



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

ENNIOGLEISER PEREIRA DE CARVALHO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MODAL FERROVIÁRIO POR
ANÁLISE TRADE-OFF UTILIZANDO CONCEITO DE CUSTO TOTAL**

São Luís

2018

ENNIOGLEISER PEREIRA DE CARVALHO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MODAL FERROVIÁRIO POR
ANÁLISE TRADE-OFF UTILIZANDO CONCEITO DE CUSTO TOTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em
Energia em Ambiente da Universidade Federal do Maranhão,
para obtenção do grau de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Sávio Mendes Sinfrônio

São Luís

2018

ENNIOGLEISER PEREIRA DE CARVALHO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MODAL FERROVIÁRIO POR
ANALISE TRADE-OFF UTILIZANDO CONCEITOS DE CUSTO TOTAL**

Aprovado em: ____/____/____

CONCEITO:_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Sávio Mendes Sinfrônio (Orientador)
Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA/UFMA)

Prof. Dr. Shigeaki Leite de Lima
Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA/UFMA)

Prof. Dr. Júlio Cezar de Oliveira Freitas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

A Deus, pelo dom da vida.
Aos meus pais, pelo incentivo e carinho
constantes.

*A satisfação está no esforço e não apenas na
realização final”*

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas graças que tem propiciado em minha vida e pela força nos momentos de aflição.

Aos meus pais Ionaldo e Edinete, e ao meu irmão Habniesley por me ensinarem as virtudes que me definem e pelo exemplo de vida que são, sempre me dedicando amor e orientando as minhas decisões.

À minha avó Ozanete pelo amor, dedicação e confiança.

Aos meus filhos Luís Felipe e Maria Luísa por me propiciar momentos ímpares de felicidade mesmo quando em situações difíceis.

À minha esposa Luciana pelo amor, companheirismo e dedicação, sem a qual eu não teria conseguido realizar esse trabalho. Estendendo o agradecimento a sua família a quem sou muito grato.

Aos meus eternos amigos de curso Kardilson Rodrigues e Tiago Tenório pelo companheirismo e por compartilhar, de forma intensa, um período tão importante para minha vida.

Agradeço a Vale S. A., pela liberação para participar deste mestrado, sempre acreditando e investindo em meu desenvolvimento e aos colegas de trabalho desta companhia, pelo apoio com material bibliográfico e estudos.

À Universidade Federal do Maranhão, ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente e aos meus professores pela dedicação que me propiciaram muito aprendizado.

Aos professores Shigeaki Leite de Lima e Júlio Cezar de Oliveira Freitas por terem aceito o convite para participar da banca.

Em particular, ao meu orientador Francisco Sávio Mendes Sinfrônio pela paciência e pelos ensinamentos que tornaram possível a realização deste trabalho.

RESUMO

A indústria de mineração possui significativa atuação do modal ferroviário no processo logístico devido este ser o melhor modal terrestre para balancear a relação entre transporte de cargas pesadas e custos operacionais. Os custos operacionais mais representativos estão relacionados ao consumo de combustível. Com base na literatura foi observado que estudos relacionados à eficiência energética do modal ferroviário são muito menos frequentes do que no modal rodoviário. Então, este trabalho realizou um estudo de caso na Estrada de Ferro Carajás, ferrovia com maior densidade de carga do Brasil, dividido em 3 etapas: Avaliação de custos, avaliação de capacidade e análise de *trade-off*. Na avaliação de custos de transporte da EFC foi identificado que a parcela de combustíveis corresponde a aproximadamente 50%. Para análise da eficiência energética foram utilizados conceitos de análise PDCA e identificado que as configurações dos modelos de tração influenciavam significativamente os resultados, sendo a configuração com 4 locomotivas de corrente contínua a que apresenta a melhor eficiência energética ($1,408 \times 10^{-3} \text{l.t}^{-1}.\text{km}^{-1}$). Foi identificado o modelo ótimo de tração, para melhor eficiência energética, proporcionando redução de consumo de aproximadamente 216 litros de combustível por viagem. Avaliando a composição de custos com bases em relatórios apresentados à ANTT foi possível estimar os custos anuais médios por ativo, assim como os custos fixo de operação por trem. Na análise de capacidade os tempos de viagem das três configurações de tração usuais foram estudados. Foi identificado que os dados apresentaram elevada variabilidade (18%) impossibilitando uma análise comparativa efetiva entre cenários, uma vez que o trem de menor potência apresentou menor tempo de viagem, o que não era esperado segundo análise teórica. Combinando modelos teóricos de dimensionamento de capacidade ferroviária foi possível avaliar a relação entre tempo de viagem com quantidade de ativos necessários, de modo que 1 hora de ciclo corresponde a aproximadamente 0,77 trens equivalentes (3 ou 4 locomotivas e 330 vagões). Na análise de *trade-off* foi observado que 45% das iniciativas possuíam relação entre eficiência energética e capacidade de transporte. Utilizando a metodologia de análise financeira VPL (valor presente líquido) aplicada ao conceito de custo total, proveniente da logística integrada, foi avaliada a viabilidade financeira de alguns cenários envolvendo avaliação de eficiência energética e ciclo de viagem. Foi estimado VPL equivalente à análise de sensibilidade referente ao aumento de 1h no ciclo de viagem. Quanto à otimização de modelos de tração foi estimado VPL com a melhor combinação de tração. A aplicação de análise de *trade-off* de custos logísticos se mostraram fundamentais para auxiliar a tomada de decisão e garantir maior competitividade do modal ferroviário.

Palavras-chave: Modal Ferroviário, *Trade-off* Logístico, Eficiência Energética, Custo Total.

ABSTRACT

The mining industry uses a lot of modal rail transport because this is the best land modal to balance the relationship between heavy haul and operating costs. The most representative operating costs are related to fuel consumption. Based on the literature, was observed that studies related to the energy efficiency of the railway modal are much less frequent than in the modal road. Then, this work carried out a case study on the Carajás Railroad, the most heavily loaded railroad in Brazil, separated into 3 steps: Cost evaluation, capacity evaluation and trade-off analysis. In the evaluation of transport costs of the EFC, the fuel share was approximately 50%. Concepts of Deming cycle(PDCA) analysis was used to analyze the Energy Efficiency, was identified that the traction types had a significant influence on the results. the traction with 4 DC locomotives presents the best energy efficiency ($1.408 \times 10^{-3} \text{ l.t}^{-1} \cdot \text{ km}^{-1}$). The optimum traction model was identified for better energy efficiency, providing a consumption reduction of approximately 216 liters of fuel per trip. Assuming the costs based on reports submitted to ANTT, the average annual costs per asset and fixed costs of operation per train. In the capacity analysis the travel times of the three usual traction configurations were studied. It was identified that the data showed high variability (18%), making it impossible to perform an effective comparative analysis between scenarios, since the lower power traction presented less travel time, which was not expected according to the theoretical analysis. Combining theoretical models of railway capacity sizing, was possible to evaluate the relation between travel time with quantity of necessary assets, one cycle hour corresponds to approximately 0.77 equivalent trains (3 or 4 Locomotives and 330 wagons). In the trade-off analysis, was observed that 45% of the initiatives had a relation between energy efficiency and transport capacity. Using the financial analysis methodology NPV (Net present value) applied to the concept of total cost, derived from integrated logistics, the financial feasibility of some scenarios relating to energy efficiency and travel cycle was evaluated. A NPV was estimated equivalent to the sensitivity analysis referring to the 1-hour increase in the travel cycle. Regarding the optimization of traction models, a potentially positive NPV was estimated to the best traction type. The application of trade-off analysis of logistical costs proved to be fundamental to take decision and ensure greater competitiveness of the railway modal.

Keywords: modal railway, trade-off logistic, energy efficiency, total cost.

