

FUNDAÇÃO DOM CABRAL  
PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DE NEGÓCIOS  
VALE S.A.

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO OPERACIONAL DE TRANSPORTE DOS  
VAGÕES DE MINÉRIO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS – VALE**

**DEYVISON RIBEIRO DE ARAUJO  
MARCELO AUGUSTO FAZZA DOS SANTOS  
PAULO HENRIQUE SANTOS DO NASCIMENTO**

Belém  
2018

**DEYVISON RIBEIRO DE ARAUJO  
MARCELO AUGUSTO FAZZA DOS SANTOS  
PAULO HENRIQUE SANTOS DO NASCIMENTO**

**OTIMIZAÇÃO DO CICLO OPERACIONAL DE TRANSPORTE DOS  
VAGÕES DE MINÉRIO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS – VALE**

Projeto apresentado à Fundação Dom Cabral, como requisito parcial à conclusão do Programa de Especialização em Gestão de Negócios como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Especialista.

Professor Orientador: Carlos Renato Seabra

Belém  
2018

### **Dedicamos este Projeto**

As nossas amadas famílias pelo apoio incondicional.

Aos nossos líderes da Vale pela confiança e investimento.

À Vale pela oportunidade de desenvolvimento profissional e como pessoa.

Às nossas equipes que souberam conduzir os processos com maestria durante  
nossas ausências.

Aos educadores da Fundação Dom Cabral pela enorme disseminação de  
conhecimento proporcionada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus pela nossa capacidade cognitiva de desenvolver projetos.

Às nossas famílias, mães, pais e irmãos que estão sempre conosco.

Às nossas esposas, filhas e filho pela compreensão na ausência.

À Vale.

À Estrada de Ferro Carajás por nos proporcionar aprendizados e amigos eternos.

Ao SEST/SENAT.

À Fundação Dom Cabral representada por seus profissionais e professores.

Ao Professor Carlos Renato Seabra pela orientação do trabalho.

## RESUMO

Com o aumento da demanda de produção de minério de ferro da Vale é necessário garantir um sistema logístico capaz de transportar esse volume da mina de ferro no Pará ao porto de exportação no Maranhão. Entre esses dois sistemas produtivos encontra-se a Estrada de Ferro Carajás, que é a ferrovia responsável por esse transporte.

Esse trabalho do grupo tem como objetivo otimizar o ciclo operacional de transporte dos vagões de minério da Estrada de Ferro Carajás, por meio de alavancas de redução de paradas indesejadas e diminuição do chamado *transit time*, tempo de percurso. O desenvolvimento das iniciativas se deu por intermédio da identificação de alavancas existentes no Mapa Estratégico da direção e priorizadas conforme as suas relevâncias. Os estudos de *benchmark*, permitiram reconhecer as oportunidades de melhoria em comparação com outras ferrovias com as características semelhantes à Estrada de Ferro Carajás.

Por fim, o presente estudo, desenvolveu três oportunidades de projetos, direcionadas à otimização do ciclo operacional, que deverão proporcionar ganhos significativos à operação do ciclo de vagões da EFC.

**Palavras-chave:** Ciclo. Vagões. Trem. EFC.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Chegada do primeiro trem de minério na EFC.....	20
Figura 2	– Traçado EFC no território nacional.....	21
Figura 3	– Construção do Porte do rio Tocantins .....	21
Figura 4	– Implantação do último trilho na EFC .....	22
Figura 5	– Cerimônia de Inauguração da EFC .....	22
Figura 6	– Volume transportado e projeções na EFC .....	23
Figura 7	– Via Permanente de uma Ferrovia.....	24
Figura 8	– Ciclo simplificado do transporte ferroviário.....	27
Figura 9	– <i>Headway</i> simplificado do transporte ferroviário.....	33
Figura 10	– Extensão da Malha Ferroviária Mundial. ....	39
Figura 11	– Mapa Ferroviário de Carga Brasileiro.....	40
Figura 12	– Critério de priorização Matriz CEB .....	55
Figura 13	– Trem de minério tipo na EFC .....	57
Figura 14	– Trem com configuração 660 na EFC.....	57
Figura 15	– Diagrama unifilar dos elementos de ferrovia .....	58
Figura 16	– Esquemático de ferrovia de linhas singelas e pátios de estacionamento.....	59
Figura 17	– Esquemático de ferrovia em processo de duplicação .....	60
Figura 18	– Esquemático de ferrovia com trecho duplicado.....	60
Figura 19	– Processo de <i>helper</i> dinâmico na EFC .....	62
Figura 20	– Posicionamento do EOT no último vagão do trem carregado .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Produção de Transporte Ferroviário de Cargas .....	41
Tabela 2	– Produção de Transporte Ferroviário de Cargas por Concessionária .....	41
Tabela 3	– Velocidade Média Comercial por Concessionária .....	42
Tabela 4	– Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da MRS Logística.....	42
Tabela 5	– Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da FCA (VLI Sudeste).....	43
Tabela 6	– Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da FNS (VLI Tramo Norte).....	43
Tabela 7	– Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da EFVM.....	43
Tabela 8	– Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da EFC.....	44
Tabela 9	– Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da MRS Logística.....	44
Tabela 10	– Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da FCA (VLI Tramo Sudeste).....	45
Tabela 11	– Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da FNS (VLI Tramo Norte).....	45
Tabela 12	– Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da EFVM .....	46
Tabela 13	– Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da EFC .....	46
Tabela 14	– Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da MRS Logística .....	47
Tabela 15	– Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da FCA (VLI Tramo Sudeste) .....	47
Tabela 16	– Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da FNS (VLI Tramo Norte) .....	48
Tabela 17	– Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da EFVM .....	48

Tabela 18 – Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da EFC .....	49
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Comparação entre tipos de circulação .....	51
Quadro 2	– Comparativo de tempo e velocidade por tipo de trens .....	52
Quadro 3	– Velocidade Média Comercial da EFC.....	53
Quadro 4	– Matriz de priorização CEB da EFC.....	56
Quadro 5	– Cronograma de remodelação dos pátios de estacionamento no projeto sinal verde.....	61
Quadro 6	– Comparativo entre distância e velocidade relativas .....	63

**LISTA DE ABREVIATURAS/ SIGLAS**

AC	– <i>Alternate current</i>
AMV	– Aparelhos de mudança de via
ANTF	– Agência Nacional de Transporte Ferroviário
ANTT	– Agência Nacional de Transporte Terrestre
CCO	– Centro de Controle Operacional
CEB	– Custo, Esforço e Benefício
DC	– <i>Direct current</i>
EFC	– Estrada de Ferro Carajás
EFVM	– Estrada de Ferro Vitória-Minas
EOT	– <i>End Of Train</i>
ETA	– <i>Expected Time Arrive</i>
FNS	– Ferrovia Norte Sul
MRS	- Minas, Rio e São Paulo Logística
RFSP	– Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará
TFCJ	– Terminal Ferroviário de Carajás
TMPM	– Terminal Marítimo de Ponta da Madeira
VLI	– Vale Logística Integrada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Problema de Pesquisa	14
1.2	Justificativa da escolha do problema a ser trabalhado	14
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
1.4	Relevância do Projeto	15
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REALIDADE ATUAL DA EMPRESA</b>	<b>18</b>
3.1	VALE	18
3.2	Estrada de Ferro Carajás	20
<b>4</b>	<b>BASES CONCEITUAIS</b>	<b>24</b>
4.1	Ciclo médio	26
4.2	Dimensionamento de recursos e ativos	27
4.3	Dimensionamento de maquinistas	29
4.4	Dimensionamento de locomotivas	30
4.5	Dimensionamento de vagões	31
4.6	Dimensionamento de via permanente	32
4.7	Capacidade de transporte	33
4.8	Cálculo da frota para ciclo de vagões	35
<b>5</b>	<b>BENCHMARKING REALIZADO / REALIDADES ORGANIZACIONAIS</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>MODELO CONCEITUAL</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>PROPOSTA DE SOLUÇÃO</b>	<b>55</b>
7.1	Gatilho de Formação do Trem 660 vagões	56
7.2	Projeto Sinal Verde	58
7.3	Velocidade de acoplamento do Helper Dinâmico	62
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>66</b>
	REFERÊNCIAS	69
	GLOSSÁRIO	70

## 1 INTRODUÇÃO

A VALE é uma empresa brasileira privada de capital aberto, presente em aproximadamente 30 países ao redor do mundo, que ocupa o 1º lugar na produção mundial de minério de ferro, pelotas e níquel. (VALE, 2018).

O negócio principal da VALE é a mineração, com atuação em vários segmentos como minério de ferro, níquel, carvão, cobre, manganês e ferroligas. Destes, o minério de ferro ocupa uma posição privilegiada, sendo o principal produto da companhia. As minas de minério de ferro da VALE estão localizadas no Brasil e dentre essas minas, as minas de Serra Norte e Serra Sul, localizadas respectivamente nas cidades de Parauapebas e Canaã dos Carajás, ambas no estado do Pará, têm o maior volume de produção da empresa, além de possuírem o minério com a melhor qualidade do mundo. Com intuito de escoar toda esta produção do Sistema Norte, existe uma grande cadeia de logística integrada, formada por uma ferrovia, conhecida como Estrada de Ferro Carajás (EFC) e um porto localizado em São Luís, no Maranhão denominado Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM).

O volume projetado do Sistema Norte será o mais expressivo da VALE nos próximos anos, chegando a representar praticamente 65% do total de produto comercializado para o mercado mundial. As projeções de transporte de minério e carga geral na ferrovia Carajás se concretizaram e chegaram a relevante marca em 2017 de aproximadamente 186 milhões de toneladas, as novas projeções conforme o planejamento estratégico da empresa aponta números na casa de 250 milhões de toneladas transportadas até 2022.

Segundo Montenegro (2016), o verdadeiro valor construído em uma organização se dá através da busca incansável da excelência operacional. Além de ser um fator de sobrevivência atualmente nas empresas. O presente trabalho é direcionado para o elo dessa importante cadeia logística nacional apresentada anteriormente: a Estrada de Ferro Carajás. O objetivo desse projeto aplicativo é otimizar o Ciclo Operacional de Vagões com a redução e/ou eliminação de efeitos indesejados durante o transporte dos trens de minério. Estes efeitos impactam o tempo de circulação (*transit time*) e conseqüentemente reduz a capacidade de transporte na malha ferroviária, aumentando significativamente os custos de operação.

## **1.1 Problema de Pesquisa**

O ciclo operacional de vagões pode ser entendido como o tempo gasto entre dois carregamentos sucessivos (ROSA, 2016). Incluído neste período, temos o tempo de carregamento, a circulação ferroviária até o local de desembarque, o tempo de desembarque e a circulação de retorno até o ponto de carregamento. A grande questão é que dependendo das particularidades de cada cadeia logística, os pontos de carregamento e descarregamento variam de acordo com a estratégia operacional da empresa, sendo assim nem sempre o ativo tem o seu retorno para o ponto de carregamento original, o que torna complexo o cálculo de rotação de vagão a vagão. No entanto, o escopo deste projeto se restringe ao ciclo operacional de viagem, ou seja, apenas o tempo de circulação na ferrovia.

A definição e acompanhamento deste indicador é de fundamental importância para a operação ferroviária, uma vez que ele define a capacidade necessária da frota de ativos de material rodante como locomotivas e vagões para o cumprimento do volume orçado. Em muitas ferrovias, a compensação de uma ineficiência operacional como por exemplo, o não cumprimento do ciclo orçado, em troca de aquisição de material rodante, é um erro clássico e muito comum em grandes ferrovias ao redor do mundo, principalmente quando se tem um desafio de transportar grandes volumes como no caso da EFC.

## **1.2 Justificativa da escolha do problema a ser trabalhado**

A escolha deste tema está relacionada pela sua relevância ao processo produtivo da VALE. A Estrada de Ferro Carajás conclui este ano o seu projeto de aumento de capacidade, onde se contempla a duplicação da ferrovia e redimensionamento dos seus terminais. Mesmo com 85% do projeto já executado, é necessário avaliar possibilidades de ganhos adicionais, otimizar seu processo produtivo com melhoria na excelência operacional, aumentar a produtividade e reduzir custos. No caso de uma ferrovia, quando se fala desses três importantes temas, de forma agrupada, possivelmente o ciclo operacional será incluído na discussão.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é realizar um estudo abrangente no transporte ferroviário na EFC, com vistas a otimizar o ciclo operacional de viagem dos vagões de minério.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Contextualizar a importância da EFC na cadeia logística da VALE;
- Detalhar influências internas e externas que impactam diretamente na circulação de trens e consequentemente no ciclo operacional de vagões;
- Analisar a importância do planejamento na circulação ferroviária;
- Avaliar pontos de troca de maquinistas durante circulação de trens de minério;
- Avaliar outras possibilidades de configuração de trens tipo e de tração;
- Verificar ocupação de malha por trens de serviço e de carga geral.

## 1.4 Relevância do Projeto

O ciclo operacional da EFC é resultante da integração de vários indicadores que representam a eficiência da ferrovia, ele demonstra a consolidação de indicadores de operação e manutenção e orienta ações para a melhoria da performance da ferrovia. Através do ciclo operacional é possível demonstrar as lacunas de cada parte integrante da cadeia produtiva. Portanto, sua otimização com ações que possibilitem alavancar seus resultados é vital para a competitividade da EFC.

No primeiro capítulo é apresentada a VALE, sua cadeia logística, a importância do Sistema Norte para a companhia e seus desafios de volume transportado, ressaltando a necessidade de uma maior eficiência, com tempos de viagem cada vez menores na EFC.

No segundo capítulo é apresentada a metodologia de pesquisa utilizada neste tema, bem como todos os instrumentos de coleta de dados.

No terceiro capítulo é realizada uma descrição mais profunda sobre a realidade atual da organização, abordando um pouco da história da empresa, capacidade produtiva, entre outros fatores relevantes.

No quarto capítulo é realizada uma revisão com foco nas iniciativas adotadas no mercado, apresentando os tópicos mais importantes para a realização deste projeto, sugerindo as melhores práticas e ao mesmo tempo chamando a atenção para alguns pontos chaves para sua implementação.

No quinto capítulo é efetuada uma análise do setor considerando outras ferrovias brasileiras com características semelhantes, e assim, apresentado um panorama a respeito do ciclo de viagens.

Dando continuidade ao trabalho é apresentado no sexto capítulo o modelo conceitual, que busca elencar fatores chave para que a implementação do projeto ocorra com êxito. Já no capítulo seguinte encontram-se as ferramentas de gerenciamento que visam auxiliar a equipe de execução às melhores práticas durante a realização do projeto.

Por fim, serão feitas considerações finais constituídas de alertas e recomendações fora do escopo deste projeto, mas que podem ser úteis para o bom desenvolvimento do mesmo, além de caracterizarem oportunidades de melhoria, sem, no entanto, esgotar as possíveis soluções.

## 2 METODOLOGIA DE PESQUISA

O projeto aqui apresentado é um estudo de caso aplicado no processo operacional da Estrada de Ferro Carajás e sua metodologia foi alicerçada na pesquisa de eventos ocorridos que causaram interferências na circulação de trens, gerando desvios ao orçamento previsto. Importante salientar que tais eventos não são decorrentes de simulação e não tiveram interferência do pesquisador. Os dados foram coletados do servidor de gestão ferroviária localizado no Centro de Controle Operacional (CCO) da ferrovia, localizado em São Luís, Maranhão. As análises aprofundadas destes eventos geraram uma série de medidas e conseqüentemente ações de bloqueio ou de redução dos impactos causados. Projetos bibliográficos relacionados com o tema como por exemplo: operação ferroviária, planejamento, dimensionamento de ativos rodantes e logística integrada, foram fundamentais para uma análise mais completa.

