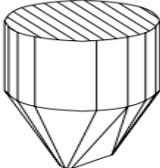
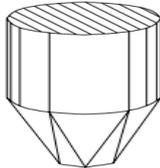
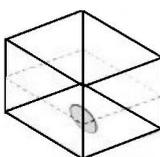
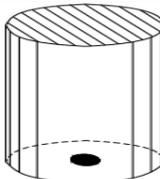
- Armazenamento da matéria prima;
- Recuperação sem perdas de frações finas.
- Abastecimento das operações a jusante.
- Individualização dos lotes, evitando contaminação.
- Homogeneização do material sem que haja segregação
- e Regularização das vazões.

Por possuir vantagens de utilização com relação a espaço de armazenamento, conservação do estoque e abastecimento de processos, os silos são imensamente utilizados principalmente nas indústrias agrícola e na mineração.

De maneira geral os silos podem possuir diversos formatos e configurações. São divididos em duas partes: corpo (parte superior) e tremonha (parte inferior). Sendo os métodos construtivos com ou sem tremonha. A configuração dessas partes é definida pelo tipo de produto a ser armazenado e função do escoamento desejado.

Para as configurações de corpos, os silos podem ser cilíndricos ou prismáticos, de seção quadrada ou retangular, ou em alguns casos seção hexagonal. As configurações de tremonhas em silos podem ser prismáticas ou cônicas. A tabela 1 mostra as diferentes formas de silos em relação ao método de construção e seção. (BALBINOT, 2019).

Tabela 1: Exemplos de formas de silos

Construção	Seção retangular ou quadrada	Seção circular
Com tremonha	 Tremonha piramidal, abertura de descarga quadrada.	 Tremonha cônica, abertura de descarga circular.
	 Tremonha prismática, abertura de descarga retangular.	 Tremonha em cinzel, abertura de descarga retangular.
		 Tremonha em transição, abertura de descarga
		 Tremonha em transição, abertura de descarga
Fundo chato / Sem tremonha	 abertura de descarga circular.	 Abertura de descarga circular.

Fonte: Adaptado de Chaves (2012).

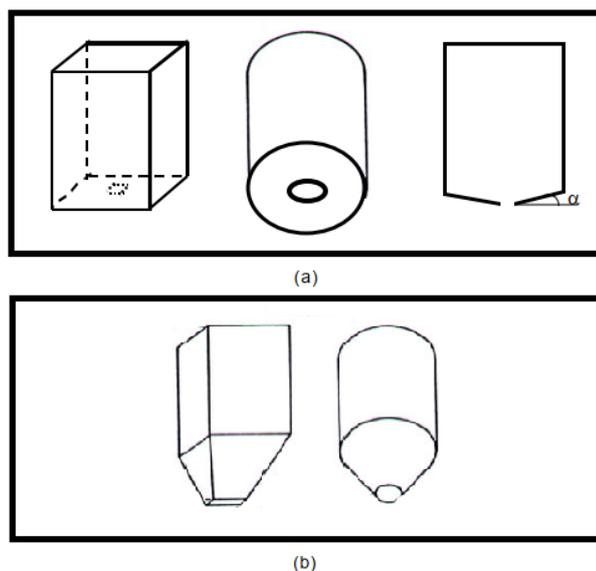
Os materiais de construção comumente utilizados são o concreto armado e o aço. De maneira geral, utiliza-se aço por possuir melhores propriedades para o escoamento, porém apresenta problemas de corrosão. Contudo, materiais de revestimentos são usualmente utilizados nas paredes como anticorrosivos. Para materiais muito abrasivos é generalizado o uso de basalto fundido (CHAVES, 2012).

O tipo de material utilizado na construção dos silos também influencia diretamente na sua capacidade de armazenamento. Segundo Kock (2018), silos metálicos podem ter capacidades variando entre 20 a 60 mil toneladas, podendo ser maior dependendo do método e características do material.

Outro ponto importante na construção de silos é a definição da altura do corpo. A altura do silo exerce influência no escoamento do material, no que diz a respeito à pressão que o material suprajacente exerce sobre as camadas inferiores. Desse modo maiores alturas têm influência favorável sobre o escoamento (exceto se o material tiver tendência a aglomerar e ficar longos períodos dentro do silo) (CHAVES, 2012).

Segundo Argenta (2010) os silos podem ser de fundo plano e fundo com tremonha. Os silos de fundo plano possuem sua parte inferior horizontal ou levemente inclinada com relação ao plano horizontal. Algumas normas limitam esse ângulo até 5° . Os silos de fundo de tremonha são aqueles que possuem o fundo com formato de funil. A figura 5 mostra a diferença entre os dois tipos de fundo.

Figura 5: Tipos de fundo: a) Plano e b) Com tremonha

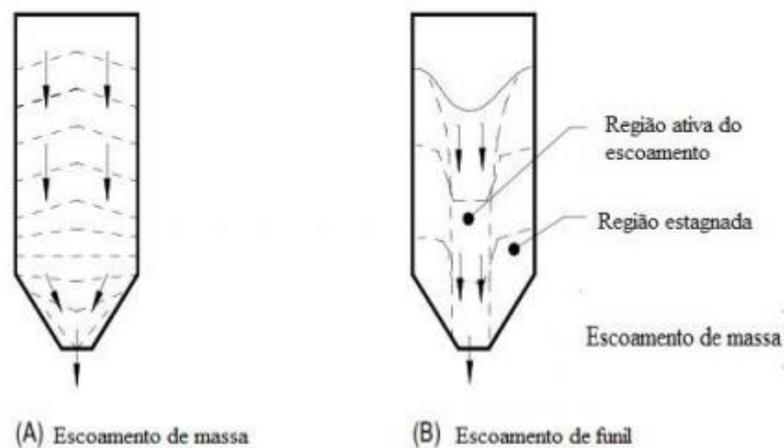


Fonte: Adaptado de Freitas (2001).

Segundo Janike (1964), “o escoamento de um qualquer material se realiza quando as pressões presentes são tais que o corte ocorre sem destruir as propriedades do produto armazenado. As pressões presentes em silos são muito diferentes das encontradas num tanque que contém um fluido, e são dominadas por fenômenos de atrito. No escoamento de materiais sólidos a granel poucas analogias podem ser feitas sobre o armazenamento de materiais líquidos. As pressões que se desenvolvem num sólido armazenado podem ter um impacto importante sobre o escoamento livre por gravidade a partir de um silo, Rotter (2008).

A descarga por gravidade de um produto armazenado pode realizar-se mediante dois tipos de escoamento: escoamento de massa e escoamento de funil (figura 6). A diferença no escoamento ocorre devido às diferenças entre as propriedades físicas do produto, a geometria, e as características da superfície da tremonha (PIRES, 2015).

Figura 6:(a) Escoamento de Massa (b) Escoamento de Funil



Fonte: Pires (2015).

Segundo Chase (2004) as principais diferenças entre os tipos de escoamento estão nas diferenças de movimento entre várias zonas do escoamento. Normalmente no escoamento de massa todo o material sólido dentro do silo está em movimento, contudo não necessariamente à mesma velocidade. No escoamento de funil apenas o material no centro do escoamento, acima da saída da tremonha, está em movimento enquanto o material que está em contato com as paredes se mantém estagnado (PIRES, 2015).

2.3.1 Escoamento de massa

É considerado fluxo ideal, onde o produto que entra primeiro no silo é o primeiro a sair. Todas as partículas armazenadas estão em movimento do começo até o fim do descarregamento, o fluxo é uniforme e pode ser controlado (CHAVES, 2012). Nesse tipo de fluxo não há surgimento de zonas estacionárias, assim é diminuído a possibilidade de obstruções, ocorrendo assim o esvaziamento completo do silo.

As condições para ocorrência desse tipo de fluxo são quando as paredes da tremonha são suficientemente inclinadas e lisas e não existem transições abruptas.

2.3.2 Escoamento de funil

É caracterizado pela formação de um canal de partículas em movimento dentro de uma zona limitada, enquanto o produto adjacente à parede permanece estacionário, formando assim uma espécie de funil dentro do silo. O material estacionário permanece após a descarga, necessitando da intervenção por meio de vibração mecânica, ou algum outro procedimento para ser escoado. Este tipo de fluxo ocorre quando as paredes da tremonha são rugosas e o ângulo de inclinação com a vertical é elevado.

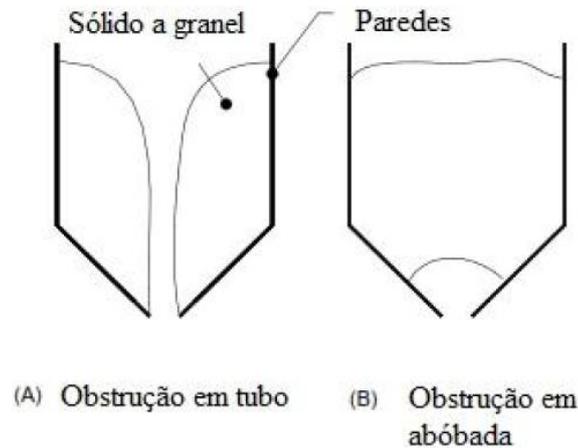
Os silos com esse tipo de fluxo possuem menores capacidades de armazenamento, porém possuem como vantagem o menor desgaste das paredes, em virtude de o atrito do produto com a parede ser desprezível e menores pressões nas paredes do silo (PALMA, 2005).

2.3.3 Problemas de escoamento

Segundo Pires (2005), os tipos de obstruções normalmente encontradas no escoamento devem-se ao facto do sólido a granel atingir resistência suficiente para se suportar a si próprio, impedindo o material situado sobre ele de fluir livremente.

Os problemas de escoamento predominantes são a ocorrência da interrupção do escoamento ou da sua irregularidade. A interrupção do escoamento deriva do aparecimento da obstrução em abóbada ou obstrução em tubo (figura 7), em contrapartida o escoamento irregular acontece na altura da descarga.

Figura 7: (a) Obstrução em tubo (b) Obstrução em abóbada



Fonte: Pires (2015).

2.4 TIPOS DE SILOS DE CARREGAMENTO DE VAGÕES

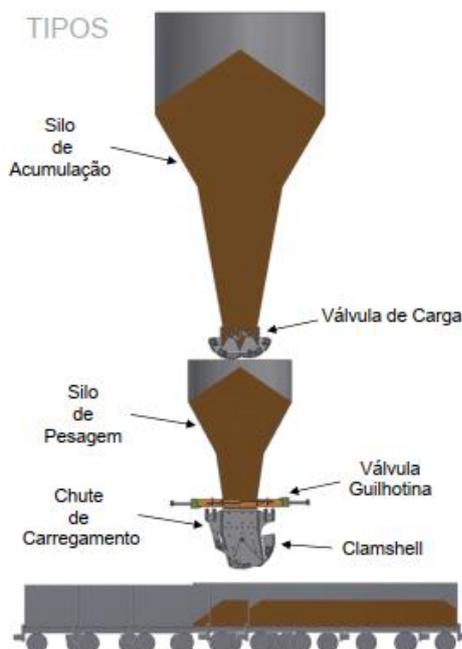
Derivado dos conceitos de mecânica dos fluidos, os silos podem ser volumétricos ou gravimétricos, recebendo tal denominação devido à vazão (volumétrica ou gravimétrica) de determinado fluido (líquido, gás ou sólido) que passa pela área de seção transversal dos mesmos por uma unidade de tempo. (BALBINOT, 2019).

2.4.1 Silo de Carregamento Gravimétrico

Segundo Balbinot (2019) os silos de carregamento gravimétrico são os que possuem fluxo gravimétrico de material. A vazão gravimétrica também é denominada de vazão mássica. Bojorge (2017) define como vazão ou fluxo gravimétrico, como a quantidade de massa de um fluido que escoar por uma seção em unidade de tempo considerada.