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 | Objetivo geral | 17 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 17 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA | 18 |
| 3.1 | Industria de Mineração | 18 |
| 3.1.1 | Custos da Industria da Mineração – Minério de Ferro..... | 21 |
| 3.2 | Logística | 23 |
| 3.2.1 | Operadores Logísticos..... | 23 |
| 3.2.2 | Logística integrada..... | 24 |
| 3.2.2.1 | Custo Logístico Total..... | 26 |
| 3.2.2.2 | Trade-off de custos da Logística..... | 30 |
| 3.2.3 | Logística de transporte | 32 |
| 3.2.3.1 | Estudos operacionais | 35 |
| 3.2.3.2 | O Modal Ferroviário | 36 |
| 3.2.3.2.1 | Estudos operacionais em Modal ferroviário | 39 |
| 3.2.3.2.2 | Metodologias de dimensionamento de capacidade ferroviária..... | 41 |
| 3.3 | O Processo de Tomada de Decisão | 44 |
| 3.3.1 | Método de análise de processo | 46 |
| 3.3.2 | A Análise de investimentos como auxílio na tomada de decisão | 49 |
| 4 | METODOLOGIA | 53 |
| 4.1 | Coleta de Dados | 53 |
| 4.2 | Análise dos dados | 54 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 57 |
| 5.1 | Contexto do negócio | 57 |
| 5.2 | Identificação dos principais trade-off logísticos | 59 |
| 5.3 | Identificação das principais parcelas de Custo | 63 |
| 5.3.1 | Estudo de Eficiência Energética para análise de gastos com combustível | 67 |
| 5.3.1.1 | A Identificação do Problema | 67 |
| 5.3.1.2 | O Indicador de Eficiência Energética | 68 |
| 5.3.1.2.1 | Resultado histórico..... | 68 |
| 5.3.1.3 | Análise do Fenômeno..... | 69 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.3.1.3.1 | Estratificação do Indicador..... | 69 |
| 5.4 | Identificação das parcelas relacionadas à capacidade..... | 73 |
| 5.4.1 | Análise dos ciclos para os modelos de trem da EFC | 77 |
| 5.5 | Análise de Trade-off baseada no ciclo, eficiência energética e modelo de tração | 78 |
| 5.5.1 | Análise de situação ótima para Eficiência Energética | 78 |
| 5.5.2 | Avaliação de configuração de tração de menor custo total | 79 |
| 5.5.3 | Trade-off –Quantificando a influência do ciclo..... | 82 |
| 5.5.4 | Trade-off –Trem misto considerando variações no ciclo | 84 |
| 6 | TRABALHOS FUTUROS | 87 |
| 7 | CONCLUSÃO | 88 |
| | REFERÊNCIAS | |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Volume de transporte de minério de ferro e manganês, da EFC..... | 15 |
| Figura 2: Configurações de tração aplicados na EFC..... | 16 |
| Figura 3: Evolução da logística a partir de 1960..... | 23 |
| Figura 4: Logística integrada: Nível de serviço e custo total..... | 26 |
| Figura 5: Esquema da Via Permanente..... | 37 |
| Figura 6: Ciclo PDCA..... | 47 |
| Figura 7: Localização Estrada de Ferro Carajás..... | 57 |
| Figura 8: Frota de locomotivas da EFC desde 2009 até projetado 2019..... | 58 |
| Figura 9: Frota de Vagões da EFC desde 2009 e projetado até 2019..... | 59 |
| Figura 10: Entendimento do indicador de eficiência..... | 68 |
| Figura 11: Resultados do indicador de Eficiência Mfe EFC em $l.t^{-1}.km^{-1}.10^{-3}$ | 69 |
| Figura 12: Planejamento da estratificação de dados de eficiência energética..... | 70 |
| Figura 13: Resumo da análise de priorização de dados de Eficiência Energética..... | 72 |
| Figura 14: VPL cenário base x modelo de tração menor custo total, sem considerar impacto no ciclo do trem misto..... | 81 |
| Figura 15: VPL ao longo de 25 anos equivalente ao impacto do aumento de 1h no ciclo..... | 84 |
| Figura 16: VPL x Tempo adicional no ciclo do trem misto..... | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Exemplos de ações e reações nas soluções logísticas..... | 31 |
| Tabela 2: Comparativo modais de transporte..... | 34 |
| Tabela 3: Classificação das características operacionais por modal de transporte..... | 35 |
| Tabela 4: Passos da Análise e Solução de Problemas – Ciclo PDCA. | 48 |
| Tabela 5: Volume transportado em 2016, ferrovias heavy haul no Brasil..... | 58 |
| Tabela 6: Iniciativas passíveis de avaliação de trade-off para a EFC..... | 62 |
| Tabela 7: Gastos operacionais anuais na EFC..... | 63 |
| Tabela 8: Representatividade dos gastos fixos da EFC por natureza. | 63 |
| Tabela 9: Representatividade dos gastos variáveis da EFC. | 64 |
| Tabela 10: Custos Operacionais da EFC 2018 por área em milhões de reais. | 64 |
| Tabela 11: Representatividade dos custos operacionais da EFC, em 2018, por área. ... | 65 |
| Tabela 12: Premissas utilizadas para análise trade-off..... | 66 |
| Tabela 13: Eficiência energética por modelo de tração..... | 73 |
| Tabela 14: As principais variáveis relacionadas à capacidade de transporte ferroviário. | 74 |
| Tabela 15: Característica das locomotivas da EFC e quantidade em trem. | 75 |
| Tabela 16: Cenário base de configuração de modelos de tração dos trens da EFC. | 76 |
| Tabela 17: Tempo de viagem por configuração de tração..... | 77 |
| Tabela 18: Quantidade de trens por modelo de tração para melhor eficiência energética | 79 |
| Tabela 19: Parâmetros financeiros utilizados para análise de VPL..... | 79 |
| Tabela 20: Quantidade de trens por modelo de tração para menor custo total sem considerar variações no ciclo..... | 80 |
| Tabela 21: Variações financeiras - cenário base vs cenário de menor custo total..... | 80 |
| Tabela 22: Premissas levando em consideração variações de ciclo de viagem. | 82 |
| Tabela 23: Variações financeiras - Cenário Base x Cenário Base com aumento de 1 hora no ciclo. | 83 |
| Tabela 24: Equivalência de 1 hora no ciclo em dimensionamento de ativos..... | 83 |
| Tabela 25: Configuração de tração ótima com base na análise de 4 horas de ciclo a mais em “trem misto”. | 85 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Referência à locomotivas de tração por Corrente Alternada (*Alternating Current*)

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

AAR - *Association of American Railroads*

CNT - Confederação Nacional dos Transportes

DASH-9 - Referência ao modelo de locomotiva GE série C44[”]4400Hp

DC – Referência à locomotivas de tração por corrente contínua (*Direct Current*)

DF – Disponibilidade física

EE – Eficiência energética

EFC – Estrada de Ferro Carajás

EFVM – Estrada de Ferro Vitória - Minas

EVO - Referência ao modelo de locomotiva GE série *Evolution* 6000Hp

FNS - Ferrovia Norte Sul

GPV – Gestão da Produção VALE (Sistema contendo dados de operação ferroviária)

Hp – Cavalos de potência (do anglicanismo *Horse Power*)

MFe – Minério de Ferro para exportação

Mn - Manganês

Mta – Milhões de toneladas por ano

QCA – Referência ao terminal de carregamento de Carajás (Serra Norte)

QSL - Referência ao terminal de carregamento de Serra Leste

QSS - Referência ao terminal de carregamento de Serra Sul

SD70 - Referência ao modelo de locomotiva EMD série SD70 4300Hp

SD80 - Referência ao modelo de locomotiva EMD série SD80 5300Hp

TKB –Comumente utilizado para Tonelagem por Quilômetro-Bruto (peso útil + tara)

TMA – Taxa Mínima de atratividade

VLI - Valor da Logística Integrada

VPL -Valor Presente Líquido

1 INTRODUÇÃO

O modal ferroviário para transporte de carga pesada (do anglicanismo, *heavy haul*), via de regra envolve a indústria de mineração pela elevada densidade de carga dos seus produtos. Devido as suas características intrínsecas, as indústrias de mineração e/ou de manufatura de produtos minerais possuem papel fundamental no desenvolvimento tecnológico e de consumo da sociedade contemporânea. Todavia, tais indústrias têm passado por uma significativa reestruturação logística no intuito de atender as demandas de mercado, sociais e, principalmente, ambientais.

Do ponto de vista operacional, muito tem sido proposto quanto ao melhoramento da logística e, conseqüentemente dos custos de escoamento das matérias-primas minerais, desde os locais de extração até destinos de beneficiamento e/ou consumidor,

Em se tratando transporte terrestre, o modal ferroviário é o modal que melhor equaciona o binômio capacidade/custos, especialmente no segmento *heavy haul*. É observado que o custo final dos seus produtos está diretamente ligado ao consumo total de combustível.

Do ponto de vista operacional, o consumo mássico de combustível ferroviário precisa ser monitorado constantemente no intuito de maximizar a competitividade das empresas (redução de custos unitários), bem como de minimizar os impactos ao meio ambiente.

Avaliando a literatura especializada, observa-se que estudos relacionados à melhoria da eficiência no transporte ferroviário são muito menos frequentes do que no transporte rodoviário. Não raro, observa-se que as tomadas de decisões táticas pelos operadores logísticos ferroviários nem sempre conseguem correlacionar o fator custo benefício entre a melhoria ou piora na eficiência energética (**aqui simplificado em consumo unitário de combustível por unidade de massa transportada ao longo de uma distância**), muito menos levando em considerações o custo total do processo.

Isto acontece, muitas vezes, pelo desconhecimento das relações contraditórias existentes na logística ferroviária. Some-se a isso o fato de os “tomadores de decisão” nem sempre conhecerem as relações entre as variáveis de custos devido a “departamentalização” das organizações. De acordo com Mentzer *et al.* (2004), as pesquisas sobre logística ferroviária têm sido marcadas por simplificações de componentes individuais, não construindo assim uma teoria logística unificada.

Nesse contexto, questionamentos do tipo: “como diminuir um custo sem aumentar outro?” são comuns diante dos vários cenários possíveis para atendimento de uma determinada demanda. Assim, a prática das Trocas Compensatórias (do anglicanismo, *Trade-off*) é uma

regra que diz que para cada custo que você reduz dentro da organização, pode ocorrer um aumento de custo em outra área ou atividade.

No caso específico do modal ferroviário, analisar *trade-off* possibilita o aumento da eficiência energética, a elevação da velocidade média dos trens, variações no modelo de tração, dentre outras, quantificando o conflito entre esses objetivos, por exemplo.