Os instrumentos de coleta de dados que serão utilizados são o levantamento documental através de arquivo estratificado do banco de dados do CCO e pelo levantamento bibliográfico, com pesquisas em fontes bibliográficas como livros e artigos científicos relacionados.

### 3 REALIDADE ATUAL DA EMPRESA

#### 3.1 VALE

O início da Companhia Vale do Rio Doce, hoje chamada VALE, está ligada à construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) que havia sido construída para o transporte de passageiros e para escoar a produção cafeeira do vale do Rio Doce e Espírito Santo. Durante sua construção foi evidenciado uma oportunidade de negócio adicional, no entanto era necessário alterar seu traçado original de tal forma a contemplar uma grande reserva de minério de ferro em uma região conhecida como Itabira, localizada ao leste do estado de Minas Gerais. Desta forma, o minério de ferro de Itabira foi incluído neste grande projeto e seu minério seria escoado futuramente até o porto capixaba, conforme citado por Vale (2012, p. 29), a seguir:

“Já em 1909, a Brazilian Hematite Syndicate adquiriu 42 mil ações da Vitória a Minas e pleiteou junto ao Governo Federal a alteração do traçado original da ferrovia para permitir o acesso às jazidas de Itabira. Não só a solicitação foi atendida, como a Vitória a Minas obteve o virtual monopólio das operações na região”.

Nos primeiros anos após a sua fundação, a Vale possuía uma demanda tímida e praticamente toda direcionada para o mercado interno com objetivo de suprir as siderúrgicas nacionais, o que de certa forma limitava sua capacidade de expansão. Por exemplo, no ano de 1920, a extração de minério de ferro não chegava a 4 milhões de toneladas por ano, valor esse de pelo menos a metade do orçamento previsto, o que gerava uma redução significativa do seu faturamento, principalmente devido ao baixo valor econômico do mineral bruto na época.

O cenário começa a mudar em 1961, quando uma gigante demanda vinda do Japão, principalmente após a destruição do seu parque siderúrgico na segunda guerra mundial alcança as estratégias recém-desenhadas pela companhia. Desta forma foi criado o conceito de distância econômica, permitindo que a Companhia Vale do Rio Doce, pudesse entregar minério de ferro nos portos japoneses por um preço competitivo, em relação aos praticados pelas minas australianas.

Para colocar em prática o arrojado plano de alcançar o mercado mundial, em 1962 foi criada a DOCENAVE, empresa marítima de transporte e operações portuárias e em 1966 foi inaugurado no litoral capixaba, o tão conhecido porto de Tubarão. A partir daí uma nova fase estava sendo construída, no primeiro ano do porto

de Tubarão por exemplo, a produção já chegava a 10 milhões de toneladas por ano. Quatro anos depois esse número já superava a casa de 18 milhões. Em 1974 já se atingia a incrível marca de 56 milhões de toneladas, ano este que a empresa liderou a exportação do minério de ferro no mercado mundial.

Em 1979, a Companhia Vale do Rio Doce tornou-se sócia majoritária do complexo mineral de Carajás, uma grande região com reserva de ferro com alto teor de qualidade, além de cobre, manganês e ouro. Concomitantemente, alinhado a este projeto, grandes projetos de infraestrutura serviriam de suporte como por exemplo a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, a Estrada de Ferro Carajás e o Porto de Ponta da Madeira, localizado em São Luís, no Maranhão. As operações neste imenso projeto tiveram início no ano de 1985, a partir daí grandes recordes de volume seriam alcançados ano após ano.

Em 2008 a Companhia Vale do Rio Doce mudou a sua marca e passou a usar apenas o nome de fantasia: VALE. No mesmo ano, foi eleita pela Financial Times a 33º maior empresa do mundo, além de ser a maior do Brasil em volume de exportações.

A Vale é uma empresa de mineração pioneira, sediada no Brasil, com mais de 100 mil empregados, entre próprios e terceirizados, e está presente em aproximadamente 30 países em 5 continentes. A Vale S.A, é uma sociedade anônima de capital aberto com sede no Rio de Janeiro, tem seus títulos negociados nas bolsas de São Paulo, Nova York, Paris e de Hong Kong.

### **Visão, Missão e Valores**

- Visão Vale: Ser a empresa de recursos naturais global número um em criação de valor de longo prazo, com excelência, paixão pelas pessoas e pelo planeta.
- Missão Vale: Transformar recursos naturais em prosperidade e desenvolvimento sustentável.
- Valores da Vale: A vida em primeiro lugar, crescer e evoluir juntos, cuidar do nosso planeta, valorizar quem faz a nossa empresa, agir de Forma Correta e fazer acontecer.

### 3.2 Estrada de Ferro Carajás

No dia 28 de fevereiro de 1985, entrava em operação a Estrada de Ferro Carajás, ferrovia construída para escoar toda a produção da mina localizada na Serra dos Carajás no Pará até a baía de São Marcos em São Luís do Maranhão. A figura 1 ilustra a chegada do primeiro trem de minério no Pátio Ferroviário de Ponta da Madeira em São Luís, Maranhão.

Figura 1 – Chegada do primeiro trem de minério na EFC



Fonte: Vale (2018). A história de uma produtiva ferrovia.

A EFC, construída inicialmente para transportar aproximadamente 35 milhões de toneladas de minério de ferro por ano, tinha uma configuração de linha singela com 43 pátios de cruzamento, de tal forma a permitir o cruzamento dos trens em ambos os sentidos. Os pátios mais relevantes nesta configuração eram exatamente os pátios localizados nas extremidades, sendo um no terminal ferroviário de Ponta da Madeira e o outro no terminal ferroviário de Carajás, onde as composições seriam carregadas.

Além do minério de ferro, a ferrovia Carajás, cujo traçado é mostrado na figura 2, a seguir, foi projetada para transportar carga geral e passageiros que se deslocam ao longo de 27 municípios nos estados do Maranhão e Pará.

Figura 2 – Traçado EFC no território nacional



Fonte: Vale (2009). Simpósio interno de Confiabilidade.

Uma das obras mais imponentes e relevantes do projeto foi a construção da ponte sobre o Rio Tocantins, inaugurada em outubro de 1984 na cidade de Marabá, localizada ao sudeste do estado do Pará, como pode ser observado na figura 3, a seguir.

Figura 3 – Construção do Porte do rio Tocantins



Fonte: Vale (2012). Vale:nossa história.

A etapa de lançamento dos trilhos foi encerrada em 15 de fevereiro de 1985, sendo inaugurada em 28 de fevereiro, iniciando-se imediatamente o transporte de minérios de ferro e de manganês para exportação. Nas figuras 4 e 5, a seguir, temos

registros fotográficos da época de inauguração da ferrovia respectivamente: trabalhadores após implantação do último trilho e o discurso do Engenheiro Eliezer Batista, diretor presidente da Vale na época, durante a cerimônia de inauguração.

Figura 4 – Implantação do último trilho na EFC



Fonte: Vale (2012). Vale: nossa história.

Figura 5 – Cerimônia de Inauguração da EFC



Fonte: Vale (2012). Vale: nossa história.

A EFC é uma das ferrovias de maior produtividade do mundo, contando com 927 quilômetros de linha, 73% de sua extensão em linha reta e 27% em curva, de excelentes condições técnicas (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2008). Além do seu eixo principal que liga as minas de Carajás no estado do Pará ao Terminal

Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) no estado do Maranhão, tem integração com a Ferrovia Norte Sul (FNS) por onde escoam produtos como celulose e grãos e em 2016 foi conectada também ao Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará (RFSP) com aproximadamente 90 km de extensão. Este ramal é responsável em agregar uma produção de aproximadamente 90 milhões de toneladas de minério de ferro das Minas de Serra Sul ao projeto Carajás.

Até 2019 a EFC passará por um processo de ampliação da sua capacidade de transporte. Serão construídos 570 km de novas linhas férreas e a renovação de 220 km de linha existente.

A seguir, na figura 6 é apresentado o volume transportado de 2010 até 2017, além da projeção para 2018 considerando minério de Ferro e Carga Geral, conforme elaborado pelo planejamento de capacidade da empresa.

Figura 6 – Volume transportado e projeções na EFC



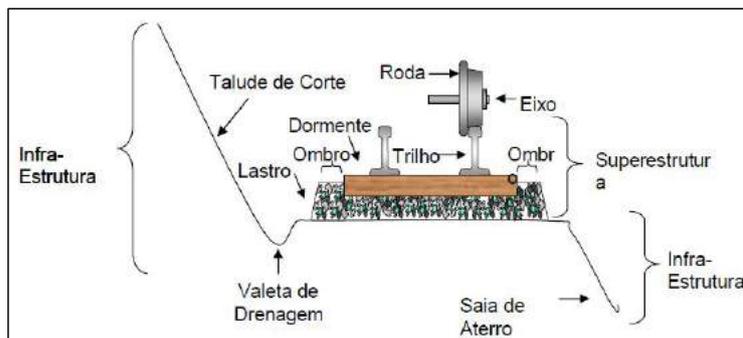
Fonte: Vale (2017). Plano diretor de Operações Ferroviárias.

#### 4 BASES CONCEITUAIS

A operação de uma ferrovia envolve aspectos ligados a todas as demais áreas de atuação do negócio. Sendo a mesma o elo entre os terminais de carga e descarga de material. Para a EFC o carregamento é feito nas minas de Carajás: Serra Norte, Leste e Sul no Estado do Pará, e o descarregamento realizado no TPPM (Terminal Portuário Ponta da Madeira) no Estado do Maranhão. O ciclo de vagões de minério consiste no tempo necessário para a frota completar uma viagem desde o TFPM (Terminal Ferroviário Ponta da Madeira) em São Luís no Maranhão, até o TFCJ (Terminal Ferroviário de Carajás) ou RFSP (Ramal Ferroviário Sudoeste do Pará) em Carajás no Estado do Pará. O principal objetivo de uma ferrovia para transporte de minério é realizar, de maneira sistemática, a movimentação de uma carga, de sua origem ao seu destino, com o menor custo operacional possível. Gerenciar a operação é otimizar a disponibilidade da utilização dos ativos da ferrovia para o uso da produção de transporte, que são:

- Via Permanente: linha férrea constituída por superestrutura (trilhos, dormentes, fixação, aparelhos de mudança de via – AMV, e lastro), e infraestrutura (cortes, aterros, drenagem e sub lastro). Conforme figura abaixo:

Figura 7 – Via Permanente de uma Ferrovia



Fonte: Própria (2018).

- Pátios e terminais: trechos de linhas férreas que possibilitam a ligação de um ponto a outro; geralmente são “peras ferroviárias” (linha férrea em formato,

Comentado [CRS1]: Numerar

Comentado [MF2R1]:

Comentado [MF3R1]:

literalmente, de pera) que possibilitam a carga e descarga de produtos transportados pela ferrovia.

- Instalações Fixas: são prédios administrativos, de apoio e operacionais, que possibilitam às equipes de operação, manutenção e suporte, fazerem a operacionalização da ferrovia.
- Vagões e locomotivas: são ativos que transportam a carga da ferrovia, seja ela para o cliente, ou para outra empresa, no caso de produtos diferentes do minério de ferro, ou materiais de manutenção para a própria ferrovia para execução conforme o planejamento.
- Recursos de pessoal: são pessoas especializadas para operacionalizar a ferrovia de acordo com setores que podem ser: administrativos, suporte, operação e manutenção.
- Sinalização: é o sistema de controle de tráfego da ferrovia, a qual possibilita o gerenciamento das movimentações dos trens na malha ferroviária.

O vagão como ativo que transporta a carga, é responsável pelo cálculo do tempo de percurso operacional da ferrovia, o controle dos vagões possibilita a ferrovia ter as seguintes informações:

- Carga transportada: o vagão, devido à sua capacidade, fornece o volume transportado, o que possibilita saber o peso médio transportado.
- Desempenho dos pátios e terminais: ciclos e tempos à disposição dos clientes, contabilizados para monitorar a eficiência da ferrovia.
- Desempenho da circulação: ciclos vazios e carregados, correspondendo aos tempos do trem na linha tronco da ferrovia, sendo este o tempo principal pelo qual a ferrovia monitora seu desempenho.
- Retenção nas oficinas: as oficinas fazem a manutenção dos vagões, preventivamente ou corretivamente, sendo que esta demanda deve ser considerada pelo planejamento para calcular a necessidade de vagões para cumprir o ciclo e garantir o volume transportado.
- Atrasos na circulação dos trens por defeitos: são perdas relacionadas a vandalismo, problemas técnicos e outras situações que interferem na circulação dos trens durante seu ciclo operacional.

Comentado [CRS4]:

Comentado [CRS5]:

Comentado [CRS6]:

- Posicionamento da carga em tempo real: como o vagão é a menor unidade de transporte, se somarmos a quantidade de vagões e de trens disponíveis na ferrovia, é possível saber a previsão de trânsito correspondente ao produto transportado e o tempo para o trem chegar em seu destino.

Comentado [CRS7]: Melhor outra palavra

A programação para utilização dos vagões é feita a partir de todas as movimentações de cargas nos pontos de carregamento, e pela variação de demanda e sazonalidades dos serviços oferecidos aos usuários dos trens de passageiros e de carga geral. Durante a execução da programação são feitos ajustes, envolvendo a mina, o porto, pátios e terminais, manutenção de via, oficinas, escala de pessoal para operação, de modo a atender as demandas de cada tipo de produto e cliente.

A unidade mínima de transporte é o vagão. Na linha ou nos pátios e terminais, os vagões formam o trem. Sendo o transporte sistemático, toma-se, como medida da eficiência operacional do fluxo, o tempo entre dois carregamentos no mesmo ponto de um dado vagão, que caracterizará um ciclo de prestação de serviço. Esta unidade de medida é fundamental no gerenciamento da operação. Desta maneira, definidos os recursos estratégicos, o objetivo gerencial tático é fazer o sistema fluir cada vez mais rápido, aumentando-se a eficiência do transporte através da diminuição do ciclo médio.

#### 4.1 Ciclo médio

Ciclo ou rotação do vagão em um fluxo é o tempo gasto (normalmente em horas) entre dois carregamentos sucessivos, o que equivale a soma dos tempos para:

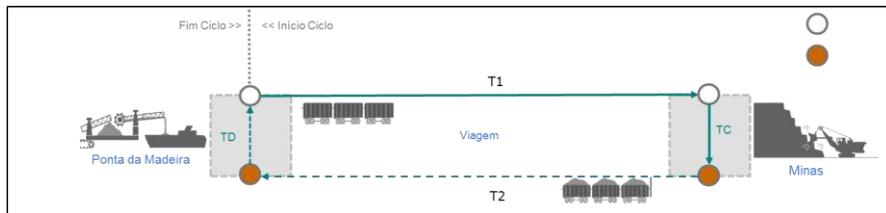
- T1: Carregamento e manobra na origem
- T2: Viagem da origem ao destino
- T3: Descarregamento e manobra no destino
- T4: Viagem de retorno para novo carregamento

O gerenciamento do ciclo é relativamente fácil quando são trens unitários e no mesmo fluxo, porém se torna extremamente complexo quando depende da distribuição dos “vagões vazios” nos diversos terminais e devem ser enviados para outros, para carregamento pelo menor custo decorrente.

A figura 8, a seguir, apresenta de forma simplificada o ciclo de uma ferrovia que liga uma mina a um porto com um único ponto de carregamento e descarregamento.

Comentado [CRS8]: Adequar a figura às normas.

Figura 8 – Ciclo simplificado do transporte ferroviário.



Fonte: Própria (2018).