Os sistemas de enchimento e dosagem do tipo gravimétrico (figura 8) utilizam a balança para “pesar” o material durante o processo de carregamento, e em determinadas aplicações, a própria balança controla o enchimento através de uma malha de controle, de acordo com o peso carregado. Este tipo de operação isola qualquer tipo de desvio proveniente de mudança ou alteração nas características do produto, uma vez que o processo de medição de massa não sofrerá alteração caso as características do produto se alterem durante a dosagem. Este tipo de operação é adequado para operação em todos os tipos de produtos, incluindo líquidos, sólidos e gases (TOLEDO DO BRASIL, 2019).

Figura 8: Silo Gravimétrico



Fonte: Schenck Process – Sistema de carregamento de vagões.

2.4.2 Silo de Carregamento Volumétrico

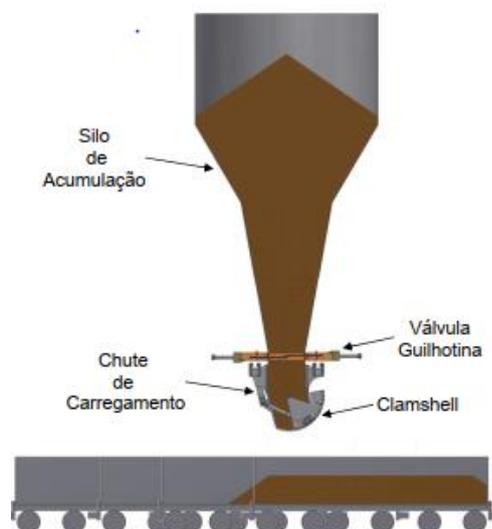
Segundo Balbinot (2019) os silos de carregamento volumétrico são os que possuem vazão de material volumétrica. Andrade (2018) define vazão ou fluxo volumétrico (Q) como o volume de fluidos (V) que passam por uma área específica (seção) em um período específico (t).

Os sistemas de enchimento e dosagem do tipo volumétricos (figura 9), por exemplo, são comumente utilizados em produtos cuja variação de suas propriedades físico-químicas, como densidade, viscosidade e granulometria seja inexistente ou mínima durante a operação, além do fato de gerar ou não obstruções, ou quaisquer outros pontos que possam impactar diretamente na repetibilidade da relação volume X massa.

O processo de enchimento e dosagem volumétrica é uma operação dinâmica, com relação inversamente proporcional entre velocidade e precisão. Isso significa basicamente que se considerarmos dois cenários, sendo o primeiro com alta velocidade de enchimento, a velocidade do carregamento será alta, no entanto, a precisão da carga será baixa; já num segundo cenário, se tivermos uma velocidade de enchimento baixa (inferior a velocidade do primeiro cenário), a precisão de dosagem resultante será alta, porém a velocidade do carregamento será baixa, isto para o mesmo equipamento.

A fim de obter a melhor precisão e também velocidade na operação, comumente faz-se uma mescla da alta e baixa velocidade na operação (TOLEDO DO BRASIL, 2019).

Figura 9: Silo Volumétrico



Fonte: Schenck Process – Sistema de carregamento de vagões.

De acordo com McHale (2004), apesar da alta taxa de carregamento permitida pelo carregamento volumétrico, a precisão da carga fica altamente prejudicada. Dependendo da altura do sistema de carga de material, da velocidade do trem e do momento em que o silo deve ser recarregado, a quantidade de material em cada vagão é afetada. Se o sistema de carregamento é operado por um operador, a quantidade de material final varia de vagão para vagão e de operador para operador.

O resultado deste tipo de carregamento são vagões com excesso de carga ou vagões com sobrecarga em alguma cabeceira do vagão, mesmo que a capacidade máxima de carga do vagão não seja atingida. (CURY, 2006).

Em Carajás nas operações da Vale S.A é utilizado os dois tipos de silos, tanto o gravimétrico como o volumétrico e com fundo de tremonha com formato de funil, objeto de estudo desse trabalho.

2.5 PROCESSO DE CARREGAMENTO

De acordo com Branco e Ferreira, este sempre foi um assunto polêmico no meio ferroviário, principalmente porque afeta a muitos setores internos como a operação, que depende da liberação rápida do trem após sua carga. (CURY, 2006).

O ajuste de carga trata-se da ação de retirada, injeção ou distribuição do material nas composições após o carregamento realizado pelo silo. De certa maneira é considerado a principal anomalia causada pelo carregamento de vagões por silos, impactando diretamente nos tempos de carregamentos. É tratado como fator de queda de eficiência, uma vez que todo carregamento deve ser parado para a realização do mesmo.

É uma operação necessária à medida que o carregamento do produto fique fora do padrão. A não realização do ajuste na carga dos vagões podem gerar riscos operacionais durante o transporte do minério até o porto (BALBINOT, 2019).

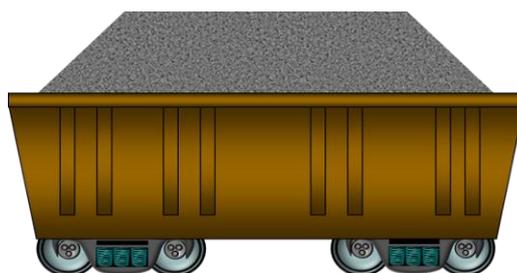
2.5.1 Principais Tipos de distribuição da carga de minério no vagão

Durante a operação de carregamento de vagões via Silos existem diversos fatores que ocasionam uma distribuição irregular de carga de minério e que impactam o processo e a cadeia produtiva. As situações típicas são: *Sobrecarga de Vagão*, *Carga Excêntrica* e *Carga Baixa*.

Segundo Cury (2006) *Sobrecarga de Vagão* (figura 10) ocorre quando a quantidade de carga carregada no vagão excede a capacidade máxima deste, no caso dos carregamentos de Carajás o limite máximo de carga é de 130 toneladas líquidas, acima desse valor é necessário retirar material do vagão. Este caso é muito comum em sistemas de carregamento com baixa precisão na pesagem de material, como pás mecânicas e caminhões, e piora com a necessidade de se utilizar sempre 100% da capacidade de carga do material rodante para que maior eficiência seja atingida no transporte.

Normalmente o excesso de carga sobrecarrega todos os pacotes de molas dos trucks do vagão, afetando o movimento de oscilação lateral e longitudinal da caixa.

Figura 10: Sobrecarga em vagões (Carga máxima de 130 ton)

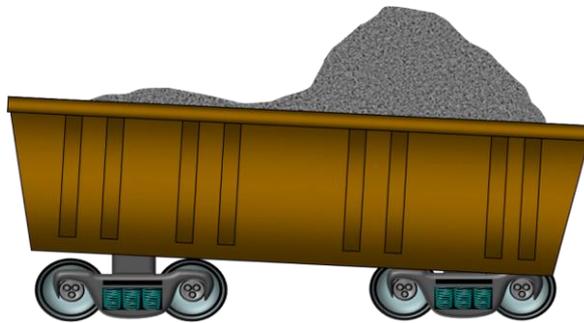


Fonte: CCQ Inovales (2016).

Segundo Cury (2006) *Carga Excêntrica* (figura 11) é a mais comum no carregamento manual ou por meio de pá mecânica, onde o produto pode ficar concentrado em uma das paredes laterais, afetando o movimento de oscilação lateral da caixa, que passa a ser desordenado e sobrecarregando um dos pacotes de molas dos trucks.

A diferença em relação ao problema anterior, para a suspensão, é que no primeiro caso todas as molas de um dos truques estão sobrecarregadas, enquanto que no segundo um dos dois pacotes de mola está sobrecarregado em um dos lados, à direita ou à esquerda (Branco, J.E.C. e Ferreira, R.).

Figura 11: Carga Excêntrica

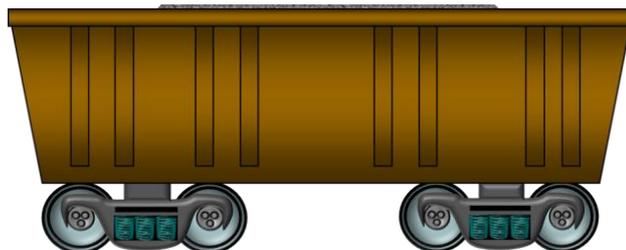


Fonte: CCQ Inovales (2016).

Segundo Cury (2006) *Carga Baixa* (figura 12) ocorre quando a quantidade de carga carregada no vagão fica aquém da capacidade máxima deste, no caso dos carregamentos de Carajás o limite mínimo de carga é de 93 toneladas líquidas, abaixo desse valor é necessário retirar completar a carga. Esta situação é mais comum em função das características do material a ser carregado.

Neste caso os pacotes de molas dos truques não são afetados, porém os riscos de se trafegar com vagões leves no meio de uma composição de vagões carregados são grandes podendo ocasionar acidentes catastrófico.

Figura 12: Carga Baixa (Carga mínima 93 Ton)



Fonte: CCQ Inovales (2016).

2.6 PRINCIPAIS TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE RETIRADA DE CARGA EM VAGÕES

Os equipamentos de movimentação de carga são equipamentos e máquinas, manuais ou automatizados, utilizados para mover cargas, em diversos percursos com a distância variada e superfícies e espaços apropriados, em que a principal função é transportar e/ou manejar.

A escolha do tipo de equipamento a ser utilizado para a movimentação de carga deve ser baseada no tipo de produto a ser trabalhado e a área disponível para a alocação ideal do maquinário.

Optar pela ferramenta ideal de transporte e movimentação de cargas é fundamental para alcançar as principais metas da logística no que consiste em trabalhar no menor tempo, sem perder a qualidade dos produtos e visando sempre a redução de custos.

Cada um tem um propósito e características próprias. Assim, é importante conhecer bem os principais equipamentos para movimentação de cargas para uma melhor tomada de decisão. (MOVIMAK, 2017).

2.6.1 Pórtico

Chamamos de pórtico um conjunto de colunas verticais, que sustentam vigas nas direções horizontais, em Carajás possui o primeiro removedor de sobrecarga de vagões, com 02 Gruas que atingem as 4 linhas do carregamento, equipamento desenvolvido e projetado para essa finalidade conforme pode ser visto na figura 13.

Figura 13: Removedor de Sobrecargas





Fonte: Arquivos Pessoais.

2.6.2 Retroescavadeira

Chamamos de *Retroescavadeira* ou Retroescavadeira é um trator ou máquina de terraplenagem equipada com uma pá carregadeira (caçamba), instalada parte frontal e uma pequena concha (caçamba) na parte traseira do veículo e que também pode ser utilizada para retirar e normalizar cargas de vagões conforme pode ser visto na figura 14.

Figura 14: Retroescavadeira



Fonte: Arquivos Pessoais.

3 ASPECTOS RELACIONADOS À MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO NO PROCESSO DE CARREGAMENTO

3.1 MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE EM SISTEMA DE CARREGAMENTO

A indústria da mineração é composta por vários sistemas, sendo o de carregamento de Carajás é composto por um conjunto complexo de prédios, correias transportadoras de minério, estruturas metálicas, silos de grande porte para carregamento, comportas de abertura e fechamento, subestações de energia, e diversos tipos de sensoriamento.

Para garantir o atingimento de produção, disponibilidade física, integridade dos ativos e segurança das pessoas envolvidas é necessário a execução de atividades de manutenção que nada mais é que a ação de **manter, sustentar, consertar** ou **conservar** alguma coisa.

Conforme a NBR5462/1994: manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

A literatura sobre manutenção descreve vários tipos de possíveis manutenções, de forma a classificar os tipos de intervenções nos ativos. É observado em autores consenso em torno das classificações mencionadas abaixo e que será feito uma breve explicação sobre eles:

- Manutenção Corretiva
- Manutenção Preventiva
- Manutenção Preditiva
- Confiabilidade (Manutenção centrada na confiabilidade)

Além das classificações acima, destacamos mais dois conceitos aplicados em manutenção, conforme norma ABNT 5462-1994:

- Defeito: Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos;
- Falha: Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida;

3.1.1. Manutenção Corretiva

De acordo com a ABNT, Manutenção Corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida. [NBR 5462-1994]. Observe que esta definição omite o caráter planejamento em tal tipificação, para nós a manutenção corretiva pode se apresenta de duas formas, a não planejada, e a planejada. A corretiva não planejada é executada quando o evento já ocorreu, faz a correção da falha. A corretiva planejada é executada para a correção do defeito ou desempenho inferior, mediante um planejamento prévio.