Neste trabalho, propõe-se a avaliação de *trade-off* de custos logísticos ferroviários para responder questionamentos do tipo:

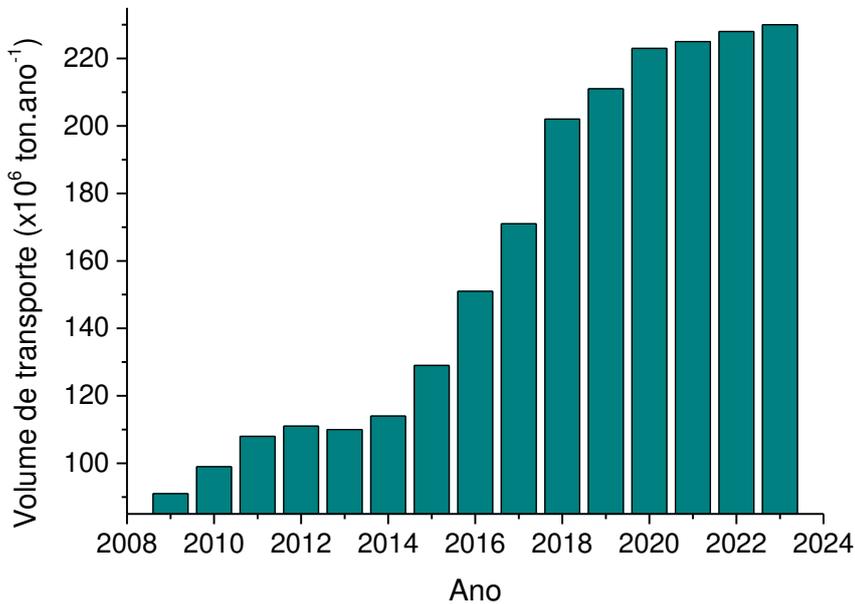
- Qual melhor momento para compra de locomotiva?
- Vale a pena essa iniciativa de condução econômica?
- Qual melhor modelo de tração dos trens?
- É viável buscar aumentar a velocidade média do trem (redução de ciclo)?
- É viável aumento de tamanho do trem?
- Devo buscar aumentar de disponibilidade física de ativos?
- Compensa aumentar peso médio de carga dos vagões?
- Aumentar a quantidade de trem na malha melhora o custo unitário?

Do ponto de vista prático, destaca-se a interdisciplinaridade que esta produção promove ao integrar estudos operacionais de logística ferroviária à conceitos de contabilidade, ao aplicar o conceito do custo total e identificar os *trade-off* de custos avaliando possíveis decisões tomadas na logística ferroviária *heavy haul*.

Um estudo de caso foi realizado na Estrada de Ferro Carajás (EFC). A EFC apresenta seu parque logístico de material rodante tracionado por locomotivas diesel-elétricas e apresenta o consumo de óleo diesel como o maior custo da ferrovia, na ordem de 50% dos custos operacionais totais.

A demanda global de minério de ferro tem aumentado significativamente nos últimos anos demandando um aumento no número no parque de locomotivas e, conseqüentemente, do consumo de combustível para transportar essa demanda. Analisando o planejamento estratégico de logística da EFC, observa-se o incremento significativo dos volumes de transporte de minério de ferro ao longo dos próximos anos, conforme apresentado na Figura 1. Este é apenas um dos sistemas, localizado na região Norte-Nordeste do Brasil (estados do Pará e Maranhão).

Figura 1: Volume de transporte de minério de ferro e manganês, da EFC.



Fonte: Autor.

Operar um volume acima de 200×10^6 ton.ano $^{-1}$, faz a EFC uma das ferrovias com maior densidade de carga do mundo (relação entre carga e malha ferroviária). Os custos correntes relacionados à logística ferroviária do transporte do minério de ferro na EFC, em 2019, será da ordem de 2×10^9 R\$.ano $^{-1}$, sendo o consumo de combustíveis (diesel e biodiesel) responsáveis por praticamente metade deste valor.

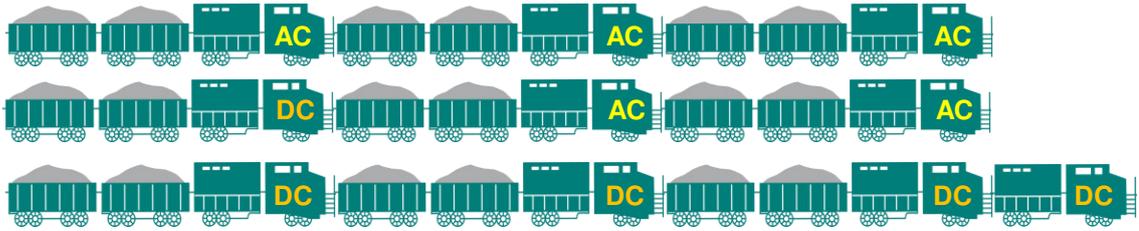
Se os custos com combustíveis soam exorbitantes, com custos da cadeia de produção de minério (mina, usina, ferrovia, porto e distribuição, dentre outros) na ordem de 35 US\$.ton $^{-1}$ e preços de mercados do minério de ferro com 62% de concentração na ordem de 70 US\$.ton $^{-1}$, a rentabilidade de 100% do custo de produção garante lucros anuais superiores a 7×10^9 US\$.

No mapa de custos de uma operação ferroviária, muitas variáveis podem ser otimizadas visando a eficiência energética, como a configuração de modelo de tração dos trens (ou arranjo de modelo de tração, com é vulgarmente empregado) e os modelos de locomotiva, por exemplo.

O efeito relacionado à potência do trem na demanda total de combustível ainda é pouco estudado. Normalmente, são apenas observadas a eficiência energética isolada do sistema, como um indicador específico da relação consumo por carga transportada, sem levar em consideração as variações de tempo de ciclo (do anglicanismo, *transit time*).

Na configuração atual da EFC são utilizadas três modelos distintos de tração, a citar: três locomotivas de corrente alternada (AC), duas locomotivas de corrente alternada (AC) associada a uma locomotiva de corrente contínua (DC), este chamado comumente de “trem misto” e, por fim quatro locomotivas de corrente contínua (DC) conforme Figura 2.

Figura 2: Configurações de tração aplicadas na EFC.



Fonte: Autor.

Essas três configurações apresentam potências líquidas (Hp) distintas, cada modelo de tração oferece um parâmetro de eficiência e tempo de ciclo específico. Todavia, tais parâmetros (ativos, ciclo e eficiência) precisam ser estudados de forma interligadas dada a sua significativa interdependência.

Neste contexto, este trabalho tem com intuito avaliar o *trade-off* entre ciclo, eficiência energética e modelos de tração, usando como base análise de custo total.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os *trade-off* logísticos envolvendo eficiência energética de modal ferroviário utilizando conceito de Custo Total.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar um quadro dos *trade-off* logísticos existentes entre as atividades ferroviárias do caso estudado;
- Identificar os principais elementos que compõem o custo ferroviários e estimar custos unitários operacionais por ativos/trens;
- Mensurar e avaliar a eficiência do transporte de minério na EFC;
- Levantar as principais variáveis que influenciam na capacidade de transporte ferroviário de cargas;
- Identificar o modelo de tração com maior eficiência energética para o fluxo vazio, carregado e total;
- Propor uma configuração de modelo de tração capaz de gerar redução de custos totais, com base na análise comparativa VPL (Valor Presente Líquido).
- Aplicar conceito de Custo Total para avaliação do *trade-off* para iniciativas de eficiência energética que envolvam variação no ciclo;
- Fomentar a análise de *trade-off* de custos logísticos em operação ferroviária, visando aumentar a competitividade desse modal.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Indústria de Mineração

A mineração, enquanto o conceito de extração de substâncias minerais, está presente na vida do homem desde a Pré-História, quando pedras eram destinadas para o desenvolvimento de utensílios e armas (SIMINERAL, 2015).

O desenvolvimento da mineração até os dias atuais ocorreu paralelamente ao desenvolvimento da civilização humana, sendo inclusive associado a períodos específicos da história: Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A utilização de minerais evoluiu de ferramentas e utensílios pré-históricos até dispositivos para fissão nuclear nos dias atuais, passando por moeda de troca na Idade Média e equipamentos e máquinas da Idade Moderna (HARTMAN; MUTMANSKY, 2002). Todavia, o termo mineração só vem surgir a partir do século XVI, quando pesquisadores começaram a estudar os minerais pensando em compreender as formas, funções e valores desses produtos (SEMINERAL, 2015).

Do ponto de vista formal, Sampaio e França (2010) definem os produtos oriundos da mineração como:

“Corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na crosta terrestre” e um minério como “rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, que podem ser aproveitados economicamente. Os minérios ou minerais são classificados em energéticos, metálicos e não-metálicos, sendo que esta última classe é ainda dividida em subclasses (SAMPAIO e FRANÇA, 2010).

Isnarah (2016) reforça que, com base no grande avanço tecnológico, surgem também tecnologias responsáveis, dentro da mineração, pelo controle ambiental. A necessidade de desenvolvimento dessa tecnologia limpa dentro da mineração surge com os vários riscos à saúde do trabalhador mineiro e do meio ambiente, fazendo a indústria assim investir pesado em materiais de “ponta” para a segurança de ambos, em que hoje são aplicados em vários países subdesenvolvidos e se obtém bons resultados.

Outro fator, destacado por Figuerôa (2004) foi que, como a mineração surgiram novas atividades econômicas lucrativas, na qual os investimentos realizados eram muito altos e com retorno garantido. Dessa forma, a mineração exerceu influência no processo migratório de muitas regiões e ajudou no povoamento e no descobrimento de novas terras mundo na busca de minerais valiosos.

No Brasil a Indústria mineral pode ser reportada nas diferentes fases políticas do país, desde 1500 quando Colônia, passando por Império e chegando à República que é atualmente.

No primeiro regime, o Brasil Colônia no período de 1500 - 1822, era grande a expectativa de Portugal de encontrar metais preciosos, mas a atividade predominante foi o extrativismo dos recursos da floresta (pau-brasil) e agrícolas (açúcar). Somente 200 anos depois do descobrimento, no século XVIII, se deu o ciclo do ouro, acompanhado da exploração de diamantes e esmeraldas. Esse ciclo durou apenas 70 anos (1700 - 1770), e o Brasil produziu o equivalente a 50% do total da produção mundial, cerca de mil toneladas de ouro e 3 milhões de quilates de pedras preciosas (FIGUERÔA, 1994).