Para reduzir o ciclo, os esforços devem ser feitos no sentido de liberar, o mais rápido possível o vagão, com uso de pátios, taxa de descarga e estocagem externas adequadas. Na linha tronco, bem como nos ramais, deve-se usar trens tipos para obter-se as melhores relações entre tamanho e peso, para reduzir paradas, fracionamentos e restrições de velocidades. Também devem ter formações otimizadas para reduzir os tempos de paradas em pátios para formações e desmembramentos.

É necessária uma programação mensal de transporte dividida em metas diárias. A programação diária é função da capacidade da ferrovia, que levará em conta suas totais condições de transporte e as restrições em cada ponto de carga.

Os terminais operam ininterruptamente, sendo que os pontos de carregamento possuem silos e correias transportadoras. No descarregamento, são utilizadas máquinas chamadas de virador de vagão que giram os vagões em seu eixo, possibilitando um tempo menor na descarga, gerando ganhos de recursos, sendo este ponto uma vantagem competitiva para a ferrovia.

#### 4.2 Dimensionamento de recursos e ativos

Cada ferrovia possui metodologia própria para dimensionamento do ciclo, levando em conta o aprendizado obtido com sua operação e suas características. Além dos recursos básicos de material rodante, via permanente e equipagens, podem ser incluídas as disponibilidades de sinalização, utilização de trechos de outras

ferrovias, material rodante de terceiros, horários de funcionamentos de terminais e até mesmo comportamentos climáticos regionais.

A calibração de cada método é feita por equipes especializadas, que geralmente são extremamente experientes na operação daquela ferrovia, e que, empiricamente ou através de dados históricos, foram ajustando as variáveis que trazem o dimensionamento para o patamar de transporte desejado, utilizando os recursos existentes.

Outro fator importante são as ferramentas de otimização de recursos utilizados pela programação e nos centros de controles operacionais. Estas ferramentas permitem refinamentos, em que podem ser feitos desde programações e dimensionamentos anuais, até diários, em busca da melhor produtividade e entendimento ao cliente.

De forma genérica, os fatores necessários para o dimensionamento dos recursos de uma ferrovia singela com poucos pontos de carregamento são: equipagem para os trens, locomotivas, vagões e capacidade de via permanente.

Um dos fatores que determina a capacidade de transporte é a quantidade de maquinistas para condução dos trens. Essa quantidade é função do ciclo da equipagem.

Um outro fator que determina a capacidade de transporte é a disponibilidade de recursos em material rodante (locomotivas e vagões) para escoar a produção. Tal disponibilidade depende de vários fatores, sendo o ciclo aquele de maior influência em tal capacidade.

Contudo, a capacidade não pode ser analisada somente através da mão-de-obra necessária para condução de trem e do material rodante em si, mas também quanto à capacidade da via para permitir a passagem da quantidade de trens necessária para se atingir a produção desejada. O impacto causado pela via à circulação é dado através de restrições de velocidade em alguns trechos e ou por falhas que restringem a velocidade ou bloqueiam a circulação de trens.

Desta forma pode-se dizer que o ciclo de equipagem, o ciclo de material rodante e o número de trens possível de circular em uma determinada seção de via são os três componentes primordiais na determinação na capacidade de transporte.

### 4.3 Dimensionamento de maquinistas

A fórmula que calcula a quantidade de maquinistas necessários para atendimento a uma determinada produção foi desenvolvida por Colson (ARREBOLA, 2008) e a mesma é representada por:

$$Ne = NT \times Ce \times k$$

Onde:

Ne = Número de equipes.

NT = Número de trens por dia;

Ce = Ciclo de equipagem (horas);

K = dias no ano/horas trabalháveis no ano.

A primeira parcela da fórmula de Colson é o número de trens por dia (NT), e para isso temos que calcular da seguinte forma:

$$NT = \frac{P}{CT \times Nd \times E}$$

Onde:

P = Produção desejada (ton);

CT = Capacidade do trem (ton);

Nd = Número de dias no ano;

E = Eficiência do sistema = 0,97;

NT = Número de trens.

A segunda parcela é a constante “k”, que varia de acordo com a ferrovia, sendo calculada da seguinte forma:

$$k = \frac{\text{Nd dias do ano}}{\text{HTA horas trabalháveis por ano}}$$

Nd = 365 dias

HTA = Horas no Ano (HA) – Horas a Deduzir (HD)

Considerando:

HA = 365 dias x 24 horas = 8.760 horas

HD=

Férias = 30 dias

Folgas = 55 dias (dias de folga no ano devido a escala de trabalho)

Treinamento = 16 dias

Afastamentos = 5 dias

TOTAL = 106 dias ou 2.544 horas

Logo

HTA = HA – HD = 6.216 horas

Para uma ferrovia com as características acima,  $K = 365 / 6.216 = 0,05872$ , sendo este uma realidade de cada ferrovia e modelo operacional utilizado.

A terceira parcela da fórmula de Colson é o cálculo do Ciclo de Equipagem (Ce), na qual devemos considerar:

- VI = viagem de ida;
- DFS = descanso fora de sede;
- VV = viagem de volta;
- DS = descanso na sede.

Sendo que:

$$Ce = VI + SFS + VV + DS$$

#### 4.4 Dimensionamento de locomotivas

Para o dimensionamento da quantidade de locomotivas necessárias para a formação dos trens que farão frente à demanda de transporte, algumas premissas são levadas em consideração, a saber:

- P = produção desejada (ton);
- C = ciclo de transporte (dias);
- Nd = número de dias de operação no período;

- Cr = capacidade de reboque (número de vagões);
- Cv = capacidade de vagão (ton);
- m = taxa de indisponibilidade para o transporte;
- E = eficiência do sistema = 0,97;
- F = frota necessária.

A fórmula que calcula a quantidade de locomotivas necessária para atendimento a uma determinada produção foi desenvolvida por Colson (ARREBOLA, 2008) e a mesma é representada por:

$$F = \frac{P \times C}{Nd \times Cv \times Cr \times (1 - m) \times E}$$

#### 4.5 Dimensionamento de vagões

O dimensionamento da quantidade de vagões necessários para a formação dos trens segue algumas premissas, que são:

- P = produção desejada (ton);
- C = ciclo de transporte (dias);
- Nd = número de dias de operação no período;
- Cv = capacidade de vagão (ton);
- m = taxa de indisponibilidade para o transporte;
- E = eficiência do sistema = 0,97;
- F = frota necessária.

A fórmula que calcula a quantidade de vagões necessários para atendimento a uma determinada produção foi desenvolvida por Colson (ARREBOLA, 2008), sendo representada por:

$$F = \frac{P \times C}{Nd \times Cv \times (1 - m) \times E}$$

#### 4.6 Dimensionamento de via permanente

Para o dimensionamento da capacidade de via permanente, para permitir a circulação dos trens que farão frente à demanda de transporte, algumas premissas são levadas em consideração, a saber:

- NT = número de trens;
- Nvt = número de vagões por trem;
- Cv = capacidade de vagão (ton);
- Nd = número de dias;
- E = eficiência do sistema = 0,97;
- CVIA = capacidade da via.

A fórmula que calcula a capacidade da via para atendimento a uma determinada produção foi desenvolvida por Colson (ARREBOLA, 2008) e é representada por:

$$CVIA = NT \times Nvt \times Cv \times Nd \times E$$

Para o cálculo do número de trens (NT), é utilizada a fórmula:

$$NT = \frac{fp \times (24 - VP) \times 60}{Hd}$$

Onde:

fp = fator prático de capacidade = 0,70;

Hd = *headway* (minutos);

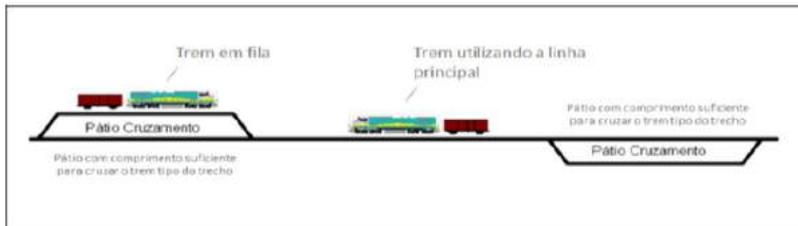
VP = horas disponíveis para a manutenção de via permanente;

NT = número de trens.

Sendo que *Headway* é o tempo de viagem entre dois pátios consecutivos. Quanto maior for o *headway*, menor é a capacidade de tráfego entre dois pátios, conforme ilustrado na figura 9. A capacidade de tráfego entre dois pátios de cruzamento, é a quantidade de trens em cada sentido (pares de trens) em um determinado período, normalmente por dia, se tratar de trens de carga, ou em horas, quando se trata de metrô.

Deve ser considerado, ainda, que  $f_p$  corrige o *headway* para *headways* reais em função de cruzamentos.

Figura 9 – *Headway* simplificado do transporte ferroviário.



Fonte: Própria (2018).

A maior capacidade de tráfego entre outros pátios não altera a limitação definida pelo gargalo, tal como ocorre em um circuito hidráulico ou em uma ampulheta, onde a vazão de um reservatório fica limitada pelo gargalo.

Os principais fatores que determinam capacidade de tráfego de trens entre dois pátios de cruzamento são:

- distância entre os pátios ( $d$ )
- velocidade dos trens em cada sentido ( $v$ )
- tempo de licenciamento em cada pátio ( $TL$ )

Com a definição do *headway*, é possível calcular a quantidade de pares de trens ( $Q$ ) entre dois pátios através da equação abaixo.

$$Q = \frac{24 \text{ horas}}{(\text{tempo de ida} + \text{tempo de volta} + \text{tempos de licenciamento})}$$

#### 4.7 Capacidade de transporte

A capacidade de transporte de um trecho ferroviário é definida pela menor capacidade de tráfego de trens de carga entre dois postos de licenciamento, os chamados pátio de cruzamento. Este trecho de menor capacidade é conhecido como gargalo da ferrovia e define seu tráfego. É nele que os esforços sempre serão colocados. É normal resolver os problemas de um gargalo e transferi-lo para outro trecho. A capacidade de tráfego possui alguns redutores tais como:

- Disponibilidade da linha devido a manutenção da via permanente (**DVIA**), em dias, calculada pela seguinte equação:

$$DVIA = \frac{(24 - VP)}{24} \times 365$$

- Ocupação por outros trens (passageiros, serviços e cargueiros), diminuindo a capacidade de transporte de carga devido a circulação destes. Logo a quantidade de pares de trens de carga anual (**QT**) é calculada por:

$$QT = Q \times Dvia - (\text{trens de passageiro} + \text{trens de serviço} + \text{trens de carga geral})$$

A capacidade de transporte teórica (**CT**) pode ser calculada por meio do peso dos trens em toneladas úteis, que predominam no trecho (trem tipo), em cada sentido, e da quantidade de pares de trens possíveis entre dois pátios de cruzamento.

$$CT = QT \times (PTida + PTvolta)$$

Onde:

PT = peso do trem (tons úteis)

A capacidade calculada desta forma é chamada de capacidade teórica ou física. A capacidade operacional ou instalada é a decorrente da quantidade de trens possíveis de circularem nesse trecho, considerando as locomotivas, vagões e operadores existentes na ferrovia.

A capacidade operacional instantânea de um trecho ferroviário varia com os “redutores” existentes nesse instante em diversos pontos desse trecho, chamados de gargalos móveis. Para gerenciar a operação ferroviária de um trecho, adotam-se soluções simultâneas para diferentes restrições existentes, em vários pontos, reduzindo o impacto na execução do programa de transporte e nos custos decorrentes.

Nas ferrovias com alta densidade de tráfego são raros os períodos com poucas restrições para circulação dos trens ao longo da linha, sendo as principais causas referentes à interrupção do tráfego ou à precauções por problemas na via

permanente, falhas nos sistemas de sinalização, problemas com locomotivas ou vagões, restrições por comunidades, descarrilamentos, etc.

Para efeito de comparação pode-se assemelhar o efeito desses redutores, em cada trecho, como “bolhas de ar” que reduzem a vazão de água na mangueira. A vazão plena, sem bolhas, seria a capacidade teórica ou física e a vazão reduzida, com bolhas, a capacidade real. A função do controlador do CCO é gerenciar a vazão reduzindo os efeitos das bolhas. Por exemplo, se num ciclo fechado de um sistema integrado ocorrer uma interrupção no fluxo ele se torna praticamente irrecuperável e, neste caso, o controlador procura alocar recursos extras, vagões e locomotivas, para executar o fluxo subsequente.

#### 4.8 Cálculo da frota para ciclo de vagões

Os impactos ou restrições para a circulação dos trens são fundamentais para o cálculo da frota de vagões, conseqüentemente o ciclo operacional do mesmo. Para isso são importantes alguns conceitos que nos ajudam a entender como otimizar este ciclo.

- Velocidade comercial: a rigor é a “velocidade de carga” entre a origem e o destino ou a do vagão que a transportou. É a velocidade média considerando a distância entre origem e o destino, e o tempo ocorrido (*transit time*) para fazer esse percurso (km/hora) incluindo todas as restrições para circulação dos trens e os tempos para manobras e licenciamento nos pátios de cruzamento, exceto os tempos de terminais para carregamento e descarga. O tempo de percurso (*transit time*) utilizado para calcular a velocidade comercial é um parâmetro importante no gerenciamento do fluxo das cargas para definir a previsão de chegada no destino (ETA – *Expected Time Arrive*), e é um dos mais significativos para o dono da carga, porque define o tempo de recebimento ou entrega.
- Velocidade de cruzeiro: É a velocidade média das velocidades instantâneas no trecho, obtida pela distância entre a origem e o destino e o tempo ocorrido nesse percurso excluindo os tempos de manobras, licenciamento nos terminais de carregamento e descarga. Algumas empresas costumam considerá-las como velocidade comercial e que conceitualmente não é

adequado, porque não é obtida pelo tempo de percurso (*transit time*) entre a origem e destino.

- Velocidade diretriz: É a utilizada como parâmetro de via permanente em cada ponto (linhas, túneis, viadutos, entrada e saída de pátios, nos pátios, etc.), de acordo com as condições específicas de cada local e as características predominantes, para fins de superelevação, altura e largura do lastro, segurança operacional, etc.
- Velocidade máxima do trem: É a velocidade máxima para cada tipo de trem de forma a reduzir riscos decorrentes do conflito entre as condições geométricas da linha e os efeitos dinâmicos do trem. Sendo um dos maiores riscos o de descarrilamento pelo aumento a força lateral do friso da roda contra o trilho quando se aumenta a velocidade do trem.
- Velocidade mínima contínua: É a velocidade de referência para uma condição operacional abaixo da qual a corrente elétrica do motor de tração das locomotivas começa a aumentar reduzindo a vida útil dos motores de tração das locomotivas.
- Peso médio: é a quantidade de carga que cada veículo suporta. É a soma de todas as cargas, divididas pela quantidade de veículos. Nesse caso é importante saber a sua variabilidade. Quanto mais próximo da capacidade máxima e quanto menor o desvio padrão é melhor o sistema. Significa que a utilização da capacidade de transporte dos veículos está melhor possível.
- Ciclo ou rotação do vagão em um fluxo: como mencionado anteriormente, este é um dos pontos mais importantes a serem observados na gestão da ferrovia como um todo. Ciclo ou rotação do vagão em um fluxo é o tempo gasto entre dois carregamentos sucessivos, o que equivale a soma dos tempos para:

T1 – carregamento e manobras na origem

T2 – viagem da origem até o destino

T3 – manobra e descarga no destino

T4 – viagem de retorno para o novo carregamento

Então,  $\text{Ciclo} = T1 + T2 + T3 + T4$ .

O gerenciamento do ciclo do vagão é relativamente fácil quando são trens unitários que circulam em um único fluxo, porém se torna extremamente complexo quando depende da distribuição dos vagões vazios que se encontram em vários terminais da malha ferroviária e devem ser enviados para outros terminais para carregamento pelo menor custo decorrente.