A dita Manutenção Corretiva é a intervenção necessária para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, a segurança do trabalhador ou ao meio ambiente, se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores, é mais conhecida nas fábricas como “apagar incêndios”. Normalmente, este tipo de manutenção implica em custos mais altos.

3.1.2. Manutenção Preventiva

Podemos classificar como manutenção preventiva, todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito.

São serviços efetuados em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinados a reduzir a probabilidade de falha, desta forma proporcionando uma “tranquilidade” operacional necessária para o bom andamento das atividades produtivas.

Como exemplo pode ser citado a troca de peças, lubrificação de equipamentos e componentes, inspeções sensitivas (através dos sentidos) diversas das condições de um equipamento, calibração, reforma, etc.

A preventiva não sistemática são inspeções ocasionais e reformas para restauração das condições originais do equipamento.

Este tipo de manutenção planejada oferece uma série de vantagens para um organismo fabril, com relação às corretivas já elencadas.

3.1.3. Manutenção Preditiva

São tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar os parâmetros de desempenho e performance das máquinas ou das peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentar prever a proximidade da ocorrência da falha. Os objetivos de tal tipo de manutenção é determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, possibilitando o máximo da utilização em relação à sua vida útil esperada.

Existem quatro técnicas preditivas, bastante usadas nas indústrias nacionais que optaram por um programa desta envergadura são elas: Ensaio por Ultrassom; Análise de vibrações mecânicas; Análise de óleos lubrificantes e termografia.

3.1.4. Confiabilidade

Na última década estudos relativos a confiabilidade vem crescendo em diversos tipos de industrias, em especial em áreas de manutenção. Segundo Conno, “Confiabilidade é a probabilidade de um item realizar sua função especificada, sem falhas sob condições de uso previamente determinadas, em um período de tempo estabelecido”. A associação brasileira de normas técnicas (ABNT) define confiabilidade como: “Característica de um item eventualmente expressa pela probabilidade de que ela preencherá uma função dada, sob condições definidas e por um período de tempo definido”.

Logo o estudo vislumbra conhecer e controlar a vida útil de seus produtos ou serviços, afim de reduzir custos com possíveis falhas, sem comprometer a qualidade, segurança dos mesmos durante um período determinado.

Os principais termos utilizados na confiabilidade são:

Falha: Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

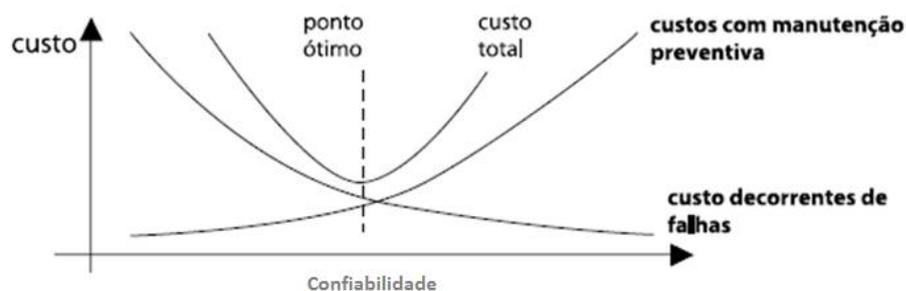
Defeito: Qualquer desvio de uma característica de um Item em relação aos seus requisitos.

Disponibilidade: probabilidade de um sistema estar operacional num instante de tempo determinado.

Mantenabilidade: probabilidade de realizar manutenção em um sistema dentro de um período.

Através de estudos de confiabilidade é possível encontrar por exemplo o ponto ótimo para a relação custo x manutenção x confiabilidade e com isso reduzir riscos, custos e aumentar a vida útil de um determinado ativo (figura 15).

Figura 15: Custo do produto x Confiabilidade



Fonte: Próprio Autor.

Assim, para atingimento de uma maior confiabilidade do processo produtivo são utilizadas diversas ferramentas e métodos com abordagem qualitativa e quantitativa para definir, mensurar, analisar e propor soluções para problemas que interferem no bom desempenho dos processos e também melhorar os resultados. Como alguns exemplos destas ferramentas e métodos, temos, Gráficos de barras, Gráficos sequenciais e Diagrama de Pareto, Diagrama de dispersões, Box Plot e Matrizes de priorização.

Gráfico de Barras e Sequenciais: É um gráfico com verticais ou horizontais que ilustram as comparações entre os dados levantados.

Diagrama de Pareto: É um gráfico de colunas que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, o que permite a priorização dos problemas, levando a cabo o princípio de Pareto, isto é, há muitos problemas sem importância diante de outros mais graves.

Diagrama de Dispersão: Os diagramas de dispersão ou gráficos de dispersão são representações de dados de duas ou mais variáveis que são organizadas em um gráfico. O gráfico de dispersão utiliza coordenadas cartesianas para exibir valores de um conjunto de dados. O coeficiente de correlação de Pearson (r), também chamado de correlação linear ou **r de Pearson**, é um grau de relação entre duas variáveis quantitativas e exprime o grau de correlação através de valores situados entre -1 e 1.

Box Plot: Ferramenta gráfica que permite visualizar a distribuição dos dados em Mínimo, Primeiro Quartil, Segundo Quartil ou Mediana, Terceiro Quartil e Máximo e identificar valores discrepantes (outliers) dos dados avaliados.

Matriz de Priorização: Ferramenta de fácil utilização e de simples entendimento que ajuda no processo de priorização dos problemas, levando em consideração pesos para cada esforço necessário ponderando com pontuação dada para cada problema.

3.1.5. Estratégia de Manutenção

As atividades de manutenção podem ser realizadas com o equipamento em operação ou parado, com o equipamento em operação são realizadas as manutenções de inspeções, onde são encontrados os possíveis problemas que podem levar o equipamento a falhar.

As programações de parada dos equipamentos é realizada através do mapa de manutenção ou calendário de paradas, de acordo com os gatilhos definidos para intervenção de cada ativo, como criticidade e capacidade produtiva, conforme pode ser visto na figura 16.

Figura 17 - Plano de manutenção Silos

Pln.manuten.	Itm.manut.	Descrição item de manutenção	Local de instalação	CenTrabRes	TAM	Data planejada
767327	922108	IP AUTO FCJA-BFE-EXP-SILOS-SI_1520KN_04	FCJA-BFE-EXP-SILOS-SI_1520KN_04	IPEI01	INP	01.05.2020
240438	282528	INSP MECA SILO CARREGAMENTO	FCJA-BFE-EXP-SILOS-SI_1520KN_04	IPPE01	INP	04.05.2020
240438	282528	INSP MECA SILO CARREGAMENTO	FCJA-BFE-EXP-SILOS-SI_1520KN_04	IPPE01	INP	11.05.2020
511224	616520	INSPECAO ESTRUTURAL SILOS CARREGAMENTO	FCJA-BFE-EXP-SILOS-SI_1520KN_04	IPST01	INP	16.05.2020
240438	282528	INSP MECA SILO CARREGAMENTO	FCJA-BFE-EXP-SILOS-SI_1520KN_04	IPPE01	INP	18.05.2020

Fonte: SAP / Vale.

Por fim as atividades de manutenção e confiabilidade são de extrema necessidade para a indústria da mineração e sistema complexos como silos de carregamento não podem ter essas rotinas negligenciadas.

3.2 MANUSEIO DE MATERIAL

Os impactos provenientes da interação entre o minério, máquinas e instalações se traduzem na grande maioria das vezes na elevação dos custos operacionais e impactos na produtividade de um empreendimento mineral.

Todavia, o comportamento deste sistema apresenta forte relação com o ambiente mineral ao qual se formou a jazida, suas características mineralógicas, assim como das influências temporais que associados poderão potencializar as falhas os impactos interventivos em uma planta.

O minério de ferro possui aspectos físicos e químicos, que também determinam, em muitos casos, sua qualidade e seu aproveitamento.

O manuseio mineral se faz necessário uma vez que as aplicações dos produtos gerados apresentam exigências comerciais que requerem que este seja inicialmente adequado em relação ao seu tamanho (Granulometria) e/ou teor (% de ferro).

A redução do tamanho de materiais rochosos tem suas raízes ainda na antiguidade, donde já se faziam uso de ferramentas rudimentares para adequação e seleção de uma determinada porção. Paralelamente à mecanização do processamento, novos conceitos de rota de processo foram implementados, porém os primeiros problemas de manuseio também ocorreram.

A dificuldade de manuseio nasce da interação entre os métodos de se minerar, das características do material minerado e das especificações necessárias a adequação comercial.

Com o minério de ferro não foi diferente, formado a partir de uma mineralização por milhões de anos é o principal insumo para produção do aço, portanto, necessita ser manuseado de tal forma que o torne apropriado para ser transformado na indústria siderúrgica.

Muito se fez e se estudou em torno deste assunto. Barreiras foram rompidas, processos otimizados e hoje se tem um direcionamento muito mais sólido e caminhos menos obscuros a este respeito.

Estudos realizados demonstram para o minério da mina de ferro em Carajás, que as partículas menores que $37\mu\text{m}$, contém um maior volume de minerais do tipo goethítico e limonítico, além de outros hidróxidos de elevada afinidade à água. Na figura 18 podem ser vistos alguns tipos de minerais.



Fonte: Arquivos Vale.

As propriedades físicas facilmente mensuráveis de um sistema particulado que mais influenciam em sua escoabilidade são a densidade, a granulometria e a umidade. Outro parâmetro físico importante de um meio granular é o ângulo de atrito entre as partículas que, algumas vezes, é aproximado de maneira errônea ao ângulo de repouso.

Relações entre as densidades aeradas e compactadas têm sido usadas como indicadores quantitativos para a fluidez e a coesão de partículas sólidas. A fluidez indica a facilidade do material particulado em escoar. A coesão traduz a dificuldade do material para escoar pela ação das forças de atração exercidas entre as partículas.

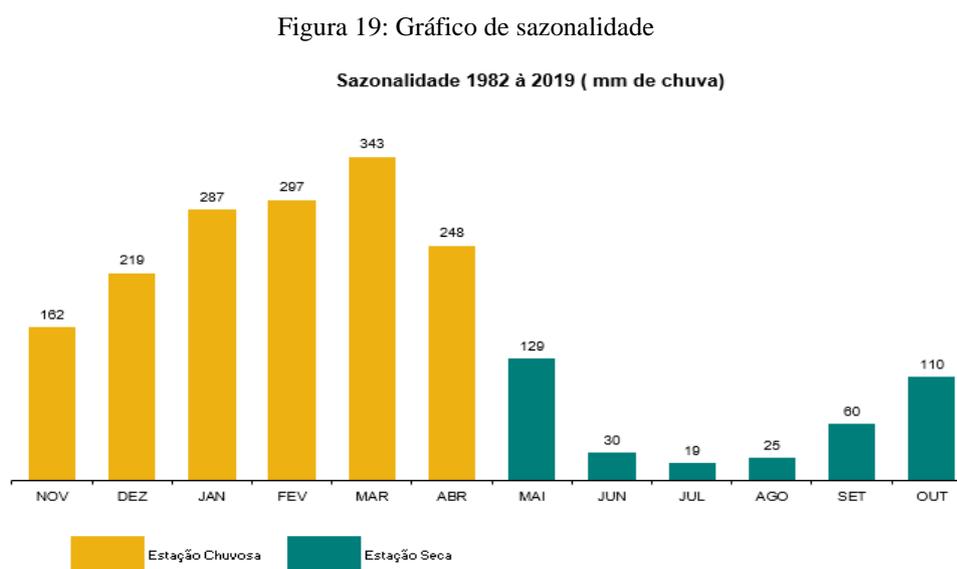
A granulometria tem uma influência direta na coesão e, conseqüentemente, na densidade do material. Partículas menores que $100\mu\text{m}$ começam a desenvolver interações importantes, acarretando no aumento de sua coesão. Desta forma, meios mais coesivos tendem a ocupar maiores volumes e conseqüentemente, apresentar menores densidades.