Na descoberta do ouro houve grande corrida, atraindo pessoas de outras regiões da Colônia além de Portugal, e provocando profundas mudanças econômicas, sociais e políticas, impulsionando aceleradamente a integração territorial, através do comércio interno, da ampliação das estradas e por propiciar diversos serviços e ofícios. A mineração foi responsável por grande parte da ocupação territorial do país, principalmente do interior: Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Porém, por utilizarem técnicas muito rudes e muitos acidentes de trabalho por falta de técnicas apropriadas, as reservas foram rapidamente extinguidas (FIGUERÔA, 1994).

No Brasil Império (1822-1888) a estrutura industrial brasileira era praticamente inexistente, tendo apenas duas dezenas de oficinas artesanais, sendo o comércio exterior o supridor do mercado interno. Os produtos agrícolas extraídos no Brasil eram trocados por manufaturados importados de todos os tipos. Até ao final deste período, foi se construindo uma ampla malha ferroviária e uma estrutura de portos diversificada, o que ampliou o sistema de trocas. Foram implantadas pequenas usinas de ferro e novas fábricas de tecidos e iluminação elétrica nas cidades maiores (ABREU, LAGO, 2010).

Segundo Lins, Loureiro e Albuquerque (2000) as minas foram abertas à iniciativa privada, atraindo sobretudo os ingleses, mas também belgas e franceses, para extração de ferro e de ouro, reativando minas anteriormente exploradas e abandonadas por falta de tecnologia. Foram utilizadas inovações, novas tecnologias avançadas para a época como, perfuratrizes pneumáticas, dinamite, escavações subterrâneas, trilhos, pilões para moer o minério e liberar o ouro, iluminação, máquina a vapor. Sete companhias inglesas se estabeleceram entre 1824 e 1834 para lavra de ouro em locais como São José Del Rei, hoje Tiradentes, São João Del Rei, Sabará e Itabira do Campo.

O período republicano, foi marcado por várias mudanças na indústria de mineração com o encerramento do primeiro ciclo, ocorrido nos períodos colonial e imperial, onde achava-

se que haviam se esgotados os recursos minerais. Mas já na década de 1900 se inicia o segundo ciclo da mineração com novas tecnologias de extração.

De acordo com Barreto (2001), o processo de declínio do primeiro ciclo do ouro ocorrido no Século XIX, foi motivado por se acreditar que as jazidas superficiais tinham se esgotado. Durante este século, foi iniciado sem muito sucesso um novo ciclo a procura de jazidas primárias de ouro.

O segundo ciclo mineral do Brasil inicia-se a partir dos anos 1950, concretizando-se no final da década de 1960. Barreto (2001) afirma que grande parte do atual parque mineral brasileiro foi construída recentemente durante as décadas de 1970 e 1980. Para Germani (2002), na década de 1950, foi implantada a mina de manganês, no Amapá, e iniciada também a nova fase de modernização das minas de Itabira, já com técnicos brasileiros e americanos, sendo introduzido novas técnicas de perfuração e desmonte, o uso de escavadeiras elétricas e caminhões fora de estrada.

Barreto (2001) lembra que em 1942 foi criada a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), sendo considerada pioneira nas décadas de 1960 e seguintes introduzindo novas técnicas de perfuração, escavadeiras e caminhões fora de estrada com capacidades cada vez maiores. A CVRD, com o corpo técnico brasileiro foi pioneira, também, na aplicação de planejamento informatizado, controle de qualidade na lavra, com aplicação de geoestatística, mecânica de rochas aplicadas à estabilidade de taludes, deposição controlada de rejeitos, rebaixamento de lençol freático em minas, transporte de minério e estéril por correias em ambos os sentidos e aproveitamento de minérios de baixo teor.

A mina de Taquari-Vassouras, implantada pela Petrobrás e assistida por técnicos franceses no início dos anos 1980, aplicando método de lavra subterrâneo de alta produtividade, estando arrendada para a CVRD, que a modernizou colocando-a em níveis de produtividade internacional (GERMANI, 2002).

Assim, a história do Brasil e a da mineração estão intimamente relacionadas com a busca e o aproveitamento dos seus recursos minerais, que sempre contribuíram para a economia nacional, fazendo parte da ocupação territorial e da história nacional. Souza (2001) afirma que o início da atividade mineral no Brasil se confunde com o próprio processo de colonização do país, pela exploração de riquezas minerais, baseada na escravidão e visando o mercado externo.

3.1.1 Custos da Indústria da Mineração – Minério de Ferro

A extração de minério de ferro é uma indústria instalada na grande parte dos países. Os dez maiores produtores mundiais de minério de ferro são: China, Brasil, Austrália, Índia, Rússia, Ucrânia, África do Sul, Irã, Canadá e Estados Unidos da América (IPEADATA 2012).

Segundo Silva (2011), os minérios de ferro são rochas que podem ser obtidas do ferro metálico, de maneira economicamente viável, não sendo tão cara quanto outros metais. O ferro é o quarto elemento químico em abundância na crosta terrestre, ou seja, cerca de 4,2% da litosfera são constituídos de ferro.

Os principais minerais que contêm ferro são: hematita, magnetita, goethita e siderita. As formações ferríferas bandadas, denominadas itabirito, compostas de hematita e sílica, constituem-se nos maiores depósitos de minério de ferro (DNPM, 2013).

O minério de ferro é um componente fundamental no processo de industrialização de qualquer país (LAMOSO, 2001). Hoje, a indústria de mineração do Brasil se destaca por:

- Nos últimos 10 anos, o valor da produção da indústria extrativa mineral (mineração e lavra garimpeira) cresceu 550%, à custa de significativas ampliações produtivas;
- Uma produção que acontece em 3.354 minas, a grande maioria a céu aberto, de pequeno porte e para uma ampla gama de minerais não metálicos, que produzem uma gama de 72 substâncias minerais, das quais 23 são metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas, além de algumas centenas de garimpos não legalizados, principalmente de ouro e diamantes;
- Em 2014, o país obteve uma produção de 36 mil milhões de euros, da qual a maior parte, 30 milhões de euros destinaram-se para as exportações. O minério de ferro, exportado principalmente para a China lidera, respondendo por 60% das vendas externas;
- Os investimentos estimados, de 2014 a 2018, são de 48 milhões de euros, e a grande maioria é feita por empresas multinacionais (IBRAM, 2014).

No Brasil, apenas cinco empresas são responsáveis por 90% da produção nacional, dentre elas: Vale, Minerações Brasileiras Reunidas, Companhia Siderúrgica Nacional, Ferteco e Samitri. Apesar da concentração da produção, ainda existem empresas de pequeno porte, no Brasil, que exploram juntas menos de um milhão de toneladas anuais. Essas empresas vendem sua produção para grandes mineradoras, para produtores de ferro-gusa ou pequenas metalúrgicas (LAMOSO, 2001).

Silva (2011) reforça que tais empresas têm como características básicas o desenvolvimento de tecnologias para o aumento da produtividade, para a redução de custos e para o aperfeiçoamento de ferramentas e métodos que auxiliem no planejamento e operações. Isto acarreta modificações na produção em todos os seus processos.

Segundo KOPPE (2007) a atratividade dos preços das commodities e a expansão da economia de diversos países emergentes redundaram em forte aporte de investimentos na indústria de mineração.

Segundo SILVA (2009), a definição dos tipos de equipamentos e/ou sistemas a serem utilizados para o manuseio de minérios, a média ou longo prazo, devem considerar os seguintes aspectos: capacidade manuseada, distância de transporte, topografia do terreno, infraestrutura disponível na região, interferências no meio ambiente e economicidade, nesse contexto o processo logístico apresenta papel fundamental.

Para Quevedo (2009) as operações de carregamento e transporte são as mais críticas e complexas em um complexo mineral, já que representam aproximadamente 60% dos custos operacionais entre todos os processos relacionados. Assaf (2006) afirma que:

“O resultado operacional, entendido como o gerado exclusivamente pelos ativos, quantifica o retorno produtivo pelas decisões de investimento, permitindo que se proceda, com base nos valores apurados, a uma avaliação da atratividade econômica do empreendimento, definindo inclusive o interesse e as condições de sua continuidade. É possível fazer previsões de investimento e usar valores aproximados do seguimento como um dos indicadores de viabilização de projetos (ASSAF, 2006)”.

Ainda segundo Assaf (2006), o fluxo de caixa deve ser sempre considerado pois este funciona como um instrumento que retrata todas as entradas e saídas do caixa da empresa (receitas e despesas). Vale pontuar que, um fluxo de caixa bem administrado permite que a empresa melhore sua capacidade de geração de recursos, e conseqüentemente, reduz os custos financeiros, pois diminui a necessidade de financiamento dos investimentos em giro.

Os custos de produção associados à exploração dos minérios desde a sua prospecção, extração, exploração, transporte, comercialização desde o fechamento das minas e/ou jazidas nas áreas exploradas devem ser considerados, sobretudo levando em consideração os componentes logísticos agregados. Estes últimos, para garantir transporte de altas densidades de carga necessitam de uma logística eficiente, sobretudo devido a elevadas distâncias terrestres entre o ponto de produção (usina) e o cliente terrestre final, via de regra é viabilizado pelo modal logístico ferroviário.