- Quantidade de vagões para um determinado fluxo ou ciclo (**NV**):

$$Nv = n \times R$$

n = quantidade de vagões programados para carregar por dia

R = ciclo ou rotação dos vagões em dias.

Por sua vez:

$$R = \frac{Pu}{D \times pu}$$

Onde:

Pu = carga em toneladas a ser transportada

D = quantidade de dias que se pretende utilizar para fazer o transporte

pu = lotação (capacidade) de cada vagão

Considerando um coeficiente  $\alpha$  de imobilização de vagões para manutenção, tem se:

$$Nv = \frac{(1 + \alpha) \times (Pu \times n)}{(D \times pu)}$$

Sendo que " $\alpha$ " varia de 3% a 5% dependendo da ferrovia e planos de manutenção dos vagões de acordo com o planejamento anual de manutenções, portanto, soma-se a indisponibilidade para que não falte a quantidade de vagões necessárias para o ciclo.

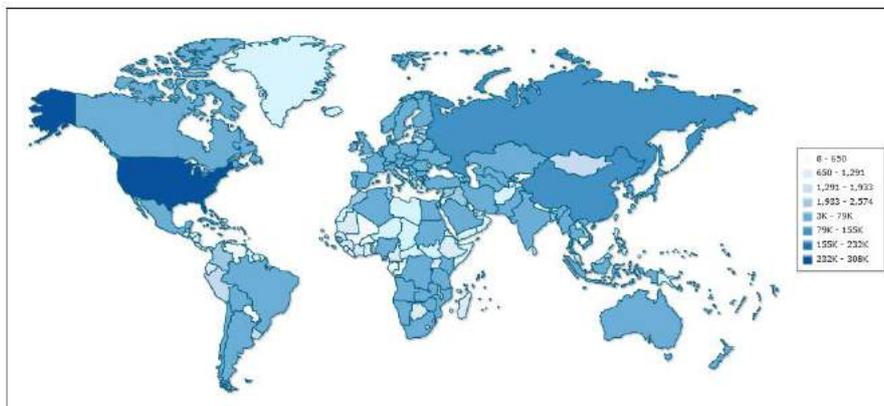
O dimensionamento correto da quantidade de vagões em função de seu ciclo, possibilita à ferrovia não ter excesso de ativos, gerando custos de manutenção, linhas para estacionamento de vagões parados e etc. Além disso, permite que a ferrovia não

deixe de atender o volume transportado por falta de vagões, haja vista que se todos os indicadores estiverem bem dimensionados, o ciclo poderá sofrer perdas caso ocorra falta de vagões para transporte, gerando perdas para a ferrovia, o que é algo indesejado.

## 5 BENCHMARKING REALIZADO / REALIDADES ORGANIZACIONAIS

A malha ferroviária brasileira não é a mais extensa em comparação com os países com as malhas ferroviárias mais densas do mundo, tendo seu principal fluxo concentrado em algumas operadoras que utilizam parte da malha disponível atualmente.

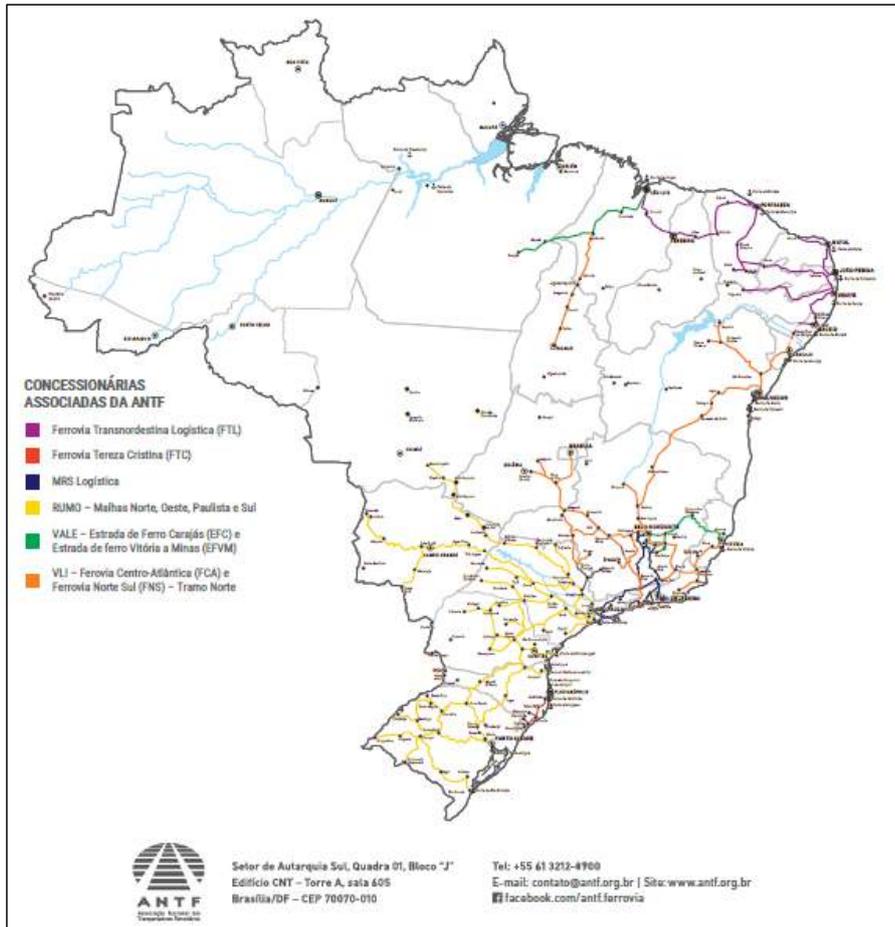
Figura 10 – Extensão da Malha Ferroviária Mundial.



Fonte: ANTF (2018).

A VALE é detentora da concessão de grande parte da malha ferroviária útil no Brasil, sendo responsável pela maior parte das cargas movimentadas no país, e suas ferrovias, Estrada de Ferro Vitória à Minas (EFVM) e Estrada de Ferro Carajás (EFC) representam os grandes diferenciais competitivos da empresa. Além destas ferrovias, a VALE tem participação nas ferrovias MRS Logística e VLI (FCA e FNS) que completam os principais fornecedores de serviços logísticos ferroviário no Brasil, conforme mapa ferroviário na ANTF na figura 11, a seguir:

Figura 11 – Mapa Ferroviário de Carga Brasileiro.



Fonte: ANTF (2018).

Esta produção escoada é composta por diversos produtos que ajudam no desenvolvimento do Brasil; estes produtos são *commodities* que necessitam da ferrovia para serem escoados, e estas, por sua vez, precisam ser cada dia mais eficientes para conseguir entregar de acordo com os prazos dos clientes e com as capacidades dos pátios e terminais de fornecedores e clientes, para melhorar seus resultados de ciclos operacionais.

A fim de estabelecermos um comparativo entre as ferrovias brasileiras de transporte de cargas com volumes representativos, apresentaremos a seguir, uma

série de tabelas com indicadores que nos ajudam a entender o comportamento do ciclo operacional, haja vista que apenas mensurar o ciclo operacional não é aconselhável devido as particularidades de cada concessionária.

A seguir, a tabela 1 apresenta o histórico do transporte da produção de mercadorias no Brasil de 2006 a 2017.

Tabela 1 – Produção de Transporte Ferroviário de Cargas

Ano	Produção de Transporte Ferroviário, por Subgrupo de Mercadoria (Milhares de TU)													
	Total	Minério de Ferro	Adubos e Fertilizantes	Extração Vegetal e Celulose	Produção Agrícola	Açúcar	Soja e Farelo de Soja	Carvão/Coque	Cimento	Granéis Minerais	Ind. Cimenteira e Const. Civil	Ind. Siderúrgica	Comb., Deriv. do Petr. e Alcool	Conteiner
2006	389.113	281.691	6.232	4.126	4.635	4.998	23.849	11.380	3.248	8.887	4.384	21.287	9.870	2.156
2007	414.925	307.431	5.823	4.280	9.194	4.410	19.235	12.673	3.446	9.262	4.796	21.506	9.497	2.463
2008	426.520	316.310	5.349	3.816	7.558	6.037	20.695	13.571	3.644	9.997	4.998	20.546	10.306	2.740
2009	379.441	277.951	4.539	3.878	8.121	6.504	21.449	10.677	3.381	8.974	4.693	14.309	10.574	4.047
2010	435.248	324.811	4.953	4.053	10.288	9.127	20.643	12.364	3.487	10.499	5.081	17.278	9.886	2.633
2011	454.380	343.180	5.372	4.297	8.253	10.968	22.755	11.293	3.733	10.756	4.955	16.218	9.970	2.420
2012	453.200	342.701	5.326	4.423	14.554	9.628	19.948	11.468	3.021	8.743	4.406	16.312	10.017	2.447
2013	450.693	341.270	4.605	4.976	14.792	10.204	20.578	11.490	2.999	8.458	3.488	15.225	9.493	2.888
2014	465.060	356.634	3.920	6.104	13.298	11.901	20.962	12.086	2.858	6.569	3.236	14.360	9.526	3.459
2015	491.590	378.622	3.481	5.572	16.457	12.383	22.998	11.092	2.871	7.281	2.729	15.015	9.194	3.784
2016	503.806	397.639	4.340	5.580	10.486	14.359	22.820	9.743	2.880	7.031	2.100	14.446	8.690	3.623
2017	538.780	416.367	3.761	6.479	18.211	14.018	30.014	10.328	2.568	7.397	1.599	15.429	8.880	3.678

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

Analisando esta produção, discriminada por concessionária ferroviária, é possível perceber a grande evolução da EFC, em relação ao transporte destas cargas, no Brasil. Sendo a ferrovia que teve maior crescimento, passando a ser a ferrovia com maior volume de carga transportada, no Brasil, em 2017 conforme a tabela\_\_, a seguir:

Tabela 2 – Produção de Transporte Ferroviário de Cargas por Concessionária

Concessionária	Produção de Transporte Ferroviário											
	Toneladas Úteis (milhares de TU)											
Total	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EFC	92.591	100.361	103.670	96.267	104.949	114.543	116.428	115.006	118.454	134.713	155.252	175.333
EFVM	131.620	136.604	133.211	104.317	131.755	133.462	127.268	125.296	126.185	132.976	129.601	129.907
FCA	15.177	18.957	19.280	17.455	21.242	18.958	22.471	24.290	24.192	26.512	24.993	34.186
FNSTN	0	0	1.424	1.639	2.012	2.541	3.187	3.215	4.370	5.599	5.031	7.916
MRS	101.998	114.064	119.799	110.954	123.030	130.009	131.404	130.906	138.827	139.695	141.501	137.126

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A velocidade média comercial da EFC teve uma pequena melhora e conseguiu manter no mesmo patamar nos últimos anos, pois, como a EFC está em processo de duplicação, a necessidade de trens de serviços, e demais trens, aumentam a densidade da malha, diminuindo a capacidade de trens de carga e evitando que os mesmos trafeguem sem interrupções, aumentando assim seu *headway*.

A tabela 3, a seguir, demonstra a velocidade média por concessionária, o que possibilita entender como funciona o fluxo de trens em cada ferrovia, este indicador ajuda a concessionária a saber se os trens estão fluindo em sua malha.

Tabela 3 – Velocidade Média Comercial por Concessionária

Concessionária	Velocidade Média Anual do Transporte Ferroviário (km/h)											
	VMC											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EFC	27,45	25,64	24,28	29,27	28,94	25,45	23,51	23,91	22,98	22,47	24,07	24,89
EFVM	21,52	21,45	22,55	23,87	23,50	22,89	22,82	24,83	25,63	26,30	27,56	27,39
FCA	15,84	15,50	15,07	14,99	14,61	14,92	14,71	14,50	13,95	13,12	12,22	11,99
FNSTN	0	0	25,50	28,72	21,08	19,58	21,33	16,17	17,63	18,00	18,41	19,96
MRS	17,29	17,15	17,14	17,17	15,29	15,35	15,08	15,37	15,88	16,28	16,14	16,66

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A quantidade de trens é um fator monitorado pelas ferrovias, pois deve ser otimizado para balancear a malha ferroviária; a quantidade de trens por concessionária também é um ponto a ser monitorado.

Mudanças no trem tipo da ferrovia ajuda a diminuir a quantidade de trens na malha, pois quanto menor a quantidade de trens, melhor será seu *headway* e melhor será sua circulação, podendo ter melhores ciclos operacionais. A tabela 4, a seguir, mostra a evolução de quantidade de trens da MRS Logística:

Tabela 4 – Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da MRS Logística

Ano	Número de Trens Formados no Transporte Ferroviário, por mês												
	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	117.884	9.490	8.618	9.682	9.744	10.070	9.331	9.841	10.166	9.866	10.345	10.155	10.576
2007	128.527	10.226	9.292	10.702	10.619	11.042	10.652	10.949	11.140	10.748	11.246	11.018	10.893
2008	132.341	10.525	10.168	11.331	10.925	11.679	11.535	11.777	11.623	11.352	11.555	10.396	9.475
2009	120.799	9.327	8.342	10.372	9.884	10.114	9.445	10.476	10.852	10.751	10.820	10.430	9.986
2010	118.684	9.231	9.063	10.143	9.162	10.196	10.102	10.434	10.375	10.367	10.350	9.951	9.310
2011	104.023	8.898	9.360	10.243	10.102	10.285	10.200	7.805	7.864	7.591	7.607	7.154	6.914
2012	85.925	6.123	7.141	7.780	7.317	7.244	6.876	7.599	7.586	7.185	7.698	6.726	6.650
2013	84.166	6.215	5.902	7.067	6.654	7.507	7.080	7.309	7.573	7.188	7.554	7.229	6.888
2014	80.276	6.522	6.264	7.170	6.551	7.221	6.816	6.643	6.702	6.481	6.889	6.493	6.524
2015	78.687	6.345	6.042	6.885	6.743	6.734	6.413	6.875	6.532	6.276	6.835	6.835	6.172
2016	69.083	5.132	5.421	5.532	5.786	5.769	5.702	6.034	6.462	6.145	5.800	5.707	5.593
2017	73.311	5.272	5.564	6.293	6.018	6.414	6.016	6.222	6.222	6.415	6.607	6.287	5.981

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

Percebe-se, portanto, uma diminuição da quantidade de trens na MRS, tendo ocorrido melhorias na formação de seus trens e em redução de carga transportada, devido à crise do ano de 2008 e 2011.

A tabela 5, a seguir, apresenta a quantidade de trens formados na VLI tramo sudeste, o que se manteve constante nos últimos anos.