A umidade de um meio granular pode, até um determinado ponto, aumentar a coesão do sistema, devido a criação de pontes capilares entre as partículas do material granular, o que piora sua escoabilidade. Entretanto, esta mesma umidade pode melhorar a fluidez de um meio granular quando a quantidade de umidade for suficientemente elevada para causar a saturação

dos poros inter-partículas deste meio, resultando num comportamento semelhante ao de um líquido. (GUIMARÃES, 2012).

3.2.1 Sazonalidade

Segundo Gomes Miranda (2016) os estudos climatológicos específicos para o estado do Pará ainda são poucos. Moraes et al. (2005) determinaram o início e final da estação chuvosa sobre o estado, indicando que no setor sudeste que engloba a região de Carajás, o período chuvoso inicia em novembro e termina em maio. Nos cálculos de Villar et al. (2009) do ciclo anual da precipitação em estações meteorológicas do sul do Pará, verificou-se que os meses de dezembro a abril indicam o pico do período chuvoso e nos meses de maio a agosto ocorre o período seco, conforme pode ser visto na figura 19 e em Carajás é considerado a sazonalidade inverno e verão, respectivamente.



Fonte: Meteorologia Corredor Norte.

No período chuvoso, quando iniciam as altas chuvas (pluviometria em mm) os problemas com o manuseio do material se intensificam nos silos de carregamento de Carajás.

Quando um material de difícil manuseio, é alimentado na expedição, seja por questões de umidade ou por propriedades mineralógicas, pode ocorrer entupimentos, obstruções, aumento da necessidade de paradas para limpeza, paradas para normalização de carga nos vagões (remoção de sobrecarga, complementação de carga ou ajuste de carga excêntrica) e

aceleração do desgaste de componentes (gerando maior necessidade de paradas para manutenção).

Além disso, riscos operacionais (tais como descarrilamento e exposição de mão de obra em atividades de desobstrução) e riscos para a imagem da empresa (podendo, em conjunto com outros fatores, levar inclusive ao adernamento/naufrágio de navios) também podem acontecer em decorrência de impactos do manuseio de material.

As elevadas horas de paradas dos silos de carregamento de Carajás (figura 20) por manuseio, ocorrem principalmente na época chuvosa.

Figura 20 : Carregamentos de Carajás - Silos de Carregamento



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.2 Propriedades mineralógicas

Segundo Guimarães (2012) os minerais apresentam-se nas suas mais diversas formas, tamanhos e estrutura que o define dentro de sua natureza.

A caracterização do minério de ferro é uma etapa fundamental para o aproveitamento do mesmo de forma otimizada, pois fornece os subsídios mineralógicos e texturais necessários para que a rota de processo possa ser dimensionada da maneira mais correta possível. A mineralogia de processo, como é conhecida a caracterização tecnológica, também permite identificar etapas do processamento que necessitam de melhorias. Além de determinar e quantificar toda o conjunto de minerais, estuda-se as texturas da rocha, definindo o tamanho da partícula necessário para liberação dos minerais, de hematita (Minério de valor econômico), de sua ganga (Minério sem valor econômico), esses estudos definem diversas propriedades físicas e químicas destes minerais que potencialmente poderão ser úteis para a sua separação.

A hematita é encontrada in natura em variedades texturais de acordo com o ambiente de sua formação. Neste sentido, os minerais irão apresentar tamanho, forma, grau de porosidade e orientações estruturais cristalinas distintas, assim como demais características mineralógicas próprias de cada mineral.

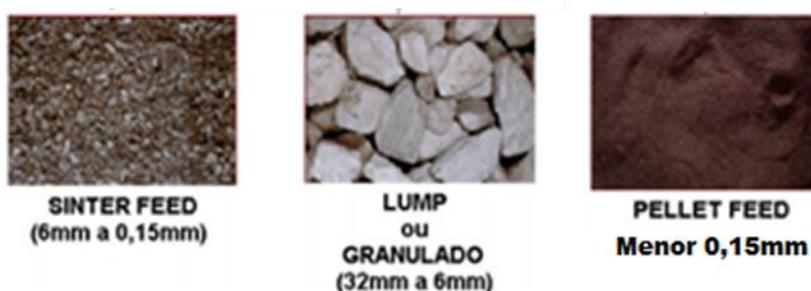
Em termos mineralógicos, o minério de ferro é formado em sua maior abundância por minerais de hematita, com tipos morfológicos distintos e grau de porosidade variando de pequeno a muito pequeno (micro poros), tanto internamente quanto externamente à sua estrutura.

Esta força que une as partículas numa cadeia múltipla forma uma estrutura capilar e são compostos em maior predominância por minerais hidrofílicos, provocando assim a retenção de água no minério, portanto o efeito de agregação.

3.2.3 Tipos de Minérios Expedidos

Em Carajás são expedidos vários tipos de minérios, como: Sinter Feed que representa a maior expedição com 97%, Pellet Feed com 1,79% e Lump ou Granulado com 1,20% conforme figura 21.

Figura 21: Tipos de Minérios Expedidos



Fonte: Arquivos Vale.

- **Sinter Feed:** É o minério de ferro mais expedido e sua diferenciação dentre os outros minérios e sua granulometria de que fica entre 6mm à 0,15mm
- **Lump ou Granulado:** Possui maior valor de mercado devido a sua granulometria que fica entre 32mm à 6mm
- **Pellet Feed:** É o minério mais fino, com granulometria menor que 0,15mm

3.2.4 Indicadores de performance de carregamento – Peso Médio e Tempo Médio de Carregamento

O Peso Médio de um vagão, como o nome já diz, é a capacidade média que um vagão pode carregar para que possa otimizar o sistema produtivo e logístico da indústria. O Peso Médio de um vagão deve respeitar sua capacidade máxima de carga, que é definida pela razão entre “Limite da via permanente pelo Limite do vagão, essa é a condição ideal para o aproveitamento dos seus ativos (vagões, locomotivas, pessoal, malha ferroviária, eficiência energética, etc.)

O Tempo Médio de Carregamento trata-se do tempo médio que um trem de carga demora para ser carregado, esse tempo é definido para maximizar a expedição, transporte e entrega da carga de minério.

Segundo Goes (2017) fluidez e coesividade realizado no minério de ferro com ênfase nas cangas, mostraram que a canga e os minérios argilosos apresentam coesividade mais elevada que as hematitas, devido à alta quantidade de materiais finos, por exemplo, goethita, junto a partículas maiores, no caso hematitas, tais características geram a formação de espaços vazios na superfície das partículas alterando o “relevo” da superfície da partícula acarretando em maior superfície específica, passando a apresentar “vales”/cavidades gerando uma falsa porosidade. E são nesses “poros” que pode se encontrar água retida. Além disso, o material fino terroso e argiloso, muito comum em cangas e máficas, dificultam a drenagem dessa água e de qualquer outra água que seja inserida em algum ponto do processo. Mineralogia, granulometria, quantidade de espaços preenchidos por água são características que contribuem para alta coesividade dos materiais argilosos, o que significa que em um espaço confinado, por exemplo chutes, esse material pode formar, com facilidade arcos coesivos. Porém em espaço mais amplos aberto como vagões de trem esses materiais, que apresentam quantidades mais elevadas de argilominerais apresentam alta capacidade de fluidez e dessa forma as cargas não chegam a gerar uniformidade do produto no vagão, dessa forma comprometendo a sensibilidade necessária para formação da carga e dessa forma atingir o Peso Médio otimizado sem comprometer o tempo de carregamento com paradas para ajuste de carga.

Os impactos de manuseio podem ser observados em entupimentos de chutes de transferência, alimentadores, silos e no processo de liquefação de sólidos. (GOES, 2017).

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingimento dos objetivos propostos, serão realizados levantamentos das ocorrências de manutenção, dos problemas operacionais e o período das ocorrências.

Além disto foi utilizado o método Seis Sigma, sistemático e organizado para melhoria de processos., produtos e de serviços que se baseiam em análises estatísticas afim de reduzir não conformidades dentro de um processo produtivo.

Utilizando o GPVM (Gestão de Produção Vale Mineração), temos acesso as bases históricas, sistema auditável e confiável. Os dados gerados pelo sistema podem ser exportados para o Excel e facilmente tabulados e manipulados e os apontamentos realizados são validados pelos operadores de turno conforme informações obtidas pelo rádio de comunicação. Conforme podemos ver na figura 22 a tela inicial do sistema é mostrada, onde inserimos o nome do usuário e senha para acesso.

Figura 22: Página inicial sistema GPV



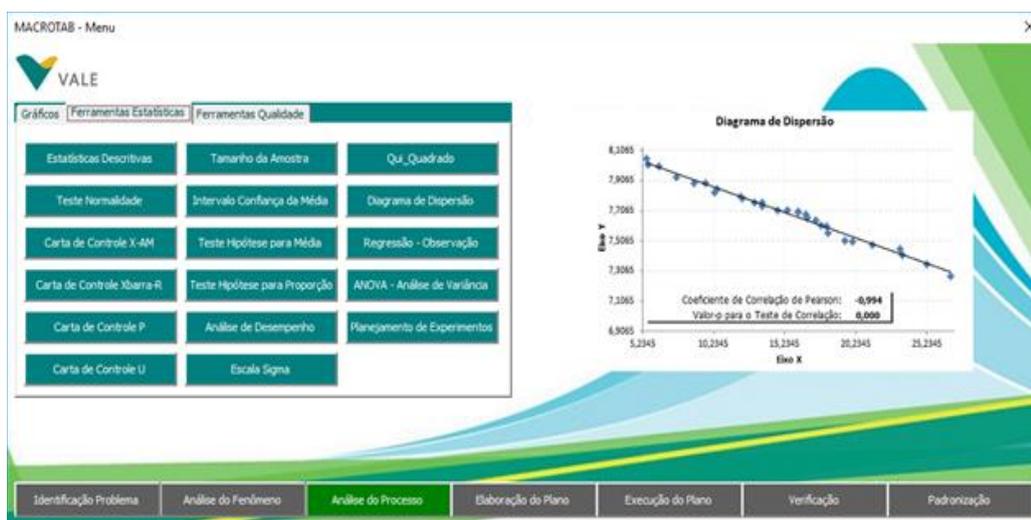
Fonte: Rede Vale.

Para esse estudo foram avaliadas as seguintes variáveis:

- Soma das horas de paradas dos silos por manuseio por milhões de toneladas
- Massa expedida total do período
- Equipamento gerador de paradas (EGP) são os silos de carregamento e foram contabilizadas todas as ocorrências de parada operacional e causas apontadas no campo (observação) como manuseio.
- Dados pluviométricos no período de análise

Para aplicação dos métodos estatísticos dos dados, foi utilizado macrotab, planilha com as ferramentas estatísticas que auxiliam no desenvolvimento das análises do trabalho, conforme nos mostra a figura 23.

Figura 23: Menu inicial macrotab



Fonte: Seis Sigma qualidade.