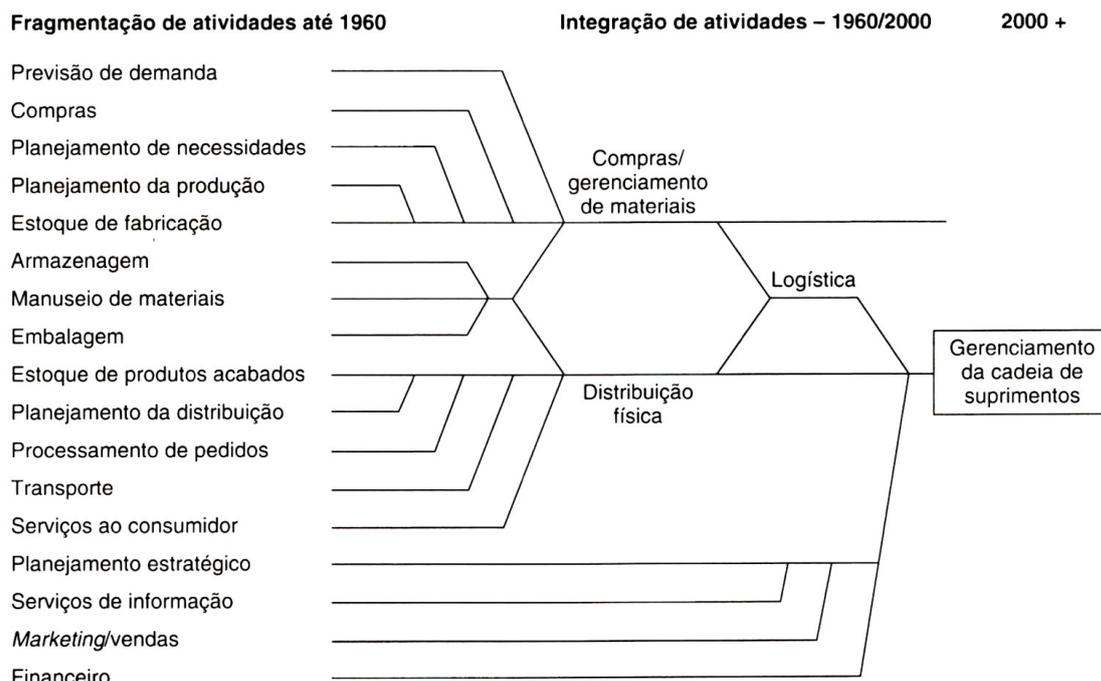
3.2 Logística

Segundo Cavanha Filho (2001), a logística pode ser definida como a parte do processo da cadeia de suprimento que planeja, implementa e controla o fluxo de bens, e de serviços, desde o ponto de origem até o consumidor final.

Segundo Rodrigues (2002), o conceito de logística pode ser entendido como adquirir, manusear, transportar, distribuir e controlar eficazmente os bens disponíveis, pois, num ambiente empresarial extremamente competitivo, a manutenção da clientela, a obtenção de lucro e a permanência da empresa no mercado dependem de reduzir dos custos operacionais.

A Figura 3 apresenta a evolução da logística a partir de 1960, conforme Ballou (2010).

Figura 3: Evolução da logística a partir de 1960.



Fonte: BALLOU, 2010.

3.2.1 Operadores Logísticos

A abertura econômica brasileira, ocorrida nas décadas de 80 e 90, expôs as empresas nacionais de logística frente ao mercado internacional, constituído por empresas mais competitivas, obrigando-as a se reestruturarem, desta forma, inovaram em estratégia logística e em tecnologias da informação, se tornando mais eficiente no atendimento a seus clientes,

cumprindo prazos de entrega, e não danificando os produtos (TREVISAN e SILVA, 2012).

Este movimento surgiu por volta dos anos de 1980, nos serviços de varejo da rede *WalMart*®, em que foi realizada uma parceria com fornecedores na reposição de mercadorias no menor tempo possível, buscando-se maior eficiência nas operações de redução de estoques e custos de armazenamento, com vistas a disponibilizar os produtos no momento em que o consumidor desejar. Outro motivo, envolve as exigências impostas pela Cadeia de Suprimentos (do anglicanismo, *Supply Chain Management*) como tecnologia de ponta e pessoal qualificado.

Esta cadeia envolve uma interação entre todos os componentes, desde a fabricação até o consumo. Assim, a gestão da cadeia logística consiste numa série de aproximações utilizadas para integrar eficazmente fornecedores, fabricantes e lojas, para que a mercadoria seja produzida e distribuída nas quantidades ideais, na localização certa e no tempo correto, com o objetivo de satisfazer o nível de serviço e diminuir os custos ao longo do sistema (Operadores-Logísticos, 2012).

Segundo Novaes (2007), um operador logístico é o prestador de serviços logísticos que tem competência reconhecida em atividades logísticas, desempenhando funções que podem englobar todo o processo logístico de uma empresa cliente ou somente parte dela.

Para tanto, diversas atividades podem ser ofertadas pelos operadores logísticos, a saber: transporte, armazenagem, manipulação de produtos, embalagem, identificação, operações industriais de montagem final, testes de qualidade, operações comerciais, como recebimento e tratamento de pedidos, de pagamentos, realização de propagandas, serviços informacionais, como administração de estoques, rastreamento de veículos, consultoria em engenharia e administração logística (Operadores-Logísticos, 2012).

Diante do exposto, operador logístico será um prestador de serviços logísticos que integre (transporte, armazenagem, estocagem, informação e assessoria técnica), de forma a atender com qualidade e eficiência as necessidades de seus clientes, desde o ponto de origem (local de produção), até o ponto de consumo

3.2.2 Logística integrada

A aplicação do conceito de Logística Integrada consiste em escolher a alternativa que melhor atende a razão “nível de serviço” sobre o “custo total”, com o intuito de otimizar o funcionamento de um processo, ao nível de serviço demandado (Fig. 4).

Segundo BALLOU (1993):

“O conceito de custo total, chave da Logística Integrada, é baseado no inter-relacionamento dos custos de suprimentos, produção e distribuição. A análise do custo total envolve a otimização dos custos totais de transporte, armazenagem, inventário, processamento de pedidos e sistemas de informações e do custo decorrente de lotes: ao mesmo tempo, tem como perspectiva os resultados econômicos como um sistema que se esforça para minimizar os custos totais, enquanto alcança um nível desejado de serviço ao cliente”.

Em um ambiente competitivo, há a necessidade de melhorar cada vez mais o nível de serviço, preferivelmente, reduzindo o custo total. Normalmente custo e serviço envolvem relação direta e uma empresa deve considerá-la e determinar o desempenho logístico desejado.

Para Bowersox e Closs (2001), por exemplo, em termos de projeto e gerenciamento de sistemas logísticos cada empresa deve atingir simultaneamente pelo menos os seguintes objetivos básicos:

- Resposta rápida: atendimento breve e cumprimento de prazos pré-estabelecidos;
- Variância mínima: cultura do produto/serviço padronizado ou sem variações;
- Estoque mínimo: uso de estoques apenas em situações emergenciais;
- Consolidação da movimentação: aperfeiçoar os processos e torná-los sólidos e competitivos;
- Qualidade: preocupação se o produto/serviço atende os parâmetros exigidos e encomendados pelo cliente;
- Apoio ao ciclo de vida: estender o ciclo de vida do produto/serviço.

Já BALLOU (1993) sugere que algumas das atividades da logística são consideradas primárias pois estas contribuem com uma grande parte do custo. Neste sentido, Daft (2005) sugere que as atividades de logística devem contemplar os seguintes aspectos:

- **Estoque:** muitas vezes não é possível entregar o produto ao cliente assim que acaba a sua fabricação. Da mesma forma, não é possível receber todos os suprimentos no exato momento em que eles são necessários na produção, embora muito se tenha feito dentro dos conceitos de *Just-in-time*.

Desta forma, a armazenagem torna-se necessária quando por alguma razão temos que guardar uma matéria prima, componente ou produto acabado até a sua utilização. Os estoques agem então como amortecedores entre a oferta e a demanda. Ademais, a manutenção dos estoques pode atingir de um a dois terços dos custos logísticos, o que a torna uma atividade-chave da Logística.

- **Processamento de pedidos:** os custos de processamento de pedidos tendem a ser pequeno quando comparados aos custos de transporte ou de manutenção de estoque. Contudo, o processamento de pedidos é uma atividade Logística primária. Sua importância deriva do fato de ser elemento crítico em termos do tempo necessário para levar bens e serviços aos clientes. É também uma atividade primária que inicializa a movimentação de produtos e a entrega de serviços.
- **Transporte:** para a maioria das firmas, o transporte é a atividade mais importante, o transporte é a atividade mais visível sendo essencial. Nenhuma firma pode operar sem providenciar a movimentação de suas matérias primas ou de seus produtos acabados.

3.2.2.1 Custo Logístico Total

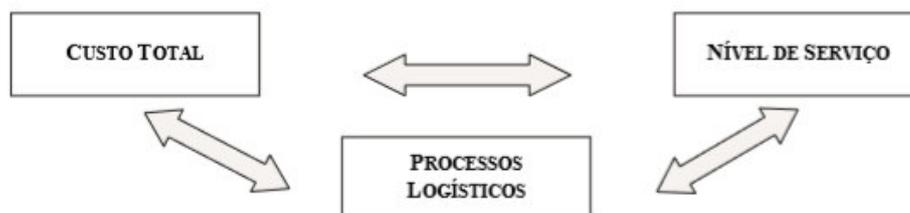
O conceito do custo total foi trazido em 1956, quando Lewis, Culliton e Steele (1956) evidenciaram o inter-relacionamento de custos das atividades.