Tabela 5 – Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da FCA (VLI Sudeste)

Ano	Número de Trens Formados no Transporte Ferroviário, por mês												
	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	59.632	4.600	4.356	4.863	4.975	5.192	5.269	5.104	5.312	5.099	5.225	4.896	4.741
2007	60.262	4.880	4.777	5.602	5.281	5.049	4.897	4.975	5.083	4.897	5.109	5.112	4.600
2008	53.260	4.306	4.181	4.597	4.328	4.628	4.365	4.685	4.802	4.671	4.537	4.293	3.867
2009	50.957	3.884	3.758	4.245	4.247	4.353	4.283	4.674	4.667	4.190	4.342	4.219	4.095
2010	57.392	4.033	4.072	4.846	4.838	5.088	4.805	5.300	5.142	4.995	4.993	4.775	4.505
2011	45.742	4.153	3.829	4.189	4.181	4.502	4.463	4.566	4.627	2.270	2.433	2.371	4.158
2012	46.686	3.502	3.582	3.641	3.709	4.040	4.023	4.124	4.398	3.905	4.100	3.890	3.772
2013	45.713	3.584	3.160	3.771	3.899	3.872	3.846	4.075	4.170	3.968	4.081	3.842	3.445
2014	44.479	3.825	3.545	3.717	3.777	3.945	3.749	3.744	3.970	3.777	3.764	3.403	3.263
2015	41.092	3.320	3.076	3.400	3.187	3.511	3.615	3.917	3.625	3.538	3.538	3.285	3.080
2016	38.894	2.694	3.059	3.481	3.394	3.428	3.436	3.488	3.395	3.319	3.238	3.042	2.920
2017	40.194	2.998	3.048	3.211	3.217	3.534	3.388	3.609	3.742	3.513	3.483	3.303	3.148

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A tabela 6 a seguir, apresenta a quantidade de trens no tramo norte da VLI, que é composto pela Ferrovia Norte Sul (FNS) teve um aumento considerável, seu transporte aumenta desde sua inauguração devido o volume de soja que começou a ser

Tabela 6 – Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da FNS (VLI Tramo Norte)

Ano	Número de Trens Formados no Transporte Ferroviário, por mês												
	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	598	6	6	37	64	79	74	73	66	66	65	41	21
2009	1.268	30	18	72	114	117	146	164	127	93	148	144	95
2010	1.410	61	92	153	139	177	154	140	127	107	107	93	60
2011	2.114	72	100	198	220	212	209	210	202	227	198	165	101
2012	1.760	85	124	150	149	153	138	180	173	152	161	157	138
2013	1.577	92	96	164	185	168	135	119	145	140	119	106	108
2014	2.244	100	125	174	211	189	192	229	222	214	199	190	199
2015	2.035	158	160	186	190	172	169	175	161	175	195	155	139
2016	2.530	175	191	324	274	309	255	270	187	180	111	127	127
2017	3.709	154	218	416	364	393	325	356	383	317	371	248	164

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A EFVM que possui um volume de transporte nos últimos anos menor que a EFC, porém a EFVM já possui uma ferrovia duplicada e possui carga em dois sentidos: traz minério das minas e volta com carvão do porto, possibilitando maior produtividade de seus ativos e maior densidade na malha ferroviária conforme a tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da EFVM

Ano	Número de Trens Formados no Transporte Ferroviário, por mês												
	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	49.389	4.196	3.576	4.097	4.027	4.256	4.178	4.446	4.292	4.235	4.387	3.820	3.879
2007	58.293	3.887	4.307	5.018	4.946	4.998	4.879	5.000	5.141	4.946	5.129	4.882	5.159
2008	55.657	4.854	4.992	4.820	4.831	5.145	5.059	5.210	5.101	5.112	4.853	3.151	2.929
2009	43.182	3.201	2.915	3.887	3.070	3.557	3.720	3.992	4.198	4.046	3.694	3.510	3.892
2010	53.031	3.839	3.594	4.006	4.231	4.586	4.550	4.755	4.855	4.713	4.880	4.521	4.501
2011	55.392	4.226	4.058	4.430	4.434	4.804	4.780	5.080	5.037	4.808	4.901	4.632	4.202
2012	54.038	3.529	4.387	4.372	4.611	4.701	4.409	4.610	4.794	4.639	4.803	4.426	4.757
2013	53.905	4.303	3.867	4.394	4.351	4.563	4.391	4.844	4.876	4.839	4.970	4.706	3.801
2014	54.942	4.421	3.968	4.562	4.427	4.814	4.694	4.664	4.764	4.695	4.746	4.496	4.691
2015	54.136	4.501	4.033	4.362	4.395	4.900	4.655	4.961	4.933	4.822	4.555	3.816	4.203
2016	44.391	3.228	2.913	3.651	3.885	3.948	3.776	4.053	4.050	3.848	3.845	3.591	3.603
2017	46.439	3.690	3.340	3.833	3.554	3.720	4.042	4.019	3.962	4.307	4.057	3.919	

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A tabela 8, apresenta a quantidade de trens na EFC, esta possui o maior trem do Brasil, não possui uma ferrovia duplicada, por isso precisa de trens longos para diminuir a densidade da malha ferroviária, apesar de ter um maior volume, tem uma quantidade de trens menor que a MRS e EFVM que possuem comportamento semelhante, a quantidade de trens teve o comportamento da seguinte ordem.

Tabela 8 – Quantidade de Trens Formados no Transporte Ferroviário de Cargas da EFC

Ano	Número de Trens Formados no Transporte Ferroviário, por mês												
	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	11.411	960	844	984	951	999	978	1.024	955	807	924	988	
2007	11.616	1.085	900	876	924	948	935	992	1.041	1.009	936	901	1.069
2008	14.340	984	948	810	718	1.434	1.373	1.443	1.406	1.341	1.421	1.265	1.197
2009	14.530	1.137	1.008	1.120	1.131	1.179	1.266	1.285	1.294	1.287	1.307	1.288	1.228
2010	15.628	1.201	1.126	1.234	1.067	1.323	1.295	1.409	1.420	1.414	1.414	1.339	1.386
2011	18.758	1.455	1.198	1.466	1.501	1.572	1.600	1.715	1.735	1.607	1.703	1.561	1.645
2012	18.236	1.393	1.259	1.371	1.497	1.538	1.603	1.629	1.639	1.597	1.611	1.560	1.539
2013	17.791	1.425	1.231	1.481	1.335	1.399	1.465	1.461	1.696	1.588	1.502	1.539	1.669
2014	17.922	1.554	1.231	1.428	1.419	1.506	1.455	1.420	1.577	1.379	1.711	1.644	1.598
2015	19.048	1.584	1.334	1.539	1.439	1.568	1.634	1.649	1.462	1.618	1.732	1.687	1.802
2016	13.613	1.712	1.611	1.744	1.182	888	804	917	944	960	900	939	1.012
2017	11.915	967	821	920	863	965	1.016	1.013	982	1.007	1.110	1.062	1.189

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

Além da velocidade, carga transportada e quantidade de trens de carga formados, outros fatores que impactam no ciclo operacional das ferrovias, temos também as disponibilidades físicas do material rodante (vagões e locomotivas), haja vista que as equipes para operar os trens são dimensionadas de forma a atender os trens e estes são os resultados dos dados anteriores. A disponibilidade e utilização das locomotivas das concessionárias brasileiras que possuem similaridade com a EFC, pode ser observada na tabela 9, a seguir:

Tabela 9 – Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da MRS Logística.

Ano	Disponibilidade de Locomotiva (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	74,70%	66,30%
2007	73,09%	67,57%
2008	75,45%	59,30%
2009	79,25%	39,30%
2010	73,94%	53,53%
2011	75,39%	54,79%
2012	79,16%	49,49%
2013	77,76%	48,65%
2014	78,57%	49,50%
2015	83,38%	42,58%
2016	80,10%	41,50%
2017	80,10%	41,81%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A tabela 10, mostra a disponibilidade e utilização da VLI tramo sudeste. Apesar de ter uma disponibilidade considerável e próxima das concessionárias que

possuem mesmo perfil de frota (EFVM e EFC), a utilização dos ativos está abaixo do esperado, gerando ociosidade no transporte de carga, podendo diminuir sua frota, caso seja necessário, ou mantê-la, de acordo com possibilidades de transportes futuros.

Tabela 10 – Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da FCA (VLI Tramo Sudeste).

Ano	Disponibilidade de Locomotiva (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	63,17%	76,24%
2007	62,82%	62,84%
2008	69,93%	56,54%
2009	71,87%	45,79%
2010	78,20%	52,77%
2011	68,73%	45,74%
2012	68,31%	47,23%
2013	67,45%	45,93%
2014	68,34%	42,44%
2015	73,14%	53,28%
2016	79,18%	39,16%
2017	76,83%	42,71%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A VLI, no tramo sudeste, possui o mesmo comportamento da MRS. No tramo norte da VLI, a FNS investiu em ativos novos comprando diversas locomotivas SD70 AC da EMD, podendo ter uma maior disponibilidade física, porém como seu produto é agrícola e depende da safra, sua utilização é menor conforme a tabela 11, a seguir.

Tabela 11 – Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da FNS (VLI Tramo Norte).

Ano	Disponibilidade de Locomotiva (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2008	92,16%	86,05%
2009	96,58%	65,95%
2010	94,56%	61,98%
2011	93,14%	63,19%
2012	98,44%	81,14%
2013	98,90%	76,50%
2014	98,79%	72,95%
2015	88,95%	43,90%
2016	93,19%	36,06%
2017	89,48%	52,22%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A EFVM possui um transporte parecido com a MRS e EFC, e vem mantendo a disponibilidade e utilização de suas locomotivas conforme tabela 12, a seguir:

Tabela 12 – Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da EFVM

Ano	Disponibilidade de Locomotiva (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	79,90%	80,56%
2007	82,18%	77,35%
2008	81,99%	79,66%
2009	86,19%	59,83%
2010	82,72%	77,28%
2011	84,82%	74,72%
2012	84,98%	73,88%
2013	84,98%	71,57%
2014	84,85%	67,84%
2015	85,17%	66,31%
2016	85,75%	67,68%
2017	84,89%	69,17%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A EFC possui dados bem semelhantes aos dados da MRS e da EFVM, de disponibilidade física, porém a utilização de seus ativos é muito maior, o que mostra uma otimização e maior giro de seus ativos, ajudando no atendimento do volume transportado conforme tabela 13, a seguir;

Tabela 13 – Disponibilidade e Utilização de Locomotivas no Transporte Ferroviário de Cargas da EFC

Ano	Disponibilidade de Locomotiva (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	85,29%	79,56%
2007	88,76%	90,99%
2008	88,36%	86,69%
2009	90,54%	68,84%
2010	88,12%	71,04%
2011	86,71%	77,38%
2012	87,43%	77,30%
2013	88,25%	73,82%
2014	87,95%	74,16%
2015	90,54%	71,11%
2016	88,82%	76,49%
2017	86,46%	81,15%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

O vagão como mencionado no capítulo 4, é um ativo que deve ter acompanhado seu desempenho, assim como a disponibilidade de locomotivas mencionada anteriormente, a disponibilidade física e utilização de vagões é uma parcela importante para o ciclo operacional. A disponibilidade e utilização de vagões da MRS são apresentados na tabela 14, a seguir:

Tabela 14 – Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da MRS Logística

Ano	Disponibilidade de Vagão (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	86,78%	91,53%
2007	86,49%	93,03%
2008	85,84%	86,93%
2009	87,62%	71,70%
2010	86,64%	86,34%
2011	88,90%	87,65%
2012	89,46%	87,50%
2013	91,59%	87,95%
2014	93,24%	84,01%
2015	94,84%	73,54%
2016	93,63%	73,59%
2017	93,47%	72,64%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A VLI Sudeste, tem uma boa disponibilidade física de vagões, porém tem uma utilização menor, pois cada vagão faz um tipo de transporte, tendo uma carga diversificada o que diminui sua utilização conforme a tabela 15, a seguir.

Tabela 15 – Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da FCA (VLI Tramo Sudeste)

Ano	Disponibilidade de Vagão (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	90,94%	93,60%
2007	83,62%	88,56%
2008	83,32%	73,79%
2009	86,49%	56,56%
2010	85,69%	59,91%
2011	83,30%	53,43%
2012	85,22%	25,50%
2013	85,08%	20,55%
2014	84,11%	21,40%
2015	84,14%	23,08%
2016	85,06%	21,98%
2017	83,59%	24,72%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

O tramo norte da VLI que é a FNS, também tem comportamento parecido com a VLI tramo sudeste, porém, possui disponibilidade maior devido à sazonalidade de seus produtos e à baixa utilização, relacionada à safra, como mencionado na disponibilidade e utilização de locomotivas, possuindo o comportamento conforme apresentado na tabela 16, a seguir:

Tabela 16 – Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da FNS (VLI Tramo Norte)

Ano	Disponibilidade de Vagão (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2008	97,34%	36,43%
2009	98,64%	51,08%
2010	98,13%	73,54%
2011	95,62%	80,84%
2012	95,79%	18,85%
2013	98,33%	16,92%
2014	97,02%	20,11%
2015	97,78%	17,60%
2016	98,45%	12,18%
2017	97,20%	20,34%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A EFVM apresenta disponibilidade e utilização bem semelhantes aos indicadores da MRS, além de possuir volume transportado, também, similar.

A tabela 17, a seguir mostra os resultados de disponibilidade e utilização de vagões da EFVM.

Tabela 17 – Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da EFVM

Ano	Disponibilidade de Vagão (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	90,61%	83,66%
2007	95,86%	81,46%
2008	92,97%	62,16%
2009	91,01%	74,47%
2010	90,97%	93,61%
2011	91,66%	93,32%
2012	92,00%	59,37%
2013	92,19%	46,82%
2014	92,94%	47,05%
2015	92,67%	50,21%
2016	92,80%	71,43%
2017	92,08%	73,87%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

A EFC possui a maior disponibilidade física de vagões, em comparação com a MRS e EFVM, que, apesar de fazerem um transporte semelhante, a utilização de seus ativos é bem superior, o que possibilita maior giro dos vagões e pode possibilitar um ciclo operacional melhor, devido a esta parcela conforme a tabela 18, a seguir:

Tabela 18 – Disponibilidade e Utilização de Vagões no Transporte Ferroviário de Cargas da EFC

Ano	Disponibilidade de Vagão (%)	Utilização da Disponibilidade (%)
2006	98,49%	45,91%
2007	97,86%	45,80%
2008	96,64%	69,27%
2009	95,98%	81,68%
2010	96,66%	91,32%
2011	97,06%	94,49%
2012	97,50%	79,30%
2013	97,43%	72,50%
2014	96,98%	71,67%
2015	95,93%	69,66%
2016	95,82%	83,10%
2017	95,73%	92,51%

Fonte: SAFF/SIADE (2006-2017).

Cada ferrovia possui características específicas, portanto, comparar o valor absoluto do ciclo operacional não é um comparativo racional, daí a necessidade de avaliar a carga transportada, velocidade média comercial, quantidade de trens na malha, disponibilidade e utilização de locomotivas, e disponibilidade e utilização de vagões de cada concessionária, pois estes indicadores nos ajudarão a entender, mesmo com as especificidades de cada ferrovia, como está a saúde do processo de cada uma. Assim, temos a possibilidade de fazer uma comparação de indicadores que compõe e/ou são resultados do ciclo operacional de cada uma delas. A EFC apresentou maior volume transportado em 2017, possui uma das maiores velocidades médias comerciais, e uma das menores quantidades de trens na malha, para o volume transportado. Entretanto, o que mais chama atenção nos indicadores analisados é a utilização de seus ativos, pois, mesmo com a disponibilidade de locomotivas e vagões próximas às ferrovias que possuem as mesmas características, que são MRS e EFVM, a utilização, na EFC, é bem maior, possibilitando maior giro da frota e atendimento ao ciclo operacional.

## 6 MODELO CONCEITUAL

O trabalho partiu de uma oportunidade de atuação direcionada à melhoria do ciclo médio de vagões e suas influências. Essas melhorias visam diminuir o tempo do giro dos ativos entre descarregamento e carregamento. As ações identificadas pelo grupo direcionam esforços a fim atingir esse objetivo, relacionado ao tempo de percurso na Estrada de Ferro Carajás

O levantamento de dados foi realizado utilizando informações históricas das áreas de planejamento, programação e controle das operações, engenharias, *benchmark* apresentado no item 5 e de consultas aos anuários da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT).

Durante o processo de levantamento de dados, utilizamos também o mapa estratégico da Diretoria de Operações Norte, que contempla ações necessárias para o atingimento do resultado diretamente associado ao volume transportado.