4.2 ESTUDO DE CASO

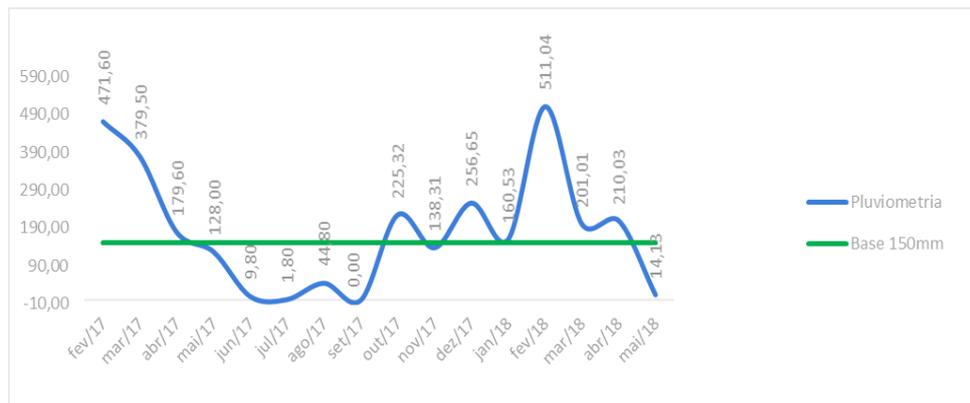
As perdas de produção e transporte causadas por problemas de manuseio de Minério de Ferro ao longo da cadeia produtiva do Corredor Norte, principalmente nos períodos chuvosos, vêm gerando prejuízos financeiros e riscos operacionais (pessoais e materiais). Este trabalho teve como foco a análise do manuseio do minério na frente da expedição de Serra Norte, considerando o período de dezembro de 2017 a abril de 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos métodos de análise de dados estatísticos aplicados no trabalho, serão apresentados os resultados e discussões dos levantamentos de dados realizados em relação ao problema, buscando uma priorização das causas pertinentes e sugestões de ações para reduzir os impactos no ciclo dos trens no corredor norte.

O levantamento do índice pluviométrico mensal, mostrado na figura 24, confirma os altos índices indicados no estudo de sazonalidade, para o período chuvoso. O pico de 225 mm no mês de outubro de 2017, foi desconsiderado uma vez que a chuva ficou concentrada no último dia do mês e de forma isolada.

Figura 24: Gráfico sequencial pluviometria x mês



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Entre os anos de 2017 em 2018, devido às questões das chuvas, houve um aumento de 32% no número de paradas de produção por manuseio, conforme levantamento no GPVM, o que contribuiu para uma perda de produtividade e consequentemente gerou uma perda potencial de expedição. Na tabela 2, onde nos mostram o ano, horas paradas, produtividade e capacidade perdida, pode ser visto que, houve um aumento de 12,28% nas horas de paradas, o que ocasionou uma perda de produtividade em torno de 1.120 Ton/h e uma perda potencial em massa nos dois anos de 11.825Kton.

Tabela 2: Perda Potencial Expedição

Expedição Serra Norte			
Ano	Horas Paradas	Produtividade (ton/h)	Capacidade Perdida (kton)
2017*	684,7	8.727,3	5.976
2018*	768,8	7.607,9	5.849

Fonte: Busines Case Seis Sigma.

Em Carajás, especialmente no período chuvoso na região (compreendido entre os meses de dezembro e abril), as paradas por impactos do manuseio de materiais estão entre as principais causas de paradas da Expedição. Na figura 25 pode ser visto um exemplo de vagões carregados e com bastante água. Reduzi-las é uma prioridade para o aumento da capacidade de expedição e redução de riscos.

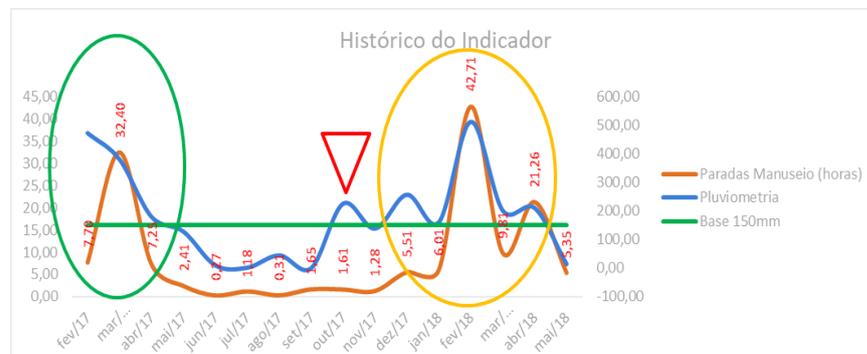
Figura 25: Vagões com excesso de umidade



Fonte: Arquivo pessoal.

Foi verificado também, o indicador de horas de paradas dos silos por manuseio / Mt expedidas, no período estudado (dez/17 a abril/18), variou entre 5,51 h/Mt e 42,71 h/Mt, com uma média de 17,06 h/Mt, conforme figura 26 que mostra a curva de tendência das horas de paradas, que acompanha o aumento e/ou a diminuição do índice pluviométrico ao longo dos meses.

Figura 26: Gráfico paradas manuseio x pluviometria

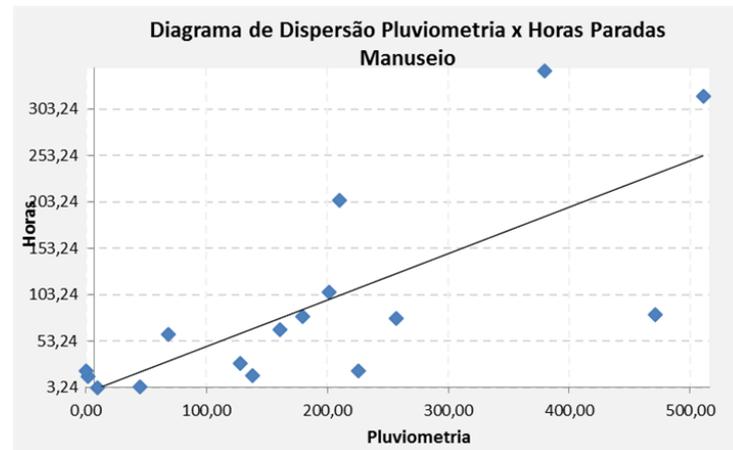


Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SERRA NORTE.

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) mede o grau ou intensidade da relação linear (e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa) entre duas variáveis X (pluviometria) e Y (horas de parada por manuseio).

No gráfico de dispersão (figura 27), observamos a correlação existente entre a pluviometria e as horas de silos paradas, onde o p-valor de 0,001 indicando uma correlação significativa entre as variáveis e o coeficiente de correlação Pearson de 0,737 indicando uma correlação significativa forte entre essas variáveis, conforme tabela de classificação.

Figura 27: Gráfico dispersão pluviometria x horas paradas manuseio



Coefficiente de Correlação de Pearson: **0,737**
Valor-p para o Teste de Correlação: **0,001**



Hipóteses

H0: $R=0$ >> não há correlação entre as variáveis

H1: $R < > 0$ >> há correlação entre as variáveis

Regra de decisão

Se p-Valor $\geq 0,05$, não rejeitar H0, ou seja, não existe correlação significativa entre as variáveis

Se p-Valor $< 0,05$, rejeitar H0, ou seja, existe correlação significativa entre as variáveis

CONCLUSÃO: Existe correlação significativa entre as variáveis

Intensidade da Correlação (Coeficiente de Correlação de Pearson - r)

$\{0,9 \leq r \leq 1,0\}$ ou $\{-1,0 \leq r \leq -0,9\}$ indica uma correlação muito forte.

$\{0,7 \leq r < 0,9\}$ ou $\{-0,9 < r \leq -0,7\}$ indica uma correlação forte.

$\{0,5 \leq r < 0,7\}$ ou $\{-0,7 < r \leq -0,5\}$ indica uma correlação moderada.

$\{0,3 \leq r < 0,5\}$ ou $\{-0,5 < r \leq -0,3\}$ indica uma correlação fraca.

$\{0,0 \leq r < 0,3\}$ ou $\{-0,3 < r \leq -0,0\}$ indica uma correlação desprezível.

CONCLUSÃO: O coef. de correlação de Pearson indica uma correlação forte

Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SERRA NORTE

Os dados são retirados do sistema GPV Mineração e compilados através de planilha excel e os apontamento realizados são validados pelos operadores de turno conforme informações obtidas pelo rádio de comunicação.

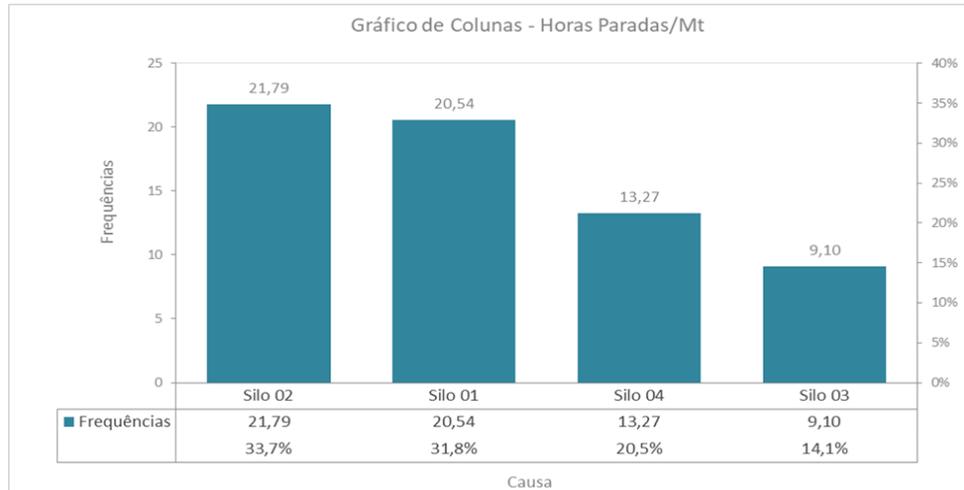
A estratificação será por equipamento gerador que são os silos de carregamento e priorizado as paradas operacionais por ajuste de carga no vagão por manuseio.

Analisando as horas paradas/Mt Expedidas de *Sinter Feed* por silo observa-se que os silos 1 e 2 tem mais horas de paradas/Mt expedidas diferenciando dos silos 4 e 3 que tem bem menos horas. O silo que mais expede *Sinter feed*, no período analisado, é o silo 03, e foi o que obteve menos horas de parada conforme (figuras 28 e 29).

Conforme explanado no capítulo 2, a concepção dos silos 1 e 2 são silos manuais volumétricos, com complemento de carga pelo silo toff. O silo 03 é um silo gravimétrico automático com menor desvio padrão e maior assertividade no carregamento. O silo 04 é um silo volumétrico com 3 comportas com concepção de operação em automático, assim, os silos

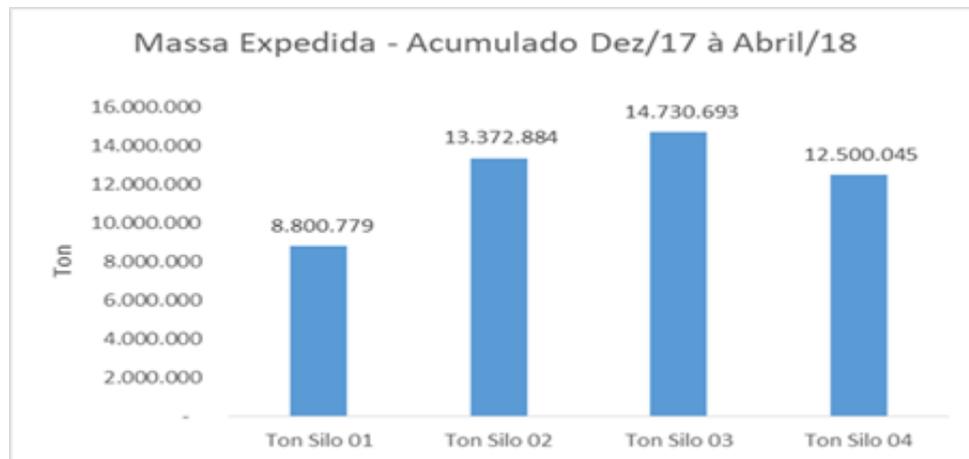
volumétricos e manuais apresentaram uma performance inferior ao silo gravimétrico automático, sendo que o silo volumétrico automático apresentou também uma performance melhor que os silos volumétricos manuais.