Os custos logísticos são um fator-chave para estimular o comércio. O comércio entre países e entre regiões de um mesmo país é frequentemente determinado pelo fato de que diferenças nos custos de produção podem mais do que compensar os custos logísticos necessários para o transporte entre essas regiões.

Segundo Rodrigues (2002), num ambiente empresarial extremamente competitivo, a manutenção da clientela, a obtenção de lucro e a permanência da empresa no mercado são fatores que dependem diretamente da redução dos custos de fabricação de um produto.

Para tanto, Faria e Costa (2005) sugerem que os custos logísticos devam ser geridos segundo os preceitos da Logística Integrada, de forma global, observando sempre os seus impactos no resultado econômico da organização e atendendo o nível de serviço estabelecido pelos clientes, de forma correlacionada, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Logística integrada: Nível de serviço e custo total.



Fonte: Faria e Costa 2005.

Esforços já foram realizados para o desenvolvimento de sistemas logísticos eficientes, mas tais sistemas ainda dependem muito de melhorias em estratégias de compras, transporte, armazenagem, gerenciamento de materiais, ordens de processamento, planejamento de produção, entre outras atividades.

Vale pontuar que os custos de armazenagem interagem ou são influenciados pelos custos de transportes, em função da localização e das quantidades movimentadas, incluindo todos os modais ou operações intermodais. Já os custos de transportes são influenciados pelos fatores: distância, volume, densidade, facilidade de acondicionamento, facilidade de manuseio, responsabilidade e mercado.

Assim, a avaliação adequada dos custos logísticos totais deve ser considerada um somatório dos seguintes elementos:

- Custos da embalagem para a movimentação logística, na qual deve-se padronizar para garantir o manuseio, movimentação e armazenagem e reduzir o custo com o transporte;
- Matérias-primas, produtos em processo e produtos acabados, para tanto são considerados os custos para que os materiais e produtos estejam disponíveis para o sistema logístico e dependem das decisões da empresa em mantê-los.
- Custos de emissão e atendimento dos pedidos, os de comunicação, transmissão de pedidos, entradas, processamentos e acompanhamentos que envolvem os sistemas utilizados;
- Custos decorrentes para a preparação de produção (*setup* de máquina, inspeção ou refugo de *setup*), capacidade perdida e planejamento, manuseio e movimentação de materiais;
- Custos decorrentes de tributos sobre propriedades, sobre as vendas ou circulação (variando em função da região) e que não serão recuperados;
- Custos necessários para atender as necessidades de entrega dos clientes (nível de serviço), sejam eles o aumento do nível estoque, o envolvimento do pessoal, os sistemas de informação entre outros;
- No caso de existir um gestor que se responsabilize por todos os processos logísticos, seus custos devem ser considerados.

Do ponto de vista formal, o Custo Logístico Total pode ser representado por:

$$CLT = CAM + CTRA + CE + CMI + CTI + CTRI + CDL + CDNS + CAD \quad (\text{Eq. 1})$$

Na qual CAM representa os Custos de Armazenagem e Movimentação de Materiais; CTRA os Custos de Transporte; CE os Custos de Embalagens utilizadas no sistema logístico; CMI os Custos de Manutenção de Inventários; CTI os Custos de Tecnologia de Informação; CDL os Custos Decorrentes de Lotes; CTRI os Custos Tributários tributos não recuperáveis; CDNS os Custos Decorrentes do Nível de Serviço e CAD os Custos da Administração Logística.

Com o passar dos anos, conforme os custos de manutenção e operação forem aumentando, pode existir a ocorrência da necessidade de substituir os equipamentos. Além desta situação, como é apresentado em Cesca (2012), deve ser observado que a substituição pode ocorrer por razões de outra natureza, tais como tecnológicas, regulatórias e contratuais.

Segundo Kotler (1974), um sistema logístico unificado consiste em um conjunto de decisões sobre número, localização e dimensões de armazéns e seleção de meios de transporte.

A escolha de um sistema logístico exige o exame dos custos de distribuição totais associados ao sistema proposto e a seleção do sistema que minimize o custo total, como é mostrado na Equação 2:

$$D = T + FW + VW + S \quad (\text{Eq. 2})$$

na qual: D representa o custo total da distribuição do sistema proposto; T o custo total de frete do sistema proposto; FW o custo fixo total de armazenagem do sistema; VW o Custo variável de armazenagem do sistema e S o custo total de vendas perdidas devido à demora da entrega média.

Quanto ao relacionamento com o objeto, ou seja, clientes, produtos, regiões ou canais de distribuição, os custos podem ser classificados em:

- **Custos diretos:** São aqueles que podem ser apropriados diretamente ao produto ou serviço desde que haja uma medida de consumo. No caso da Logística são a mão de obra, embalagem e outros que refletem diretamente na prestação do serviço.
- **Custos indiretos:** São aqueles que não podem ser apropriados diretamente a cada tipo de objeto/produto ou serviço, no momento de sua ocorrência, tais como os custos com a tecnologia de informação utilizada em um processo logístico que atenda diversos clientes.
- **Custos fixos:** São aqueles necessários ao funcionamento normal da empresa e podem ser repetitivos ou não repetitivos.

- **Custos variáveis:** São diretamente proporcionais ao volume de produção/prestação de serviços. No caso da atividade de logística variam de acordo com o volume transportado, armazenado e dos serviços prestados.

Segundo Lambert (1994), os custos totais seriam compostos pela soma dos custos de transporte, custos de armazenagem, custos de processamento e informações de pedidos (que não constavam da Equação 2), custos associados ao tamanho do lote e custos de manutenção de estoque.

Dentro dessa ótica, está inserida a gestão econômica de ativos, que de acordo com Hastings (2010), fornece recursos e conhecimento para auxiliar no planejamento de aquisições, manutenções e descarte de ativos físicos.

Dessa forma, torna-se de vital importância, para a tomada de decisões empresariais no âmbito da gestão de ativos, o conhecimento de todos os custos envolvidos na aquisição, operação, manutenção e descarte, isto é, a compreensão do custo de ciclo de vida do ativo físico em questão (MARQUES, 2003).

Logo, de acordo com Cesca (2012), o custo compreendendo todas as fases é chamado de custo de ciclo de vida, ou LCC (do anglicanismo, *life cycle cost*), o qual consiste na metodologia para estimativa de custos reais dos ativos para gerir a vida econômica dos mesmos.

Segundo Cesca (2012), a integração dos departamentos é fundamental para tomada de melhor decisão, devendo esta apresentar os seguintes passos:

- Identificação das despesas recorrentes do ativo; isto é, avaliação e comparação dos gastos com manutenção e aquisição de equipamentos em relação às receitas;
- Avaliação das condições de operação e manutenção dos equipamentos. Para isso, é necessário checar se os equipamentos estão operando nas condições adequadas, e se a produção é consistente com a capacidade produtiva dos equipamentos. Além disso, verificar se as manutenções ocorrem, de fato, como o planejado;
- Modelagem dos custos: Nesta etapa é necessário modelar os custos de operação e manutenção ao longo do tempo, de modo que seja possível realizar previsões destes custos.

Segundo Cesca (2012) decisões relacionadas a adquirir um ativo ou substituir um existente, por exemplo, não deve ser tomada apenas em seu valor de aquisição, mas sim por meio do custo do ciclo de vida do ativo em questão, obviamente, levando em consideração a capacidade de transporte do sistema.

3.2.2.2 *Trade-off* de custos da Logística

No contexto da Logística integrada e conceitos de custo total situações que cogitassem que o transporte aéreo poderia substituir o transporte aquático se a maior velocidade e a maior confiabilidade dos aviões fizessem com que o incremento no custo do transporte fosse compensado pelos custos menores de manutenção de inventários, de armazenagem e de embalagem foram provocações realizadas por Lewis, Culliton e Steele (1956), já fazendo menção ao que apregoa o conceito de custo total associado à logística integrada.

Os *trade-off* são as trocas compensatórias existentes entre os custos logísticos (FARIA; COSTA, 2007) e compreendem substituições horizontais entre os elementos de custo de uma atividade e substituições laterais entre os elementos de custo de várias atividades.

Devido à existência dos *trade-off*, ampliações em elementos de custo que propiciem reduções em outros elementos de custo e/ou aumentos nos custos logísticos que propiciem aumentos nas receitas (derivados do maior nível de serviço) podem conduzir à melhora do resultado econômico da empresa (Lambert, Armitage, 1979).

As soluções logísticas deveriam objetivar a otimização do custo total, não a redução dos custos individuais (Christopher, 1994). Isso porque nenhum custo pode ser modificado sem afetar os outros custos e/ou o serviço ao cliente (Gopal e Cypress, 1993).

A análise das possíveis reações para cada ação proposta é necessária para que seja identificada qual solução proporciona o nível de serviço ótimo e o custo total mínimo. Ela implica na identificação das substituições de um elemento de custo por outro elemento de custo, ou seja, dos *trade-off* de custos logísticos (Bio et al., 2002).

É apresentado por meio da Tabela 1 alguns exemplos de procedimentos envolvendo *trade-off* logísticos.