Diante dos dados levantados na fase de estudo, para formulação da base conceitual, o grupo procurou referências internas e externas com melhores práticas já experimentadas através de entrevistas com colaboradores, visitas, reuniões técnicas e referências bibliográficas.

Pessoas e áreas chaves do processo foram consultadas para capturar as melhores ideias ou práticas do assunto. Essas pessoas também foram fundamentais no processo de geração de propósito e valor para o tema, uma vez que participaram das pesquisas, análises e benchmarking. Essa participação em determinados casos pode ser entendida como um reconhecimento para o colaborador, que se sente parte integrante da equipe e contribui de maneira plena para o sucesso do projeto. Equipe engajada traz resultados consistentes.

Nessa fase a equipe também fez pesquisas importantes aprimorando os conhecimentos técnicos e abrindo o horizonte para pensamentos não convencionais.

Para termos uma base de excelência sobre ciclo vagões, precisaríamos ter como referência, um modelo que não considerasse efeitos que influenciam no tempo de percurso entre dois pontos.

Alguns eventos, naturais ao processo de circulação, devem ser desconsiderados para ter referência do modelo ideal.

Para essa construção do ciclo ótimo não deveriam ser consideradas as paradas de manutenção preventiva, paradas para troca de maquinistas, parada para

abastecimento e outros diversos eventos que geram interrupção do trem e aumentam o tempo de percurso.

Uma referência interna que utilizamos para captura de iniciativas de redução de ciclo é o trem de passageiros que circula seis dias por semana na Estrada de Ferro Carajás.

O trem de passageiros, precisa ter uma regularidade e pontualidade em respeito ao atendimento aos horários preestabelecidos nas estações de embarque e desembarque. Devido a essa necessidade de pontualidade de horários, o trem de passageiros tem prioridade na circulação da malha, fazendo com que os outros trens parem para sua passagem. Ele se assemelha com o ciclo ideal, mas este trem também faz paradas para trocas de maquinistas e embarque e desembarque de pessoas.

O tempo de circulação do trem de passageiros saindo de São Luís no Maranhão até a cidade de Parauapebas no sudeste do Pará é de 16 horas, com uma distância de aproximadamente 850 quilômetros. Como é um trem com prioridade em função do atendimento aos passageiros, seu percurso é direto, fazendo paradas somente para embarque e desembarque nas estações dos municípios atendidos.

O ciclo ótimo do trem de passageiros, sem considerar as paradas é de aproximadamente 10 horas e 37 minutos entre São Luís e Parauapebas utilizando uma velocidade média de 79 km/h.

Porém mesmo o trem de passageiros, que é um trem mais leve que os trens de carga, e conseqüentemente consegue imprimir uma velocidade média comercial em torno de 56Km/h quando consideramos as paradas de embarque e desembarque, troca de maquinistas e reabastecimentos, tem em média uma duração de 15 horas para o mesmo percurso. Esse é o tempo padrão praticado hoje com o trem de passageiros. O quadro 1 ilustra essa situação.

Quadro 1 – Comparação entre tipos de circulação

<b>Circulação</b>	<b>Trem de Passageiros</b>	<b>Velocidade média</b>
Sem Paradas	10:37:00	79 km/h
Com Paradas	15:00:00	56 km/h

Fonte: Própria (2018).

A adoção de uma grade regular de horário de partida e chegada de trens pode ser uma saída para regular e controlar o tempo de percurso. Isso será plenamente possível quando a ferrovia estiver com suas obras de duplicação terminadas.

Fazendo a mesma análise com tempos de percurso para os trens de minério, precisamos dividir a avaliação em trens vazios e carregados, uma vez que o peso do trem e o perfil da via influenciam diretamente nesse resultado. Com a comparação entre os tipos de trens e velocidades médias de circulação, teremos uma base para o modelo ideal dos tempos de percurso, essa comparação está descrita no quadro 2.

Quadro 2 – Comparativo de tempo e velocidade por tipo de trens

Circulação	Trem minério <b>Vazio</b> São Luís x Parauapebas (h)	Trem minério <b>Carregado</b> Parauapebas x São Luís (h)	Velocidade média <b>vazio</b> (km/h)	Velocidade média <b>carregado</b> (km/h)
Sem Paradas	12:05:24	17:27:44	74	52
Com Paradas	21:09:36	34:06:52	42	26

Fonte: Própria (2018).

A simulação foi realizada considerando um trem tipo de minério com uma tração de 4 locomotivas de 4400 HPs mais 330 vagões vazios ou carregados.

Nessa análise comparativa podemos ver que o tempo de parada influencia diretamente na velocidade média aplicada e conseqüentemente no tempo de percurso, quase dobrando sua duração total.

Portanto o modelo conceitual de análise do ciclo deve ter duas alavancas pelas quais devemos trabalhar diretamente para minimizar o impacto no ciclo. Essas iniciativas seriam o número de paradas e a velocidade média, dado que podemos considerar a distância entre os pontos de carregamento e descarregamento como fixa.

As ações identificadas no capítulo de proposta de soluções devem seguir na linha de atuação principalmente dessas duas iniciativas, alinhadas com o que foi desenvolvido no modelo ideal. Porém, ambos os direcionamentos precisam de investimento e possuem seus limites técnicos para realização.

Por exemplo, é necessário ter pelo menos uma parada para abastecimento de combustível, pelo menos quatro paradas para troca de maquinistas e ainda paradas para cruzamento com outros trens em trechos de linha singelas. Não é

possível que os trens circulem direto das minas de ferro para o porto, ou vice e versa, sem pelo menos essas paradas de abastecimento e troca de equipes de maquinistas.

As paradas geram impacto nas duas principais alavancas de atuação do ciclo, e seu controle é essencial para boa performance do sistema de transporte. Ações direcionadas para o controle do número de paradas e para aumento da velocidade média são de fundamental importância e devem estar desdobradas em indicadores estratégicos e itens de verificação de suporte ao negócio.

No modelo conceitual, utilizamos como base a circulação sem considerar as paradas de trens, somente utilizando velocidade e distância. Também como dito anteriormente, com a evolução do processo de duplicação, teremos menos impacto de paradas por motivo de manutenção de via. Uma vez que poderemos desviar os trens por uma linha e dar manutenção em outra.

Como indicador de performance, temos o acompanhamento da Velocidade Média Comercial. Esse item de controle considera a velocidade média de percurso menos o tempo médio de paradas por trem. Ele é apurado mensalmente e consolidado no ano. Sua medição é feita através do sistema de integrado de operações, que é uma fonte confiável e com possibilidade de ser auditada. O quadro 3 é o resultado das velocidades médias comerciais divulgadas pela EFC para a Agencia Nacional de Transporte Terrestre (ANTT).

Quadro 3 – Velocidade Média Comercial da EFC

Ano	Velocidade Média Comercial (VMC)
2014	22,98
2015	22,47
2016	24,07
2017	24,89

Fonte: Agencia Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2018). Elaboração própria.

Temos visto um aumento positivo no resultado desse indicador nos últimos anos em consequência as ações de duplicação da ferrovia e também da melhoria dos indicadores de performance de manutenção e de operação.

O controle e gestão desses indicadores são de fundamental importância para o sucesso do processo.

O indicador de número de paradas na ferrovia, é um item de verificação também fundamental para gerenciamento da velocidade média, uma vez que influencia diretamente no tempo de circulação e velocidade média.

Esse indicador foi considerado na Estrada de Ferro Vitória Minas como um item de verificação do processo de eficiência energética. Ele é indicado para ser utilizado e acompanhado na Estrada de Ferro Carajás, em função do resultado de um *benchmark* direto entre as duas ferrovias.

Ambos os indicadores, velocidade média comercial e número de paradas são de fácil medição.

Para que haja um controle efetivo no número de paradas e consequente aumento da velocidade média é necessária a utilização de um indicador de desempenho, esse é o primeiro passo para iniciar uma gestão adequada de qualquer processo.

Outra análise feita foi a comparação com práticas adotadas em outras ferrovias. Foram utilizadas como base de comparação e benchmark as ferrovias Estrada de Ferro Vitória a Minas e a MRS Logística. Da análise feita na Estrada de Ferro Vitória Minas, identificamos o indicador de KMEP (*Kilometer Médio Entre Paradas*), que mede a distância média entre paradas de ferrovia. A orientação do indicador é de quanto maior melhor. Significando maior espaço percorrido antes de uma parada.

A utilização deste indicador na Estrada Ferro Vitória Minas, foi idealizado inicialmente para controle de consumo de combustível, uma vez que a cada arrancada de um trem carregado com 330 vagões há um consumo de aproximadamente 250 litros de diesel. O benefício da economia de combustível trouxe consigo outra alavanca, que é o indicador de parada de trens, contribuindo para a regularidade e diminuição do ciclo de viagem.

## 7 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

O intuito principal deste estudo é direcionar esforços adicionais à operação de trens de minério na EFC de forma a otimizar o ciclo operacional de vagões. Conforme detalhado no modelo conceitual, consideramos neste projeto as alavancas de redução do número de paradas, sendo elas programadas ou não programadas e o aumento da velocidade média de circulação.

As paradas programadas são aquelas previstas no planejamento da malha ferroviária como por exemplo: as manutenções nos ativos lineares, troca de maquinistas (equipagem) e tempo de abastecimento. Já as paradas não programadas são aquelas geradas por falhas nos ativos ferroviários, interdições e ações de vandalismo.

Com objetivo de priorizarmos as ações, utilizamos uma matriz conhecida como CEB, avaliando critérios de:

- C – Custo: quanto vai custar para implementar, quanto menor melhor.
- E – Esforço necessário para implementar, quanto menor melhor.
- B – Benefícios: quanto vamos receber ao implementar, quanto maior melhor.

Na figura 12 temos os critérios de priorização da ferramenta CEB.

Figura 12 – Critério de priorização Matriz CEB

Critérios de Priorização			
	C	E	B
9	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Alto
7	Baixo	Baixo	Alto
5	Médio	Médio	Médio
3	Alto	Alto	Baixo
1	Muito Alto	Muito Alto	Muito Baixo

Fonte: Arruda Consult (2018).

Desta forma, conforme o quadro 4 foi estruturada a matriz de priorização da EFC considerando os três critérios já citados na matriz CEB. A coluna “Resultado” é obtida pelo fator multiplicação entre as outras colunas. Os campos assinalados em

verde, conforme sua pontuação, são os mais representativos e, portanto, serão objeto de estudo e dissertação deste projeto.

Quadro 4 – Matriz de priorização CEB da EFC

	C	E	B	Resultado
Gatilho de Formação do Trem 660 vagões	7	5	9	315
Projeto Sinal Verde	5	5	9	225
Projeto Anti-Vandalismo	5	5	9	225
Velocidade de acoplamento Helper Dinâmico	5	5	7	175
Modelo de Manutenção Blokada	5	3	7	105
Perdas Operacionais - Técnicas	5	3	5	75
Definição Ponto de Troca de Equipe	3	5	3	45

Fonte: Própria (2018).

Dentre as iniciativas mapeadas e priorizadas através da matriz CEB, o projeto anti-vandalismo, já estava em fase de implementação. Consideramos que é uma grande alavanca para obtenção do resultado de redução do ciclo operacional, além de ser um conjunto de iniciativas que visa proteger a integridade física das pessoas que trabalham na ferrovia e também dos ativos da EFC. Desta forma ele entra como um dos itens priorizados, mas não será objeto de desenvolvimento deste estudo, uma vez que suas ações já estão em sua maioria implantadas e estamos em fase de medição e acompanhamento dos resultados.

A seguir, serão detalhadas cada iniciativa e seus respectivos benefícios diretos no ciclo de vagões da Estrada de Ferro Carajás.

### 7.1 Gatilho de Formação do Trem 660 vagões

O trem de minério tipo em operação na EFC é composto por 330 vagões. Este trem tem o comprimento de 3.350 metros e capacidade de transporte de 34.500 toneladas. A EFC atualmente trabalha com dois modelos de trens e tem como base de sua formação o tipo de locomotiva e força (HP) disponível para tração. Os trens DC (*direct current*) são formados por quatro locomotivas com tração em corrente contínua. Já os trens AC (*alternate current*) são formados por três locomotivas com motores de tração em corrente alternada. O uso de motores de tração de corrente alternada em locomotivas é uma tecnologia recente e possibilita um controle de tração mais refinado do que o motor de corrente contínua, evitando assim que as rodas patinem por esforço excessivo. Desta forma podem ser fabricadas com potência

acima de 4000 HP. Assim um número menor de locomotivas AC substitui um número maior de locomotivas DC conforme comparação dos dois modelos na figura 13.

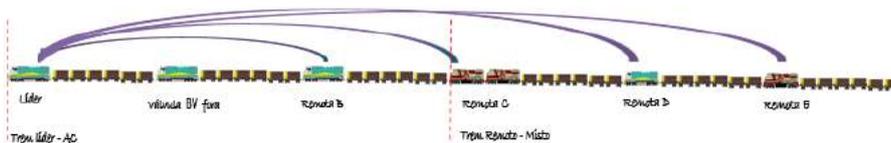
Figura 13 – Trem de minério tipo na EFC



Fonte: Própria (2018).

A ferrovia Carajás ainda possui alguns trechos singelos, o que causa uma espécie de “funil” ou afunilamento no planejamento da malha, uma vez que estes trechos não duplicados reduzem significativamente a capacidade de escoamento do transporte. Com objetivo de minimizar este efeito e regular a chegada de trens vazios nos pontos de carregamento, foi criado o trem com 660 vagões. Esse trem é formado pela junção de dois trens tipo de minério da Estrada de Ferro Carajás, tendo o comprimento de 6.700 metros, com tara, vazio de 14.190 t. e capacidade de transporte de 69.000 t. A configuração deste trem contempla as alternativas possíveis, quais sejam: trens AC+ AC, trens DC+DC e trens AC+DC. A figura 14 exemplifica uma formação do tipo AC+DC.

Figura 14 – Trem com configuração 660 na EFC



Fonte: Própria (2018).

A operação de um trem com essas características não é uma tarefa fácil e requer um planejamento e estudo detalhado, com base em simulações dinâmicas, utilizando simulador TDS 5000A e 6000A para cálculo das forças de tração e compressão. Além disso, requer um plano de trabalho que contemple a interface deste com sistemas de sinalização, com dispositivos periféricos de eletroeletrônica ao longo da ferrovia e com material rodantes (vagões e locomotivas).

A proposta abordada neste tema é então definir os gatilhos adequados para formação deste trem, que em resumo dará o suporte à ferrovia Carajás no que tange

à retomada de circulação dos trens após uma parada não programada da ferrovia, bem como à gestão de filas de trens, provenientes da região de gargalo. Região de gargalo é uma região de trecho singelo, ou seja, ainda não duplicada. Esta região está localizada entre o Km 695 e km 730 da EFC. Pelo menos um dos seguintes gatilhos serão necessários para a formação de um trem 660 vagões:

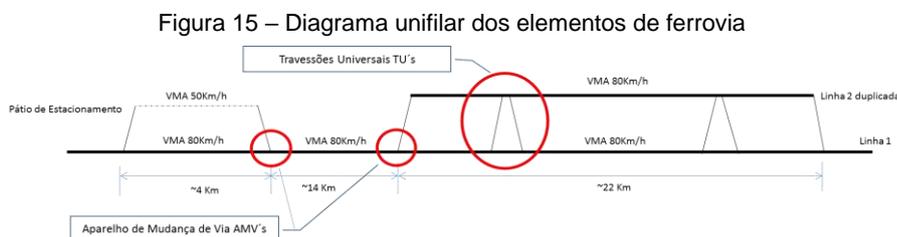
- Interrupção total de via maior que 4 horas nos trechos 3 ou 4 da EFC;
- Ociosidade com mais de 3 horas em pelo menos 2 silo de carregamento em Serra Norte.