Figura 28: Gráfico horas paradas / Mt expedida



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

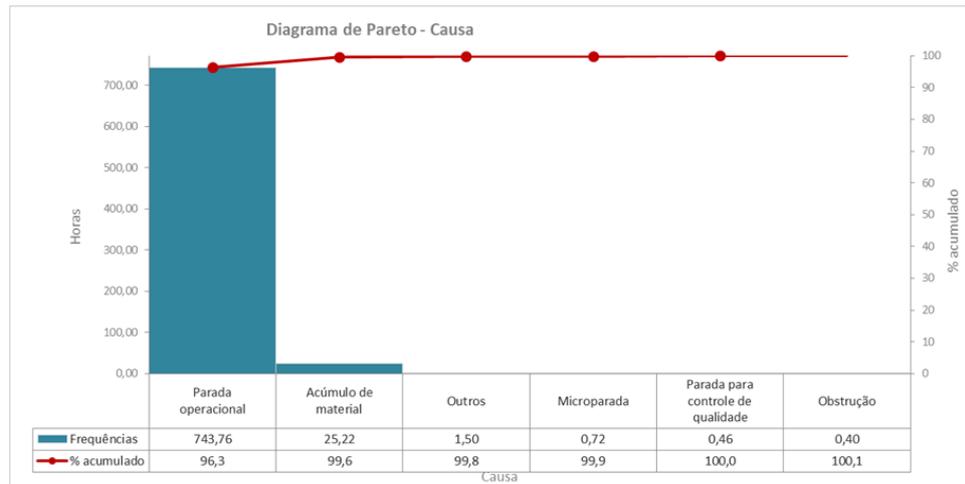
Figura 29: Massa Expedida Por Silo



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

No levantamento de causas apontadas através do diagrama de Pareto (figura 30), observamos que 96,3% das horas de paradas de manuseio estão classificadas como parada operacional.

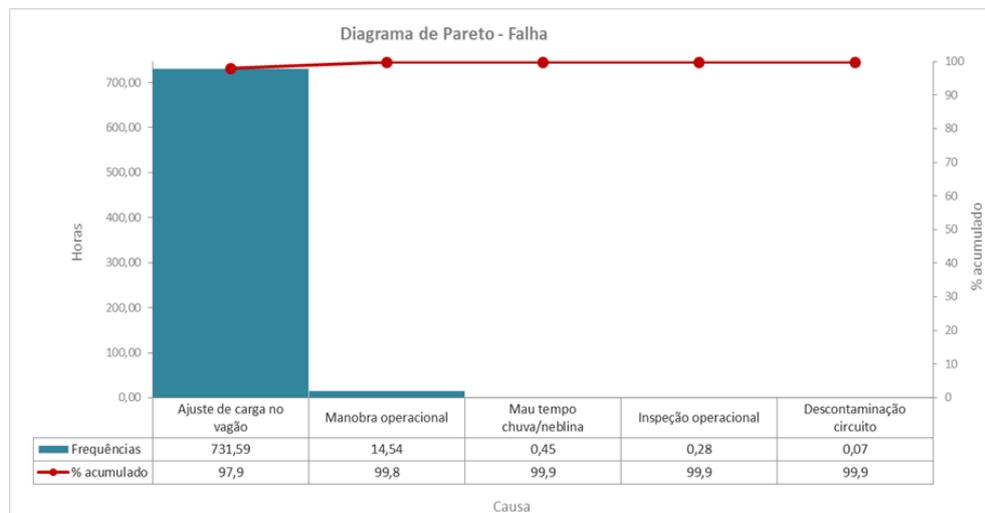
Figura 30: Gráfico Pareto Causa



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Estratificando as horas de parada operacional conforme mostrado na figura 31, observamos que 97,9% das falhas são por ajuste de carga no vagão.

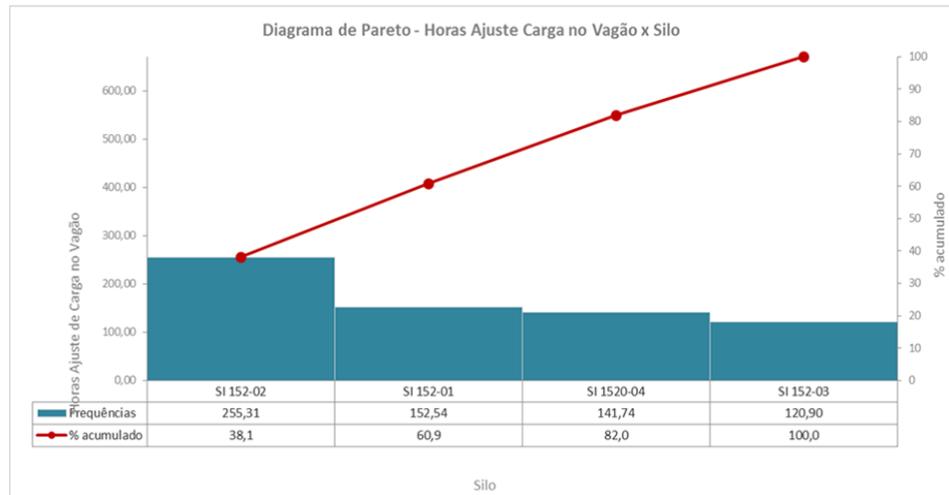
Figura 31: Gráfico Pareto Falhas



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Detalhando as ocorrências de horas de paradas de ajuste de carga no vagão por equipamento, observamos que o silo 02 é o principal gerador, porém o problema é sistêmico em todos os silos conforme indicado na figura 32.

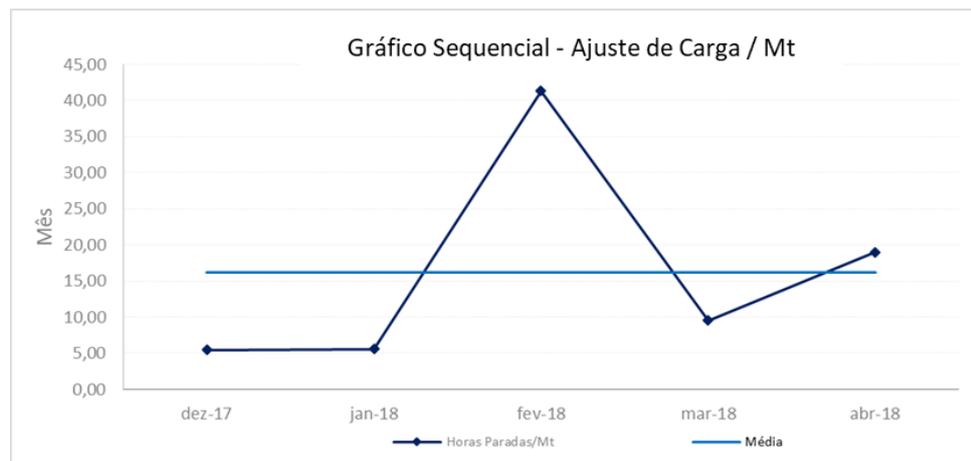
Figura 32: Gráfico Pareto Ajuste carga por silo



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

As horas de paradas por manuseio por milhões de toneladas, apropriado como causa ‘Ajuste de Carga no Vagão’ tem como média o valor de 16,18 horas/Mt expedidas, com o menor valor em dezembro/2017 com 5,47 h/Mt e o maior valor em fevereiro/2018 com 41,31 h/Mt. Os dados variam significativamente em relação à média de acordo com o gráfico sequencial da figura 33.

Figura 33: Gráfico Sequencial Ajuste Carga / Mt

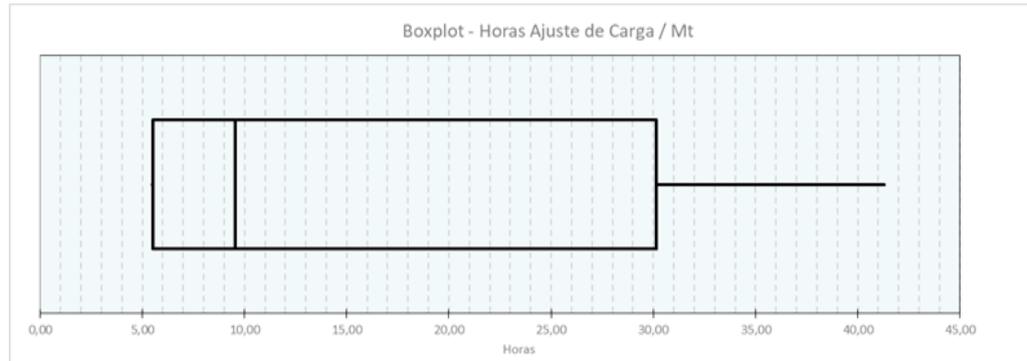


Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Através do gráfico boxplot da figura 34, percebe-se a ausência de outliers, ou seja, não temos pontos fora do máximo de 41,31 h/Mt e comprovando que não existem causas especiais para os dados de "Ajuste de Carga".

Figura 34: Box Plot

Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo
Ajuste de Carga / Mt	5	16,18	15,09	5,47	5,52	9,54	30,16	41,31



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1 LEVANTAMENTO DAS CAUSAS

5.1.1 Causas Potenciais

Usando o método do *brainstorm*, com apoio de uma equipe multidisciplinar, ou seja, profissionais com grande experiência em processos de manutenção e operação, focados no problema “*Ajuste de Carga no Vagão*” por manuseio, foram levantadas 43 causas potenciais e com uma matriz de priorização que leva em consideração, impacto no indicador, facilidade na implantação, poder de atuação e impacto na segurança, foram priorizadas 19 causas com pontuação acima de 150 pontos representadas na tabela 3.

Tabela 3: Matriz Causas Priorizadas

Ajuste de Carga	Causas Levantadas	Critérios de Priorização				Total
		Impacto no TMC	Facilidade na Implantação	Poder de Atuação (Autonomia para resolver o problema)	Impacto na Segurança	
		Peso do Critério →	10	8	7	
1	Cone do silo 01 com revestimento de cerâmica, CDP e chock bar (projeto construído com CDP aletado)	7	3	7	7	178
2	Cone do silo 02 com revestimento de cerâmica, CDP e chock bar	5	3	7	7	158
3	Chapas de revestimento não calandradas nos silos	7	5	5	3	160
4	Revestimento do silo 04 fora do padrão com várias qualidades de revestimento	5	3	7	7	158
5	Umidade do minério na usina 1	7	3	5	7	164
6	Controle de nível de silo ruim no silo 04 - instrumentos	5	7	7	7	190
7	Recuperação de pilhas com alta umidade - 4 corte	7	7	7	5	200
8	Transportadores da expedição sem cobertura	5	5	7	3	154
9	Falha operacional - busca pelo peso médio	7	7	7	3	190
10	Impacto do manganês nos tempos de carregamento e manuseio	7	5	5	3	160
11	Falta de drenagem nos pátios	7	5	5	7	180
12	litologia do material - % de alumina e manganês	7	5	3	7	166
13	Baixa utilização do % de automático (silo 04) - em manual prejudica o carregamento	5	7	7	3	170
14	metodo de empilhamento e recuperação no periodo chuvoso	7	7	7	7	210
15	uso de canhão de ar e água para o manganês	7	5	7	3	174
16	mangueiras abertas no circuito da usina	7	5	5	7	180
17	Defeito nas comportas e Sistema hidráulico do topoff - baixa performance	5	7	7	3	170
18	% canga na alimentação da usina	7	7	3	7	182
19	Falta de local para desaguar o circuito da expedição (desaguar no vagão)	7	7	3	7	182

Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.2 Causas Fundamentais

Conforme vimos acima, das 19 causas priorizadas na matriz, foram comprovadas somente 10, comprovação evidenciada no capítulo 5.1.3 (Comprovação das Causas Fundamentais) se tornando causas fundamentais e representadas na tabela 4.