Tabela 1: Exemplos de ações e reações nas soluções logísticas.

| Solução logística (ação) | Impacto no serviço ao cliente (reação) | Impacto no transporte (reação) | Impacto no inventário (reação) | Impacto na armazenagem (reação) |
|--------------------------|---|--|---|--|
| Centralização | Produto longe dos clientes | Diminui o custo de transporte de entrada, mas aumenta o custo de transporte de saída | Reduz a necessidade de estoques de segurança | Reduz custos das instalações |
| Descentralização | Produto perto dos clientes | Aumenta o custo de transporte de entrada, mas diminui o custo de transporte de saída | Amplia a necessidade de estoques de segurança | |
| Uso de modal aéreo | Proporciona respostas tempestivas | Maior custo | Reduz os inventários devido aos menores ciclos de reposição e ao menor tempo em trânsito | Amplia o número de manuseios devido às frequentes entregas |
| Uso de modal ferroviário | Proporciona respostas pouco tempestivas | Menor custo | Amplia os inventários devido aos maiores ciclos de reposição e ao maior tempo em trânsito | Amplia o número de manuseios (produtos não estão normalmente em paletes) |

Fonte: Amaral,2004.

Em pesquisa realizada por Amaral (2013) foi aplicado questionário a 73 profissionais logísticos das maiores empresas industriais e comerciais do Brasil visando identificar a extensão em que os profissionais logísticos brasileiros conhecem e avaliam os *trade-off* de custos. Os resultados demonstraram que a maioria dos profissionais logísticos sabe que os *trade-off* existem, mas não possui amplo entendimento do conceito, especialmente da sua relação com o custo total.

Ainda Segundo Amaral 2013, o conhecimento de que a logística impacta o desempenho econômico-financeiro, por sua vez, apareceu como difundido para a maior parte da amostra, sendo mais expressivo entre os profissionais experientes. Os resultados também revelaram que a avaliação dos *trade-off* é limitada na formulação de projetos específicos. A não utilização de simuladores de custo e a indisponibilidade de informações adequadas de custo apareceram como fatores relacionados à restrita avaliação dos *trade-off*. O autor constatou que a ampla aplicação da análise dos *trade-off* de custos logísticos ainda está por vir.

Apesar da importância dessa avaliação, segundo Ahuja *et al.* (2005), houve grande quantidade de aplicações de pesquisa operacional para logística nas últimas décadas, porém o modal ferroviário ainda não foi totalmente beneficiado por estes avanços.

Faria e Costa (2005) afirmam que existe uma dificuldade em visualizar os custos logísticos de uma empresa em função da dispersão das informações gerando riscos de não análise de *trade-off* (escolha conflitante), que podem ocorrer entre os elementos em cada decisão logística, pois não basta isolar e analisar os elementos, é preciso avaliar seus efeitos no custo logístico total de forma integrada para melhor tomada de decisão.

3.2.3 Logística de transporte

Rodrigues (2002) detalha o transporte como o deslocamento de pessoas e pesos de um local para outro. Nos primórdios da humanidade todos os pesos eram transportados pelo próprio homem, de acordo com a sua limitada capacidade física.

O sistema de transporte é todo conjunto de trabalho, facilidades e recursos que compõem a capacidade de movimentação e determinam o nível de desenvolvimento da economia. Essa capacidade implica no movimento de carga e de pessoas podendo incluir o sistema para distribuição de intangíveis tais como comunicações telefônicas, energia elétrica e serviços médicos.

Um sistema de transporte eficiente deve ser ajustado ao tamanho, à natureza e às necessidades da área e ao mesmo tempo ser capaz de associar e executar suas funções (BALLOU, 2010b; PAWLAK; STAJNIAK, 2011).

Bowersox e Closs (2001) citam cinco tipos de modais de transportes básicos, a citar:

- **Rodoviário:** transporte pelas rodovias, em caminhões, carretas, etc;
- **Ferroviário:** transporta pelas ferrovias, vagões fechados, plataformas, etc;
- **Hidroviário (fluvial ou lacustre):** transporte em embarcações, através de rios, lagos ou lagoas;
- **Marítimo:** transporte em embarcações, pelos mares e oceanos;
- **Aquaviário:** abrange em uma só definição os modais marítimo e hidroviário;
- **Aéreo:** transporte em aviões, através do espaço aéreo;
- **Dutoviário:** sempre na forma de graneis sólidos, líquidos ou gasosos, a carga é transportada através de dutos;
- **Cabotagem:** a navegação realizada entre portos interiores do país pelo litoral ou por vias fluviais. A cabotagem se contrapõe à navegação de longo curso, ou seja, aquela realizada entre portos de diferentes nações.

A Importância relativa de cada tipo pode ser medida pela distância coberta pelo sistema, pelo volume de tráfego, pela receita e pela natureza da composição do tráfego.

Do ponto de vista técnico, os vários modos de transporte (ou modais) podem ainda ser qualificados em:

- **Uni modal:** Quando a unidade de carga é transportada diretamente, utilizando um único veículo, em uma única modalidade de transporte e com apenas um contrato de transporte. É a forma mais simples de transporte;
- **Sucessivo:** Quando, para alcançar seu destino, a unidade descarga necessita ser transportada por um ou mais veículos da mesma modalidade de transporte, abrangidos por um ou mais contratos de transporte;
- **Segmentado:** Quando se utilizam veículos diferentes, de uma ou mais modalidades de transporte, em vários estágios, sendo todos os serviços contratados separadamente a diferentes transportadores, que terão seu cargo a condução da unidade de carga do ponto de expedição até o destino.

Qualquer atraso pode significar a perda do transporte nos demais modais, gerando “frete morto”, ou seja, pagar por ter reservado o espaço, mesmo sem realizar o transporte. A

imputação de responsabilidades por perdas ou avarias é muito complexa e as indenizações por lucros cessantes, flutuação de preços, etc., são praticamente impossíveis;

- **Multimodal:** Quando a unidade de carga é transportada em todo percurso utilizando duas ou mais modalidades de transporte, abrangidas por um único contrato de transporte.

Fleury *et al.* (2000) e Chopra e Mendel (2008) destacam que cada modal tem sua importância relativa possuindo características que ajudam a empresa a definir qual seria a melhor opção para o transporte adequado de um produto. Assim, na Tabela 2 são comparadas algumas características operacionais dos diferentes modais de transporte.

Tabela 2: Comparativo modais de transporte.

| Parâmetro | Rodoviário | Ferroviário | Aéreo | Dutoviário | Aquaviário |
|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Capacidade de embarque | Embarques médios | Embarques médios | Embarques menores | Embarques maiores | Embarques maiores |
| Velocidade | Média | Menor | Maior | Menor | Menor |
| Preço (para usuário) | Médio | Menor | Maior | Menor | Menor |
| Resposta de serviço | Média | Mais lenta | Mais rápida | Lenta | Lenta |
| Custo de inventário | Média | Mais caro | Menos caro | Mais caro | Mais caro |
| Custo fixo | Baixo | Alto | Alto | Alto | Médio |
| Custo variável | Média | Baixo | Alto | Baixo | Baixo |

Fonte: Faria e Costa, 2005 *apud* Ballardin, Bornia e Tezza, 2010.

Todavia, dados obtidos por Ferreira e Alves (2005) mostram uma forte dependência do transporte brasileiro em relação ao modal rodoviário, ainda que este seja o segundo mais caro, ficando atrás apenas do modal aéreo. Sua participação na matriz dos transportes tem uma variação de 65% a 75%, seguida por 20% do ferroviário que é o grande eixo de movimentação de cargas.

Na Tabela 3 é apresentada a classificação das características operacionais de cada modal quanto à sua velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade, frequência e o total dos resultados, sendo que quanto menor a nota melhor o atendimento.

Tabela 3: Classificação das características operacionais por modal de transporte.

| Características operacionais* | Modal de transporte | | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|-------|
| | Ferroviário | Rodoviário | Aquaviário | Dutoviário | Aéreo |
| Velocidade | 3 | 2 | 4 | 5 | 1 |
| Disponibilidade | 2 | 1 | 4 | 5 | 3 |
| Confiabilidade | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 |
| Capacidade | 2 | 3 | 1 | 5 | 4 |
| Frequência | 4 | 2 | 5 | 1 | 3 |

*Menor pontuação indica a melhor classificação.

Fonte: Adaptado de Bowersox e Closs, 2010.

Para Bowersox e Closs (2010) o modal ferroviário aparece como melhor classificado quando se trata de disponibilidade e capacidade. O modal aéreo está em terceiro com destaque para velocidade. O dutoviário apresenta boa confiabilidade e frequência. No aquaviário a capacidade destaca-se como vantagem desse modal.

3.2.3.1 Estudos operacionais

Gertsbach e Gurevich (1977) desenvolveram um modelo para a determinação de uma frota ótima de veículos para terminais específicos de partida e chegada, isto é, para tempos de partida e de chegada fixos (uma variante determinística). Tal modelo era dependente do teorema da coincidência entre a função déficit total e o tamanho da frota de veículos, e a solução obtida foi generalizada para uma programação periódica.

A função déficit para cada estação foi definida como a diferença entre os números de partidas e chegadas de veículos dentro do intervalo de tempo em consideração. Assim, o tamanho da frota era igual à soma dos valores máximos das funções déficit total para todos os terminais.

Sherali e Tuncbilek (1997) objetivaram desenvolver modelos práticos de tamanho de frota para as indústrias automobilísticas e ferrovias, relacionados com o problema de transporte de automóveis através de vagões ferroviários. Foram investigados e comparados modelos de tamanho de frota estocásticos e dinâmicos.

A proposta do modelo dinâmico era baseada em uma representação da rede no espaço-tempo, no qual cada local de origem e destino em cada dia do horizonte de planejamento

foi representado por um nó distinto. A solução deste problema foi feita através da decomposição do processo de solução em uma sequência de subproblemas da rede espaço-tempo.