## 7.2 Projeto Sinal Verde

Outra iniciativa de melhoria do ciclo operacional de vagões, o aumento da velocidade média, é uma das alavancas de extrema importância para obtenção do resultado de ciclo operacional almejado.

Conforme já dito em capítulos anteriores, para aumentar a capacidade de carga transportada, a Estrada de Ferro Carajás está passando de um modelo de linha singela com pátios de cruzamento para um modelo de linha duplicada com travessões universais, (TU), que são um conjunto de Aparelho de Mudança de Vias (AMV's), responsáveis pela mudança de uma linha para outra, que permitem a flexibilização para passagens dos trens nas diferentes linhas. A duplicação está alterando a matriz de dormentes da EFC de madeira para concreto e, também, o tipo de fixação desses dormentes. Os dormentes de concreto têm vida útil maior que os dormentes de madeira e suportam uma carga maior do que os dormentes usados na construção da ferrovia.

A figura 15, mostra de forma gráfica, em um diagrama unifilar, como são representados os elementos de via e o posicionamento referencial das linhas.

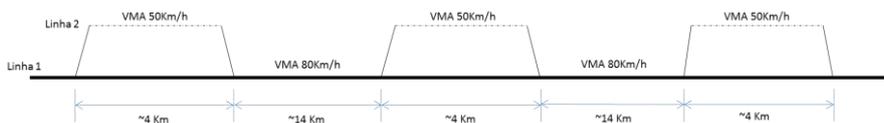


Fonte: Própria (2018).

O modelo de duplicação considera que as antigas linhas de estacionamento sejam recuperadas para que tenham a mesma capacidade de circulação das atuais linhas principais. Em média essas antigas linhas de estacionamento têm quatro quilômetros de extensão e é fundamental que sejam capacitadas para receber os trens. As linhas de estacionamento são linhas projetadas para receber trens com uma velocidade máxima de 50 km/h. A limitação dessa velocidade é em função da velocidade de entrada no AMV, esses equipamentos não permitem que veículos entrem com velocidade superior devido ao ângulo de entrada na linha, para não correr o risco de provocarem descarrilamento dos veículos ferroviários. Essa atividade que permite a capacitação das antigas linhas de estacionamento para linhas novas recebe o nome de remodelação de via. O projeto o qual remodela essas linhas recebeu o nome de Sinal Verde, uma alusão ao aspecto de sinal que os trens receberão quando essas linhas estiverem totalmente capacitadas sendo a última atividade do projeto.

A figura E a seguir, mostra como era a configuração da EFC com linhas singelas e pátios de estacionamento de veículos antes do início processo de duplicação da linha 2.

Figura 16 – Esquemático de ferrovia de linhas singelas e pátios de estacionamento

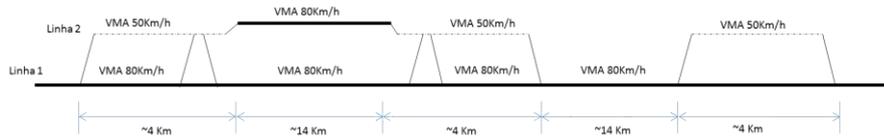


Fonte: Própria (2018).

O modelo de duplicação projetado, considera basicamente a ligação entre dois pátios de estacionamento subsequentes, em termos práticos, o processo consiste em construir linhas férreas interligando os atuais pátios de cruzamento. Essas linhas foram construídas com características técnicas capazes de suportar o peso dos trens de minério carregados com velocidades máximas de até 80 km/h e de proporcionar o aumento da capacidade de transporte, alterando a velocidade de circulação de trens.

A figura 17, mostra o esquema da ferrovia após serem interligados dois pátios de estacionamento subsequentes e a construção dos TUs.

Figura 17 – Esquemático de ferrovia em processo de duplicação



Fonte: Própria (2018).

Após a interligação dos dois pátios de estacionamento, com uma linha totalmente nova, habilita-se as antigas linhas 2 para dar início ao processo de remodelação total de via e consequentemente alterar sua velocidade máxima autorizada.

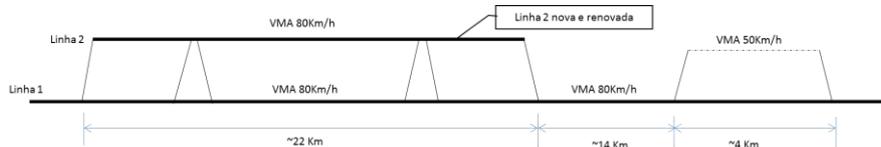
Para completarmos esse projeto são necessários três macros atividades:

- 1) Desguarnecimento total da linha: consiste em substituir o lastro, camada de brita compreendida entre a plataforma do sublastro e os trilhos.
- 2) Renovação da superestrutura: consiste em substituição dos trilhos, dormentes e fixações da ferrovia.
- 3) Alteração do código do circuito de via, que consiste, de fato, alterar o aspecto de sinal recebido pelo trem para circular com velocidade de até 80 km/h no trecho remodelado.

Após as atividades serem realizadas, temos graficamente a seguinte representação do diagrama das linhas agora duplicadas, renovadas e habilitadas para receber trens com velocidade máxima autorizada de 80km/h.

A figura 18 representa esse diagrama.

Figura 18 – Esquemático de ferrovia com trecho duplicado



Fonte: Própria (2018).

Antes da avaliação sobre a remodelação das linhas de estacionamento é feito um estudo da infraestrutura para avaliar a capacidade de receber carga dinâmica. Após essa avaliação e sendo capaz de suportar a nova demanda de esforço esse pátio de estacionamento pode ser remodelado.

Definida a metodologia de execução desta atividade, é necessário estruturar o melhor sequenciamento de linhas dos pátios de estacionamento a serem remodelados. Esse sequenciamento levou em consideração, além dos pontos habilitados para serem remodelados pela duplicação, outros aspectos como confiabilidade de manutenção e ganho de velocidade média.

O primeiro é uma associação com pátios que precisavam receber novos materiais e assim diminuir a taxa de falhas daquele trecho de ferrovia. Dessa forma diminuimos o número de intervenções e paradas e aumentamos a disponibilidade de via.

O segundo, ganho de velocidade média, avaliou os trechos já duplicados e estabelecer uma sequência de acordo com a maior captura de velocidade média de cruzeiro na região. Quanto mais o trem permanecer em velocidade de cruzeiro melhor sua velocidade de percurso.

O quadro 5, mostra a sequência definida para a remodelação no ano de 2018, essa priorização como dito levou em consideração aspectos de manutenção e captura de velocidade média de cruzeiro.

Quadro 5 – Cronograma de remodelação dos pátios de estacionamento no projeto sinal verde

Meses	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
PÁTIOS REMODELA DOS	P03	P11	P12	P10	P15	P31	P32	P49	P50
	P06	P09	P13	P14	P18	P38	P55	P54	P40
	P04			P17	P16		P52	P51	P36
	P08				P19			P53	

Fonte: Própria (2018).

Para a execução do projeto, é necessário um acompanhamento diário das renovações de via permanente, uma vez que para que essa etapa se concretize demanda-se recursos materiais e de pessoas.

Temos previsão de finalizar o projeto do Sinal Verde no ano de 2019 e o ganho esperado em confiabilidade do sistema de via permanente é de zero falhas no primeiro ano de implantação de cada trecho do projeto, reduzindo a taxa total em 0,1% por trecho no primeiro ano.

### 7.3 Velocidade de acoplamento do Helper Dinâmico

Os trens de minério, independente da configuração, necessitam do auxílio de uma tração, que deve ser acoplada ao último vagão (cauda do trem) para que possa vencer as rampas existentes no trecho compreendido entre os km 617 e Km 480 da Estrada de Ferro Carajás. Essa ajuda de tração extra não é necessária nos demais trechos da ferrovia e, portanto, esse incremento fica restrito a esse trecho. Até o ano de 2009 esse acoplamento e desacoplamento era feito de maneira estática, o que gerava perda de tempo e maior consumo de combustível.

A necessidade de otimizar esta operação levou à criação de um equipamento/sistema que permite o acoplamento e desacoplamento sem a necessidade de parada dos trens, esse processo ficou conhecido como *helper dinâmico*. Para que esse projeto fosse positivo, como tem sido desde então, houve o envolvimento de diversas áreas como engenharias, manutenção eletroeletrônica, operação de trens e centro de controle de operações. A figura 19, ilustra como é o processo do *helper dinâmico* e os desafios para o aumento da sua velocidade.

Figura 19 – Processo de helper dinâmico na EFC



Fonte: Própria (2018).

A velocidade de acoplamento do *helper dinâmico*, é calculada eletronicamente por meio de sensores a *laser*, que identificam a velocidade do trem a frente e determinam como deve ser sua velocidade relativa para acoplamento. No trem carregado, que vai a frente do *helper*, é instalado um dispositivo chamado *End Of Train* (EOT), que baliza através de sinal de rádio o correto posicionamento e a distância entre os dois equipamentos. Sem esse dispositivo não há como efetuar a conexão em movimento.

O quadro 6 abaixo mostra a velocidade relativa de acoplamento de acordo com a distância entre a cauda do trem e a tração extra que será acoplada.

Quadro 6 – Comparativo entre distância e velocidade relativas

Distância Relativa mínima metros (m)	200	100	50	25	12	5	0
Velocidade Relativa Máxima Km/h	20	15	10	7	5	3	3

Fonte: Santos (2009).

Com o passar do tempo foi possível identificar melhorias no processo de conexão dessa capacidade extra de tração, essas oportunidades foram associadas e fazem parte da proposta de solução deste trabalho.

Identificamos que, com experiência tácita adquirida pelos maquinistas que conduzem os trens na região e a duplicação do trecho da ferrovia onde é feita a junção dos trens, é possível viabilizar ações para aumentar a velocidade de acoplamento passando para máxima de 40 km/h. Esse aumento de velocidade proporcionará diminuição do tempo de percurso e conseqüentemente a diminuição do ciclo operacional.

Para que essa melhoria operacional seja possível, é necessário um estudo técnico indicando o ponto de acesso do trem, mudança no processo de licenciamento da locomotiva que fará a conexão com o trem em movimento e a avaliação e potência dos equipamentos capazes de fazer a comunicação entre os dois trens.

O aumento da velocidade de acoplamento gera uma limitação de tentativas de sucesso de acoplamento, uma vez que a distância máxima de comunicação entre os equipamentos é de 1000 metros, se houver uma falha de comunicação entre os dois trens não haverá espaço disponível para mais tentativas de acoplamento, tornando assim o processo inviável.

O trabalho identificado como alavanca para melhoria do ciclo operacional, consiste em identificar e reduzir essas limitações para que o maior número de trens tenha sucesso no processo de junção.

Para isso, em conjunto com as áreas de manutenção de eletroeletrônica, engenharia, operações de trens e centro de controle, foi elaborado um estudo identificando as ações que precisam ser executadas para a viabilidade do aumento de velocidade de acoplamento dos trens.

O estudo, através de simulação, mostrou que existe uma viabilidade para o aumento da velocidade, porém foram necessárias análises complementares para avaliação dos equipamentos de comunicação do projeto. O resultado indicou a

necessidade de reavaliação do software do controlador do *helper* com distancias de até 1000 metros entre os dois trens e a avaliação da potência do rádio.

Dentro do estudo multidisciplinar foram determinadas ações para complementação da avaliação técnica de viabilidade as quais precisarão ser implementadas. São elas:

- Estudo de viabilidade de Instalação de uma repetidora para o sinal de rádio do *helper dinâmico*.
- Analise de potência de sinal de rádio com auditoria do posicionamento do EOT na testeira do vagão.
- Analise de potência de sinal de rádio utilizando o analisador de espectro.
- Mudança na variável de memória do controlador do EOT que altera distância de comunicação de 1.000 metros para 1.500 metros.

Esta última ação tem se mostrado viável e com o efeito positivo de eximir a necessidade de instalação de uma repetidora do rádio e mantendo as características operacionais e de instalação do EOT.

A seguir a figura 1 mostra como é o posicionamento do EOT na cauda do último vagão.

Figura 20 – Posicionamento do EOT no último vagão do trem carregado



Fonte: Própria (2018).

Com o projeto esperamos diminuir o tempo perseguição da locomotiva de *helper* com o trem carregado, tendo assim ganho direto no *transit time* do trecho e

ganhando em ciclo de linha. O ganho esperado com a diminuição deste tempo é de 10 minutos para cada trem de minério carregado na Estrada de Ferro Carajás.

Outros ganhos indiretos no projeto também estão sendo apurados como o aumento dos sucessos nos acoplamentos dinâmicos, buscando um aumento de 10% na quantidade de conexões em movimento, proporcionadas pela minimização da perda de comunicação entre os dois equipamentos e com a mudança da variável de memória do EOT, que viabiliza maior espaço e possibilidade de mais tentativas de acoplamento.

Mesmo com o desenvolvimento tecnológico que permitirá um aumento da velocidade do *helper* dinâmico, temos um grande desafio que é treinar e padronizar todo o processo, para que todos os maquinistas tenham o mesmo desempenho durante a operação. Essa ação depende de um treinamento técnico robusto, que coincida com as execuções práticas que ocorrem em todos os trens carregados da EFC. Com isso esperamos que seja satisfatória a alteração da velocidade do trem *helper*.

## 8 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as informações e dados coletados durante o processo de pesquisa, concluímos que duas alavancas atuam diretamente na redução efetiva do tempo de circulação de trens e conseqüentemente no ciclo operacional de vagões de uma ferrovia, essas iniciativas devem buscar prioritariamente reduzir o número de parada de trens e aumentar a velocidade média de percurso dos equipamentos ferroviários.

Para conseguirmos agrupar todos os dados, documentos técnicos, apresentações e materiais que proporcionaram a realização desse material, foi fundamental a participação de várias pessoas que trabalham ou não na Vale. Essa colaboração foi essencial não somente para a obtenção do material, mas também para formação de uma base conceitual que permitiu ao grupo discutir as melhores alternativas, propor ideias e definir ações que irão suportar a redução de ciclo operacional, objetivo do trabalho.

Como parte do material de apoio é importante destacar o mapa estratégico do sistema norte da Vale. Este documento teve um papel de bússola, guiando nossa equipe e cumprindo sua proposta. Buscamos direcionar as ações para proporcionar o alinhamento com o propósito principal da empresa, reforçando que o que se espera, é que esse trabalho traga resultados práticos diretamente associados com os objetivos da alta direção. Desta forma objetivamos garantir a tradução da estratégia da empresa em ações operacionais, por meio principalmente do trabalho das pessoas e do desenvolvimento de processos e de tecnologia.

O trabalho gerou a oportunidade de nos aprofundarmos nas iniciativas e estudos já iniciados e também de propor novas ações para reforçar a busca pela excelência operacional. Buscamos também, criar uma forma de priorizar as iniciativas estratégicas, direcionando e otimizando recursos para projetos específicos com resultados práticos mais palpáveis e associando, ainda o custo de implantação, esforço e benefícios, com tais iniciativas.

Dentre os projetos indicados no mapa estratégico, após feita a priorização correspondente, acreditamos que sua implantação será fundamental para obtenção dos resultados.

O projeto de gatilhos de formação do trem 660 vagões, permitiu que determinássemos quando esse modelo de trem deve ser utilizado, uma vez que, ao

ser empregado, quando não for claramente necessário, pode proporcionar um transtorno operacional pois, como tem um padrão de operação muito específico pode causar inclusive perda de ciclo operacional indo de encontro ao seu propósito.