Tabela 4: Causas Fundamentais

Ajuste de Carga	Causas Fundamentais
Causa 01	Cone do silo 01 com revestimento de cerâmica, CDP e chock bar
Causa 02	Cone do silo 02 com revestimento de cerâmica, CDP e chock bar
Causa 03	Revestimento do silo 04 fora do padrão com várias qualidades de revestimento
Causa 04	Controle de nível de silo ruim no silo 04 - instrumentos
Causa 05	Método de empilhamento e recuperação no período chuvoso
Causa 06	Transportadores da expedição sem cobertura
Causa 07	Falta de drenagem nos pátios
Causa 8	Mangueiras abertas no circuito da usina
Causa 9	Defeito nas comportas e Sistema hidráulico do topoff - baixa performance
Causa 10	Umidade do minério na usina 1

Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.3 Comprovação das Causas Fundamentais

5.1.3.1 Causa 01 a 03

Os diferentes tipos de revestimento sem padronização no interior dos cones do silo 01, silo 02 e silo 04 impactam na escoabilidade do material, fazendo com que os materiais fiquem agregados nas paredes, dificultando a queda do material no vagão, conforme pode ser visto na figura 35. Assim é importante que as equipes de engenharia, manutenção e operação se planejem para manter a padronização conforme projeto original dos silos, que contemplam um revestimento de CDP liso, com isso podemos melhorar a escoabilidade do material.

Outro ponto a ser definido é a periodicidade de troca desses revestimentos, pois tomou-se a decisão de colocar diferentes revestimentos em função de uma durabilidade maior e menos intervenção de manutenção.

Figura 35: Fotos Internas Cones Silos

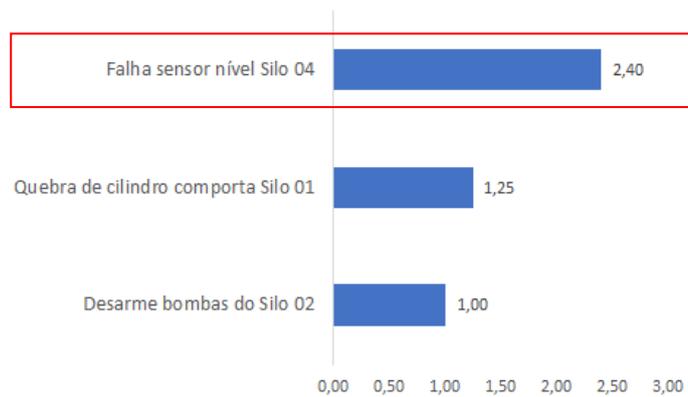


Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.3.2 Causa 04

Foi comprovado através do perfil de perdas do silo 04 no mesmo período do estudo, que foram cadastrados 2,40 horas de parada no carregamento por falha no sensor de nível conforme podemos ver no gráfico da figura 36.

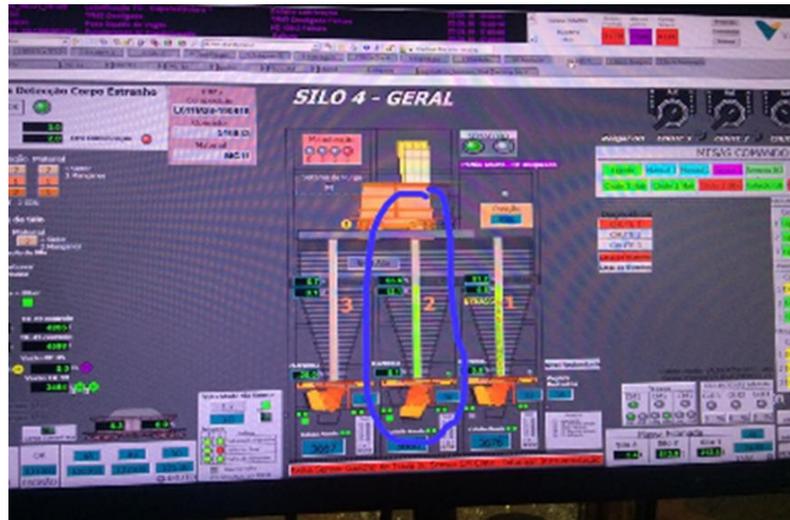
Figura 36: Perfil de Perdas



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Essa causa também foi comprovada na área, o chute 2 parou vazio acusando nível de 67% conforme figura 37, tela do supervisório de operação do silo, impactando na operacionalidade do equipamento, ou seja, causando paradas repentinas e passando vagões com carga abaixo, sendo necessário recuo para completar carga. Neste caso, é importante uma verificação sobre a estratégia de manutenção deste item e se está sendo executado. E caso seja pertinente, pesquisar no mercado um instrumento melhor que garanta confiabilidade no controle de nível desse silo.

Figura 37: Foto Supervisório Silo 04

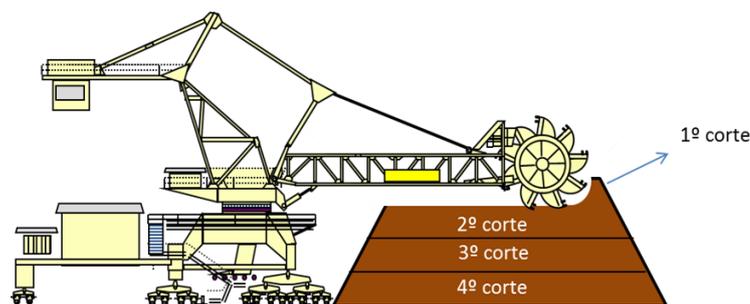


Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.3.3 Causa 05

Método de recuperação em patamar (figura 38), consiste na retomada da pilha em fatias, começando pelo topo até a base final com cortes de acordo com a altura da pilha. A recuperação nesse método garante uma maior produtividade das recuperadoras, mas em contrapartida deixa exposta uma área maior para acúmulo de água em caso de chuvas e falta de blending na recuperação da pilha.

Figura 38: Recuperação em Patamar



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Melhor método de recuperação para esse período é de bancadas curtas, conforme pode ser visto na figura 39, que consiste na retomada da pilha em vários cortes curtos, deixando uma área menor para acúmulo de água em caso de chuvas e melhorando o blend do material.

Figura 39: Recuperação em bancada

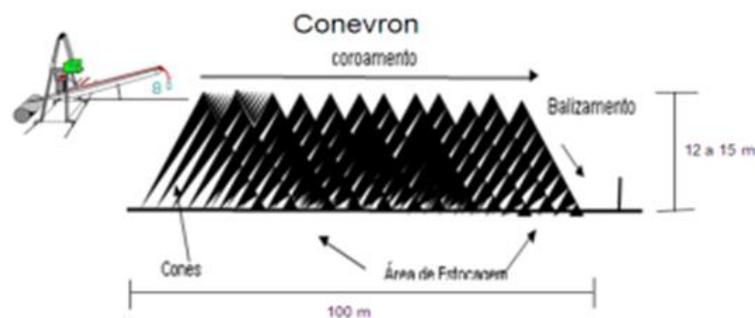


Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Para o período chuvoso os métodos de empilhamento são mais restritivos devido ao risco de ocorrência de desmoronamentos de pilha. O controle da altura e teor de umidade das pilhas são fatores importantes para a formação das mesmas em período chuvoso. Visando a mitigação de riscos de danos à vida humana e materiais/ambientais.

O empilhamento em conevron consiste na operação com a lança parada, formando cones simples e no final fazendo o coroamento, fechando a pilha (figura 40). Não possibilita a homogeneização dos materiais que compõem a pilha e concentra partículas grossas na base e finas no topo da pilha, tornando essa alternativa ruim para o processo.

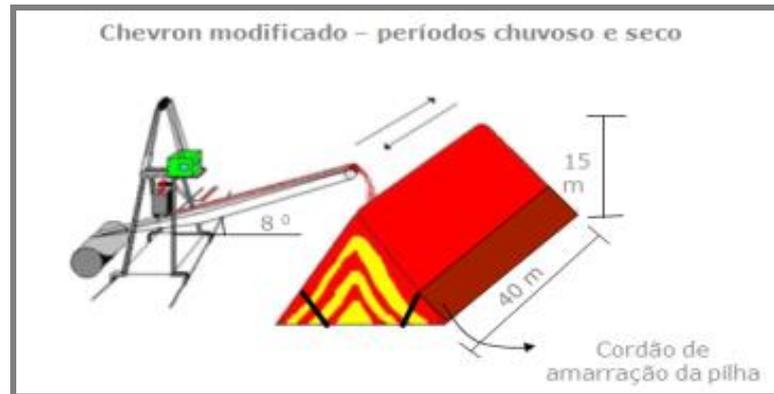
Figura 40: Estocagem em Conevron



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Melhor método de empilhamento para esse período é o Chevron conforme mostra a figura 41, que consiste em fazer o empilhamento por camadas, transladando a empilhadeira ao longo do pátio, do início para o final e vice-versa. Buscando melhorar a estabilidade das pilhas e reduzir a absorção de água de chuva.

Figura 41: Estocagem em Chevron

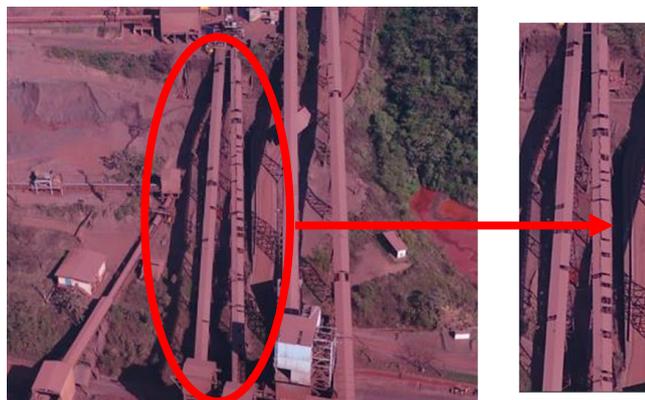


Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.3.4 Causa 06

Durante o período chuvoso quando transportadores que estão sem cobertura (figura 42), acumulam água em toda sua extensão e posteriormente é necessário realizar o desague dentro dos silos e essa mistura de água com o minério potencializa a umidade, agravando o manuseio e causando sobrecarga nos vagões. Assim é importante a manutenção dos telhados dos transportadores e incluir no plano de manutenção do ativo esse item como prioridade, com intuito de não deixar degradar e com o tempo dificultar o retorno ao padrão original.

Figura 42: Transportadores com telhado danificado



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.3.5 Causa 07

A drenagem de pátios é de extrema importância para garantir, principalmente no período chuvoso, a saída da água de chuva e da drenagem natural das pilhas.

A falta de drenagem nos pátios gera acúmulo de água livre nas saias e base das pilhas potencializando a umidade conforme pode ser visto na figura 43. Neste caso é sugerido realizar um estudo com apoio de todas as disciplinas, afim de restabelecer ou também melhorar as drenagens de fundo dos pátios, abertura de canaletas e rotinas de manutenção e propor melhorias no sistema caso seja pertinente.

Figura 43: Drenagem pátios



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.3.6 Causa 08

O uso de mangueiras conforme nos mostram a figura 44, para limpeza e desobstrução de chutes na usina agrava a umidade do minério impactando a estocagem e expedição com aumento de manuseio, assim faz-se necessário buscar outras alternativas e tecnologias, como ar comprimido e canhões de ar nos chutes, onde ocorrem obstruções.

Figura 44: Mangueiras ligadas chute da usina



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.3.7 Causa 09

Durante período chuvoso os silos geraram grandes paradas no carregamento por impacto de manuseio em função da baixa confiabilidade nas comportas e nos sistemas hidráulicos conforme pode ser visto no gráfico da figura 45, embora os planos de manutenções desse sistema estão sendo executados, é sugerido aqui uma revitalização em todos os sistemas hidráulicos das compostas dos silos, se necessário até a substituição por um mais robusto.

Figura 45: Gráfico de paradas sistema hidráulico silos



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.1.3.8 Causa 10

Impacto no empilhamento em função da alta umidade na produção da usina, impossibilitando a estocagem, como é mostrado na figura 46.

Figura 46: Umidade na formação de pilhas no pátio



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

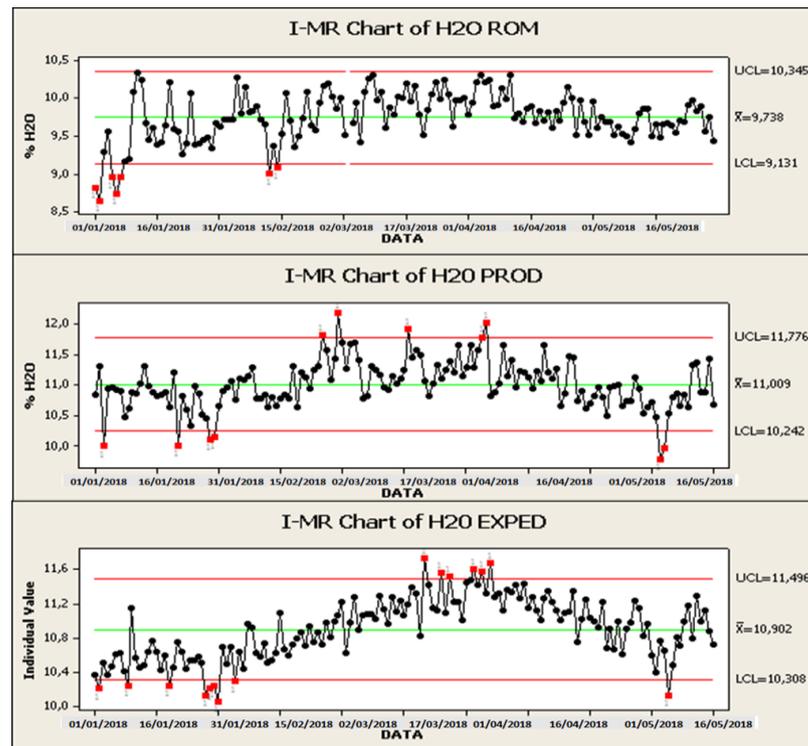
Conforme cartas de controle (figura 47), com amostras coletadas do minério nas 3 fases do processo (ROM, Produção e Expedição), durante o período do estudo, podemos comprovar que existem causas comuns e especiais, com umidade no ROM com picos próximo ao limite superior de 10,34%, na produção com picos acima do limite superior de 11,77% e na expedição com picos acima do limite superior de 11,49%.

Os problemas de parada no período chuvoso é um fato, então sugiro ações como estudo da possibilidade de uso (caso não exista) de filtragem nos processos ou secagem (redução da umidade) do minério ou parte dele para mistura na rota de processo, buscar iniciativas como cobertura dos pátios de produtos e cobertura de vagões, para minimizar estes impactos.

A variabilidade dos parâmetros de controle dentro de um movimento de expedição, aponta para a necessidade de se melhorar a homogeneidade do produto expedido e ampliar o nível de controle do processo.

É necessário ainda destacar que muitas das falhas de manuseio podem ser minimizadas com o cumprimento de procedimentos operacionais citados nas causas fundamentais de número 5,6,7,8 e 10 que são: métodos de estocagem e recuperação, sistemas de drenagem de pátios, cobertura de transportadores, eliminação de adição de água nos circuitos da usina e controle da umidade nas entradas ROM, Produção e Expedição.

Figura 47: Cartas de Controle Umidade H2O



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.2 AÇÕES DE CAMPO

No ano de 2019 ainda ocorreram grandes impactos em relação ao manuseio de material nos silos, inclusive maior que o período estudado no trabalho, porém algumas ações e sugestões propostas no trabalho foram aplicadas posteriormente, uma vez que ainda estavam em fase de implantação, por serem obras estruturantes e de grande porte. Com isso, os resultados mais satisfatórios foram obtidos no período chuvoso de 2020, cujo os impactos de paradas foram reduzidos de 19,78 h/Mt no período de nov. 18 a abril 19 para 10,93h/Mt em 2020, conforme podemos confirmar no gráfico de horas de paradas por milhões de toneladas expedidas (figura 48).

Figura 48: Gráfico Linha



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.2.1 Causa 01 – Troca de Revestimento Silo 04

Para realizar a padronização dos revestimentos foi necessário realizar um teste com o nosso minério atual, testando vários tipos de revestimentos do mercado para comprovação da solução, através da empresa Jenike & Johanson e foi validado o revestimento CDP 4666 (figura 49).

Figura 49: Teste de Revestimento



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

Revitalização dos revestimentos dos cones do Silo-1520-04 com CDP liso de código 4666 conforme figura 50.

Figura 50: Revestimento CDP Liso no Silo 04



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.2.2 Causa 07 – Rebaixamento dos Pátios

Realizado rebaixamento dos pátios de produto, retirando o material acumulado ao longo dos anos e reestabelecendo as drenagens de fundo conforme figura 51.

Figura 51: Drenagens Pátios



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

5.2.3 Causa 09 – Revitalização Sistema Hidráulico Silos

Realizado revitalização completa dos sistemas hidráulicos dos silos de carregamento, deixando uma operação confiável e sem falhas conforme figura 52.

Figura 52: Sistema hidráulico revitalizado



Fonte: Seis Sigma – Frente Expedição SN.

As ações acima requerem que sejam mantidas as padronizações e atividades de rotina para a continuidade operacional e além destas ações, outros estudos e desenvolvimentos devem ser continuados para a melhoria do processo e mitigação das falhas abordadas.

6 CONCLUSÕES

Foi possível verificar que o ajuste de carga em vagões nos silos de Carajás é um problema sistêmico e que se intensifica no período chuvoso, representando 97,9% das paradas operacionais.

Os silos 1 e 2, que são volumétricos e manuais representam 60,9% das horas de paradas e que associados aos problemas de exaustão das minas, leva a uma necessidade de estudo da necessidade de uma nova concepção/projeto de silos adequados para as condições de processo impostas.

As causas indicadas nos itens 1 a 3, 4, 8 e 9 (revestimentos dos silos, instrumentos, limpeza e sistema hidráulico respectivamente) mostram que os critérios de manutenção e critérios de projeto devem ser bem estabelecidos pelas equipes envolvidas, para que o plano de manutenção seja o mais adequado possível e assim evitar os impactos decorrentes das paradas, principalmente no período estudado (chuvoso), onde os equipamentos são mais exigidos e apresentam mais problemas, gerando corretivas e instabilidade no processo de carregamento de vagões.

Os procedimentos operacionais já conhecidos e que oferecem maior confiabilidade para o processo devem ser cumpridos como diretrizes operacionais e que devido ao período chuvoso e material úmido são críticos para o sistema.

Estudos e iniciativas para reduzir a umidade do minério, também devem ser conduzidas para que possibilite a melhoria do processo e continuidade operacional.

Através do método utilizado e com a integração das equipes, foi possível identificar causas fundamentais e que algumas ações sobre as causas, possibilitaram a redução de falhas por ajuste de carga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, A. L. D. P. **Análise do comportamento estático e dinâmico de silos.** Monografia (Curso de Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia - GO, 2010.

Apostila ReliaSoft G400A Weibull e Análise de dados de vida.

BRANCO, José Eduardo e FERREIRA, Ronaldo. **Tratado de Estradas de Ferro.** Vol. II. 533 p., 2002.

BALBINOT, I.F. **Estudo comparativo de performances entre um silo volumétrico e um silo gravimétrico de síter feed em uma mineração de ferro no Sudoeste do Pará.** Trabalho Conclusão de Curso, Unifesspa – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Marabá, 2019.

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro I.** 258 p.: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., ISBN 85-216-0011-9, Rio de Janeiro, 1979.

COIMBRA, M.V. **Modos de Falhas dos Componentes da Via Permanente Ferroviária e seus efeitos no Meio Ambiente.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CHAVES, A.P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios:** Manuseio de Sólidos Granulares. Vol. 5. 2ª Ed. Oficina de Textos Editora, São Paulo – SP, 2012.

CURY, B.Q. **Pesquisa das Anomalias nos Carregamentos de Minério de Ferro da MRS Logística S.A.** Monografia (Engenharia Ferroviária). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2006.

Chase, G. (2004) **Solid notes on hopper design.** Solids processing course, University of Akron.

CONNOR, P.D.; **Practical reliability engineering.** 4 ed., Ed. Willey, England, 2002. Pulcini, G, Modeling the failure data of a repairable equipment with bathtub type failure intensity. Reliability Engineering and System Safety, 71 (2001), 209-218.

CARTER, A. D. S.; **Mechanical reliability**. 2nd ed., Ed. Macmillan, London, 1986.

DELCAN ARUP. **Rolling stock technology assessment for Metrolinx go 279 electrification**. Toronto, Canadá: Metrolinx, 2010.

FREITAS, E.G.A. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP. São Carlos – SP, 2001.

FREITAS, M. A.; COLOSIMO, E. A. **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, série Ferramentas da Qualidade n. 12, p. 309, 1997.

GUIMARÃES, M.A. **Manuseio do minério de ferro na indústria extrativa mineral**. Dissertação de Mestrado profissional em Engenharia de Minas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

GOES, F. **Fatores que podem influenciar no Peso Médio e no Tempo Médio de Carregamento**. Carajás, 2017.

HAMEED, Z.; VATN, J.; HEGGSET, J. Challenges in the reliability and maintainability data collection for offshore wind turbines. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 36, n. 8, p.2154-2165, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.008>

JANIKE, A. W., (1964) **Storage and flow of solids**. Bulletin No. 123, University of Utah, Salt Lake City.

KOCK, M, A. **Dimensionamento de um silo metálico com fundo plano para armazenamento de soja**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco – PR, 2018.

MOUBRAY, J. **Reliability-center Maintenane**. 2 ed Industrial Press Inc. New York EUA. 1997.

MORAES, P. H. A. **Manutenção Produtiva Total: Estudo de caso em uma empresa automobilística**. Taubaté. 2004.

MARCORIN , W. R & LIMA , C. R. C. Análise dos Custos de Manutenção e de não manutenção de Equipamentos Produtivos. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v.11, n. 22, p35-42.

McHALE, Bill. **BatchMaster Iron Ore Loadout: Totally Automated Train Loading**. 2004.

MORAES, B. C. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

MIRANDA, J.A.G. **Efeito da Sazonalidade Climática Regional na Produção de Minério de Ferro em Carajás** - Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, ITV – Instituto Tecnológico Vale. Belém, 2016.

MOVIMAK EMPILHADEIRAS. **Conheça os 4 principais equipamentos para movimentação de cargas**, 2017.

PIRES, A.C. **Estudo do escoamento de sólidos a granel em silo – caso da estilha**. Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em engenharia mecânica, FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra, 2015.

PALMA, G. **Pressões e fluxos em silos esbeltos ($h/d > 1,5$)**. Tese de mestrado (Escola de Engenharia de São Carlos). Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2005.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

PINHEIRO LOPES, J.N. **Análise Teórico-Experimental das Forças Verticais e de Atrito em Silos Cilíndricos**. Pós-Graduação Nível Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.

RIVES, F.O., PITA, A.L. e PUENTE, M.J.M. **Tratado de Ferrocarriles I**. Editora Ruerda, Madri (Espana), 1977.

RIBEIRO, C. R. **Processo de Implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM) na Indústria Brasileira.** Monografia apresentada no Departamento de Economia, Confiabilidade e Administração. Universidade de Taubaté, 2003.

ROBERTS, J. **Department of Industria and Engineering Technology.** Texa A &M University-Commerce. 1997.

ROTTER, J. M. **Guide for the economic design of circular metal silos.** London: Spon Press, 28p. 2001.

ROTTER, J., (2008) **Bulk solids handling.** Blackwell Publishing Ltd, Oxford.

SCHENCK PROCESS GROUP. **Sistema de Carregamentos de vagões.** Apresentação publicada no site DOCPLAYER, 2018.

SANTOS, Tanara; AGUIAR, Sandro. **Trabalho Seis Sigma: Aumento do Tempo Médio Entre Falhas Mtbf Britagem Terciária Usina 2.** 2015/2016.

TOLEDO DO BRASIL. **Entenda a diferença entre Dosagem Volumétrica e Gravimétrica.** Artigo publicado na página da empresa, 2019.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2006.

VILLAR, J. C. E. et al. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1574–1594, 2009.