Outra iniciativa que precisa ter um acompanhamento com vistas a não gerar um efeito colateral é o aumento da velocidade de acoplamento do *helper* dinâmico. Esse projeto além das ações técnicas voltadas para aumento da capacidade de área de abrangência do sinal de rádio, possui um viés de treinamento operacional, controle de manutenção dos ativos e cumprimento de procedimentos. É de suma importância que os procedimentos operacionais sejam realizados na íntegra e, portanto, mais uma vez as pessoas estão no centro do projeto, seja tanto para a implantação, quanto para a operação ou para a manutenção dos equipamentos de suporte ao processo.

As ações referentes ao aumento de velocidade média através do aumento da velocidade máxima autorizada, o projeto Sinal Verde, é um projeto que demanda um investimento alto em remodelação de via e está totalmente suportado no mapa estratégico da diretoria. O resultado desse projeto será um aumento da confiabilidade de via permanente e conseqüentemente aumento da velocidade do trecho em questão. O aumento da confiabilidade de via permanente, traz um efeito colateral positivo que é a diminuição dos acidentes ferroviários. Em uma linha nova a taxa de falhas cai para níveis de projeto gerando uma segurança operacional gerando uma maior capacidade para as equipes de manutenção atuarem de forma preditiva e preventiva, através das técnicas de manutenção disponíveis, deixando de fazer as corretivas emergências.

Quanto às ações anti-vandalismo, essas já estão em fase de implantação e visam reduzir a quantidade de paradas e conseqüentemente o tempo de percurso. Elas também possuem um viés institucional pois também visam coibir atividades ilícitas que ocorrem ao longo de determinados trechos. Essas práticas criminosas têm sido recorrentes e crescido ao longo dos últimos anos. Elas demandam ações do poder público, no âmbito da segurança pública, que não tem alinhamento direto com a Vale, razão pela qual não foram abordadas no estudo.

Esse trabalho também tem como escopo, os colaboradores da empresa que são responsáveis diretamente por um importante papel, relacionado às manutenções e operações da EFC. Eles precisam estar e se sentir protegidos nessas regiões onde estamos vulneráveis à ação de terceiros. Todas as ações têm por objetivo final impedir

o ato de vandalismo aos equipamentos e proteger as pessoas que precisam estar expostas à esta situação.

As propostas priorizadas permitirão que os ganhos indicados em redução do número de paradas e aumento da velocidade média sejam quantificados após sua implantação, para isso é importante que seja dado continuidade aos indicadores de acompanhamento de implantação de cada projeto proposto. Esses indicadores irão gerenciar a evolução de realização das ações e servirão de base para indicadores de resultado que são itens de controle do indicador de ciclo operacional.

Julgamos que a proposta de atuação dos itens para diminuir o número de paradas e aumentar a velocidade média também proporciona de forma positiva a diminuição do tempo de jornada dos maquinistas, visto que os locais de troca são fixos e é preciso na maioria das vezes que as equipes cheguem nos pontos de substituição da condução. Com a redução média de paradas o tempo de permanência nos trens tende a diminuir e, conseqüentemente, também as horas extras das equipes proporcionando um ganho extra na qualidade de vida das pessoas que operam os trens.

Diante de todas as oportunidades de ações identificadas no trabalho, e de todos os contatos realizados, temos a certeza de que ainda existem outras iniciativas a serem capturadas no intuito de continuar a explorar os ganhos operacionais que essas melhorias proporcionam. Pensando já em continuidade com o amadurecimento dos projetos priorizados podemos abordar as iniciativas levantadas no estudo inicial, já tendo um ponto de partida para novos desenvolvimentos.

Por fim o projeto elaborado permitiu aos elaboradores uma aproximação das equipes de engenharia, manutenção e operação tanto da Estrada de Ferro Carajás, Estrada de Ferro Vitória a Minas e também da MRS logística, além de uma forma de procurarmos bibliografias especializadas que contribuíram para o enriquecimento teórico e prático da equipe.

É importante registrarmos, ainda, a receptividade das pessoas envolvidas no projeto, seja para consulta, captação de material ou, simplesmente, trocando ideias e gerando aprendizado para o grupo, a partir do relacionamento direto com novas áreas, empresas, pessoas ou mesmo pelo aprofundamento em assuntos diretamente relacionados com o tema do trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. **Iniciativa de repetidora de sinal de HD**. São Luís: Vale, 2018.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Anuário Estatístico**. SIADE ANTT. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/ferrovias/Anuario\\_Estatistico.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/Anuario_Estatistico.html)>. Acesso em: 19 de MARÇO de 2018.

ARRUDA CONSULT. **Matriz de Priorização CEB**. Disponível em: <<http://www.arrudaconsult.com.br/2015/02/matriz-de-priorizacao-ceb-aprenda-usar.html>>. Acesso em: 20 de março de 2018.

ARREBOLA, Alexandre – Curso de Pós-graduação em Engenharia Ferroviária - **Operação Ferroviária** – Notas de Aula – VALE – São Luis – Brasil – 200

COELHO, D. M.; METZKER, G. A.; REZENDE, L. C.; TEIXEIRA, S. M. **Estratégia para unificação dos sistemas de compras das unidades da Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU**. Programa de Especialização em Gestão de Negócios. Belo Horizonte: FDC, 2016.

DNIT. **Glossário de termos ferroviários**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/ferrovias/glossario-de-terminos-ferroviarios/glossario.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2018.

FERREIRA, R. R. **Novo modelo de perdas do transporte de carga geral da EFC com base no dimensionamento**. 2012. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Ferroviária). UNDB. São Luís, 2012.

GHELERE, H. **Headway dos trens 330, revisão do DT 15721**. São Luís: Vale, 2016.

MONTENEGRO, I. **Excelência Operacional: o desafio da melhoria contínua**. S/L. Sobratema, 2016.

MUCCI, G. **Operação Ferroviária**. Belo Horizonte: ILOS, 2009.

ROSA, R. **Operação Ferroviária: planejamento, dimensionamento e acompanhamento**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SANTOS, P. M. **Procedimento para o Helper Dinamico na EFC**. São Luís: Vale, 2009.

VALE. **A história de uma produtiva ferrovia**. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/carajas-railway/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2018.

\_\_\_\_\_. **Quem Somos**. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2018.

\_\_\_\_\_. **Vale :nossa história**. Rio de Janeiro: Verso Brasil, 2012.

## GLOSSÁRIO

- Ações de vandalismo – Ações de terceiros que atrapalham a circulação ferroviária
- Aparelhos de mudança de via – Conjunto de peças colocadas na concordância de duas linhas para permitir a passagem dos veículos ferroviários de uma linha para a outra
- Arrancada de um trem – Retirada da inércia de uma composição ferroviária
- Aterros – Massa prismóide de terra que se coloca sobre o terreno natural visando alcançar determinada altura com a face superior da massa, que coincide com o leito da ferrovia
- Carregamento – arrumação de carga para o transporte ferroviário
- Ciclos carregados – Tempo de percurso do trem carregado
- Ciclo de equipagem – Tempo de percurso para completar uma viagem para dimensionamento de maquinistas
- Ciclo de material rodante – Tempo de percurso para completar uma viagem para dimensionamento de vagões e locomotivas
- Ciclo Operacional de Vagões – Tempo de percurso de um vagão para completar um ciclo na ferrovia
- Ciclo operacional de viagem – Tempo de percurso de uma viagem de trem de sua origem até o retorno a mesma Cortes – Escavação feita no terreno lateral para preparo do leito da ferrovia, através da retirada de material
- Ciclos vazios – Tempo de percurso do trem vazio
- Circulação ferroviária – Fluxo de trens na malha ferroviária
- Código do circuito de via – Sinal enviado a um determinado circuito de via que permite ao trem ser conduzido
- Concessionária ferroviária – Empresa que obteve o privilégio de transportar as mercadorias exploradas
- Contra o trilho – Peça de trilho curvo nas extremidades, colocado paralelamente ao trilho da linha, para impedir da roda descarrilhar ou ainda, evitar que o friso da roda se choque com a ponta do jacaré ou da agulha
- Descarregamento – destinação da carga da ferrovia para o porto

Descarrilamento - acidente em uma estrada de ferro. Ocorre quando o trem sai dos trilhos, ou quando bate em outro trem que está na mesma linha. Mas também pode ser sair de um trilho e entrar em outro que não é o desejado

Desguarnecimento total da linha – Retirada do lastro para limpeza, sua graduação, e a reposição na via do material aproveitável

Dormentes – Peça de madeira, concreto, aço ou elastômero onde os trilhos são apoiados e fixados e que transmitem ao lastro parte dos esforços e vibrações produzidos pelos trens

Drenagem – escoamento das águas superficiais e subterrâneas, ou abaixamento do lençol freático, visando manter seca e sólida a infraestrutura da linha

Eficiência energética – É a atividade que procura melhorar o uso das fontes de energia, para atingir um determinado resultado, na ferrovia, a principal fonte de energia é o combustível das locomotivas que na VALE é o diesel

End Of Train – Dispositivos que instalados na cauda do trem que indicam sua integridade

Equipagens – Pessoal de serviços a bordo das composições

Falhas nos ativos ferroviários – Falhas de sistemas que compõe a ferrovia diminuindo sua capacidade de transporte

Ferrovia - Sistema de transporte sobre trilhos que atravessa certa extensão territorial e por onde circulam trens que conduzem passageiros e/ou os mais diversos produtos

Fixação – Dispositivo para fixar os trilhos, mantendo a bitola da via e impedindo e/ou reduzindo o caminhamento dos mesmos

Friso – Adorno de circunda a estrutura da roda para evitar o descarrilamento do roldão pelo movimento natural de serpenteamento devido a superfície cônica da roda ferroviária

Geometria de linha – Estado projetado de uma linha férrea de nivelamento e alinhamento de acordo com a cotas da ferrovia em seu traçado

Grade de trens – Programação de trens para um determinado período

Headway- Intervalo entre trens

Helper dinâmico – Sistema de ajuda para o trem carregado durante a circulação, para evitar sua parada e vencida da rampa durante a circulação

Indicadores de manutenção - Indicadores que monitoram a performance da manutenção ferroviária

Indicadores de operação – Indicadores que monitoram a performance da operação ferroviária

Interdições – Paradas indesejadas com causas externas que afetam a circulação de trens

Junção dos trens – União de dois ou mais trens

Lastro – Parte da superestrutura ferroviária, que distribui uniformemente na plataforma os esforços transmitidos através dos dormentes, impedindo o deslocamento dos mesmos, oferecendo suficiente elasticidade à via, reduzindo impactos e garantindo-lhe eficiente drenagem e aeração

Licenciamento – Ordem para a circulação de trens, que indica linha desimpedida, dada pelo agente, autorizando a partida do trem

Linha tronco – Trecho principal das linhas de uma via férrea do qual derivam os ramais ou linhas secundárias

Locomotivas – Veículo impulsionado por qualquer tipo de energia, ou uma combinação de tais veículos, operados por um único dispositivo de controle, utilizado para tração de trens no trecho e em manobras de pátio

Malha ferroviária – Conjunto de linhas ferroviárias que integram uma ferrovia

Manobras ferroviárias – Movimentação de veículos ferroviários

Manutenção de via – Manutenção dos equipamentos constituintes da via permanente

Maquinistas – Conductor de trens

Material rodante – Compõe-se de material de tração, carros de passageiros, vagões para mercadorias, animais, bagagens, etc.

Motor de tração – Motor elétrico de corrente contínua ou alternada destinado a propulsão da locomotiva

Oficinas ferroviárias – Instalações preparadas para dar manutenção nos veículos ferroviários  
Operação ferroviária – Atividades de operacionalização dos trens na malha ferroviária para transporte

Pátios – Área de esplanada em que um conjunto de vias é preparado para a formação de trens, manobras e estacionamentos de veículos ferroviários e outros fins

Pátio de cruzamento – Local onde se acham dispostas diversas linhas utilizadas pelas composições para cruzar dois os mais trens

Peras ferroviárias – Via férrea acessória (de traçado curvilíneo ou mistilíneo) destinada a inverter a posição do trem por marcha direta

Projeto Sinal Verde – Mudança de parâmetros de sinalização com a possibilidade de aumento da velocidade máxima do trem de 50 km/h para 80 km/h nas linhas remodeladas

Ramais ferroviários – Trecho de linha que se destaca da linha tronco (principal) da estrada de ferro

Renovação da superestrutura – Substituição do trilho, dormente e fixação de uma linha férrea

Repetidora de sinal de rádio – Conjunto de equipamentos, normalmente instalados em locais de altitude elevados, e que tem a capacidade de transmitir um sinal e retransmiti-lo ao mesmo tempo, em duas frequências diferentes.

Restrições de velocidade – Redutores de velocidade que possuem causas internas e externas à ferrovia

Rotação dos vagões – giro da frota de vagões no período de tempo determinado

Serra Leste – Mina de minério de ferro localizada na serra dos Carajás na região leste do complexo minerário de Carajás.

Serra Norte – Mina de minério de ferro localizada na serra dos Carajás na região norte do complexo minerário de Carajás.

Serra Sul – Mina de minério de ferro localizada na serra dos Carajás na região sul do complexo minerário de Carajás.

Simulador TDS 5000A e 6000A – Simulador que possibilita entender os esforços no trem e definir o modelo de operação ferroviária em uma ferrovia

Sinalização – Aparelhamento empregado para controlar o movimento dos trens

Sistema Norte – Sistema integrado que abrange as minas do complexo minerário de Carajás, Estrada de Ferro Carajás e Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.

Sub lastro – Parte inferior do lastro, em contato direto com a plataforma da linha e constituída de material mais econômico que a parte superior, porém capaz de oferecer suficiente condições de drenagem e ter capacidade de suporte para as pressões que lhe forem transmitidas

Superelevação – Inclinação transversal dada à via, para contrabalancear os efeitos da força centrífuga

Tempo de jornada dos maquinistas – Carga horária dos maquinistas na condução de trens e deslocamentos para início e término das jornadas

Terminais – Conjunto de equipamentos e edifícios localizados nas pontas das linhas de uma estrada de ferro, ou mesmo em pontos intermediários, ocupados para o trânsito de passageiros, e reagrupamento de cargas e também formação e despacho de trens

Traçado da ferrovia – Forma que a linha férrea possui do início ao final

Tração – Formação do trem para determinada operação ferroviária

Tramo – Trecho de via permanente

Transit time – Tempo que o trem leva para completar certo percurso ou viagem

Travessões universais – Uma linha diagonal provida de chaves nas duas extremidades, ligadas a linhas paralelas, a fim de permitir a passagem de trens de uma das linhas paralelas para outra

Trecho remodelado – Trecho renovado com a mudança da velocidade máxima de 50 km/h para 80 km/h

Trem 660 vagões – Trens com 660 vagões de minério e 6 locomotivas

Trens de carga geral – Trens que transportam cargas diferentes de minério de ferro tais como: combustível, celulose, grãos, etc. na Estrada de Ferro Carajás

Trens de passageiros – Trem destinado ao transporte de pessoas da Estrada de Ferro Carajás

Trens de serviço – Trens que atendem a manutenção ferroviária

Trens tipo – Quadro de tração padronizado utilizado pela ferrovia

Trilhos – Barras de aço em formato especial, assentada em fila dupla sobre dormentes, nas quais circulam as rodas dos vagões e locomotivas

Vagão – Veículo destinado ao transporte de cargas

Velocidade de acoplamento – Velocidade da locomotiva para perseguir o vagão da causa do trem para realizar o Helper Dinâmico do trem

Via Permanente – Conjunto de instalação e equipamentos que compõe a infra e superestrutura da ferrovia

Virador de vagão – Equipamento que gira o vagão em seu próprio eixo para descarregar o vagão tipo GDT em um terminal ferroviário

Volume transportado – Carga transportada no período entre a mina e porto