Para tanto, foram apresentados, também, modelos estáticos mais simples na qual suas calibrações foram examinadas para produzir resultados que fossem compatíveis com os do modelo dinâmico. Um caso-base foi rodado para se comparar os modelos dinâmico e estático. O resultado encontrado pelo modelo estático foi muito próximo do valor da frota ótima encontrada pelo modelo dinâmico.

Segundo Pidd (1998), um modelo não deve ser necessariamente tão complicado quanto a realidade que está sendo representada, pois ele faz parte de um sistema usuário-modelo. Ademias, tais modelos não carregam sozinhos toda a responsabilidade em gerar os resultados corretos para a análise do sistema. Grande parte desta responsabilidade é papel do usuário, que deve usar o modelo adequadamente.

3.2.3.2 O Modal Ferroviário

Murgel (1998) afirma que a ferrovia se caracteriza como um modo de transporte capaz de movimentar grandes volumes de carga ou passageiros. Os altos investimentos necessários no que tange à infraestrutura, equipamentos e mão-de-obra são compensatórios quando as economias de escala, advindas de sua capacidade de movimentação, são aproveitadas.

Geralmente, os produtos deslocados por trem são minérios de ferro, manganês, carvão mineral, derivados de petróleo e álcool, cereais em grãos como soja e milho, açúcar, produtos químicos, celulose e papel.

No transporte de produtos a granel, padroniza-se o material rodante com a utilização de trens diretos e de maior tonelagem para facilitar a operação nos terminais. Entretanto esse modal se torna oneroso para produtos com baixo volume e necessita de investimentos volumosos em infraestrutura (Alvarenga; Novaes, 1994; Chopra; Meindl, 2008; Resende *et al.*, 2009).

As transportadoras ferroviárias contraem um alto custo fixo relacionado às estradas de ferro, locomotivas, vagões e pátios de manobra. Os custos de mão-de-obra e combustível variam de acordo com o número de vagões, com a distância percorrida e o tempo gasto. O tempo disponível dos trens ocorre quando há troca de vagões para diferentes destinos ou há congestionamento nos trilhos tornando-se muito oneroso após seu abastecimento porque já foram contraídos custos mesmo com o equipamento permanecendo parado.

Do ponto de vista operacional é muito importante manter locomotivas e tripulação bem utilizados. O transporte por trem pode ser demorado e é indicado para entregas que não requeiram urgência. Cargas com *lead time* curtos raramente são indicadas para esse modal (CHOPRA; MEINDL, 2008).

As preocupações operacionais se referem ao cronograma do veículo e pessoal, atrasos e desempenho *on-time*. O desempenho desse meio de transporte é prejudicado pelo tempo gasto em cada transição. Os atrasos são exagerados porque os trens não possuem um agendamento antecipado e partem somente quando há vagões suficientes para compor sua formação. Para melhorar o desempenho *on-time* deve-se agendar trens ao invés de esperar pela composição (CHOPRA; MEINDL, 2008).

Os motivos para o deslocamento de produtos nesse modal são as operações de carga/descarga, despacho, triagem de vagões nos pátios, controle de tráfego, armazenagem em trânsito e conferência da carga (ALVARENGA; NOVAES, 1994).

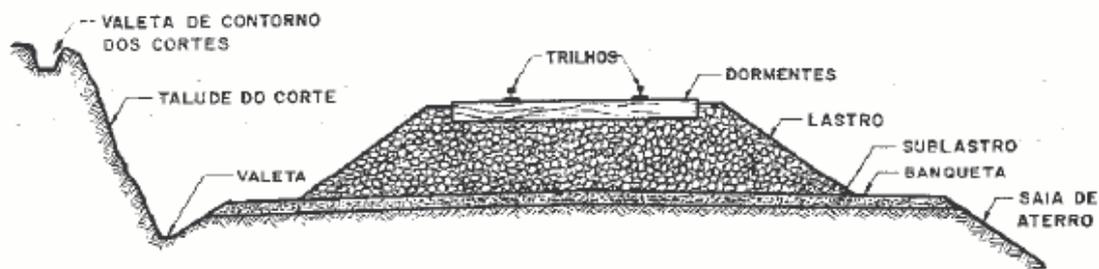
Os principais componentes de uma ferrovia, de acordo com Brina (1988), são:

a) Via Permanente

A via Permanente é um elemento constituinte da superestrutura e pode ser renovada quando as influências do meio e de material rodante, que faz uso da via, acaba por gerar seu desgaste levando-o, com o tempo, a atingir o limite de segurança.

Em um nível maior de detalhe, a via permanente é formada por diversos elementos dentre os quais se destaca os trilhos, o lastro, sublastro e os dormentes, que juntos fornecem sustentação para o transporte (Figura 5).

Figura 5: Esquema da Via Permanente.



Fonte:

Brina, 1988.

O sublastro é o elemento que está abaixo do lastro e que serve basicamente para aumentar a sustentação, drenagem e elasticidade não permitindo que a rigidez predomine na

via. O lastro é responsável por transmitir toda carga provinda da movimentação de veículos ferroviários ao sublastro, suporte de dormentes e trilhos e ainda a drenagem da superestrutura.

Os dormentes são os componentes da cadeia de superestrutura que suportam os trilhos sendo responsáveis por receber e transmitir toda carga, resultante de movimentação ferroviária, ao lastro. Por fim, mas não menos importante, tem-se os trilhos que em contato direto com as rodas dos veículos ferroviários permitem o rolamento.

b) Material Rodante

O material rodante, a outra parte que constitui o complexo ferroviário, consiste nas locomotivas e vagões e máquinas de via, esta última servindo de apoio à manutenção da via permanente.

Em se tratando de máquinas de via temos as principais unidades:

- **Esmerilhadora de trilho:** o constante contato roda e trilho contribui, com o passar dos anos, para o desgaste do trilho e conseqüentemente da roda. Sendo assim, essa máquina realiza o esmerilhamento do trilho reduzindo imperfeições em sua superfície.
- **Socadora:** máquina capaz de alinhar e nivelar a via.
- **Desguarnecedora:** retira material que contamina o lastro, principalmente minério de ferro por meio de peneiramento.
- **Reguladora de Lastro:** responsável por manter o lastro em um formato trapezoidal regularizando-o.
- **Ultrassom:** semelhante a um carro realiza a checagem da via identificando possíveis falhas em soldas, fadiga, bem como defeitos internos aos trilhos.
- **Carro Controle:** Analisa nivelamento, altura do boleto, geometria da via dentre outros.

Ainda na classe de material rodante têm-se os veículos que tracionam e os que são rebocados. O primeiro inclui as locomotivas e o segundo, os vagões.

As locomotivas são incluídas de uma forma mais específica em material de tração capaz de colocar um trem em movimento. Já os vagões têm o objetivo de transportar mercadorias sendo tracionados pelas locomotivas.

c) Sinalização

No que tange à sinalização tem-se as principais coordenadas que são repassadas de um centro de controle para que ocorra a circulação de trens em uma linha férrea.

O licenciamento consiste nessa liberação para circulação e sinalização de que a via está sendo ocupada. Nesse sentido a sinalização é um elemento primordial de segurança, pois

evita que ocorra colisão ou outros acidentes envolvendo circulação de trens, bem como se mal realizada incorrerá também em prejuízos à produção.

As formas pelas quais ocorre a sinalização podem ser visuais e acústicas. Os visuais consistem em placas ou sinais luminosos. Já as formas acústicas podem ser por meio de buzinas.

Estes componentes da logística ferroviária apresentam elevados custos fixos e significativos custos variáveis deslocar grandes massas de produtos de alta densidade a longas distâncias, sendo fundamental estudos operacionais que dimensionem de forma adequada os seus ativos para garantir a competitividade desse modal.

3.2.3.2.1 Estudos operacionais em Modal ferroviário

No caso da logística ferroviária, Murgel (1998) sugere que o problema para formar as composições ferroviárias corresponde à determinação dos trens a serem montados, que consiste na definição dos seus itinerários, frequências, tamanho e perfis de carregamento e tração, a fim de atender à uma determinada demanda, sujeita ainda, às restrições físicas e operacionais da empresa ferroviária.

Segundo Neto (1986), operações em ferrovias envolvem diversas variáveis com o intuito de promover o aumento da circulação de trens e maior utilização de linhas e pátios por meio de uma melhor disposição dos mesmos, evitando atrasos na formação e partida dos trens gerando assim intervalos mínimos entre eles.

Para Amaral (1991), a capacidade de uma ferrovia está ligada ao máximo que se pode usufruir da mesma em um determinado espaço de tempo, adquirindo um aspecto quantitativo no que diz respeito ao número máximo de operações que podem ser realizadas em um espaço de tempo.

A capacidade da ferrovia, segundo Cavalcanti (1981), depende das condições da via permanente, seu traçado e os sentidos de circulação dos trens subindo ou descendo que envolvem rampas, cruzamentos e manutenções; dos sistemas de sinalização e licenciamento de trens; do material rodante e a forma como todo ramal ferroviário é gerenciado.

Já para Neto (1986), o melhor gerenciamento das operações em uma ferrovia, somados às boas condições da via e do eficiente sistema de sinalização permitem menores intervalos entre trens garantindo uma maior utilização da ferrovia.

Dentre as variáveis que impactam na eficiência da operação, Trinchinato (2017) cita a velocidade máxima autorizada do trecho, as restrições de velocidade devido às condições de via que envolve cruzamentos somados às manutenções, jornadas de maquinistas e acidentes

que venham a ocorrer. Tendo por base a análise desses fatores, é possível realizar um planejamento e projeção da circulação.

A capacidade ferroviária, segundo Amaral (1991) pode ser dividida em duas: a capacidade de circulação que diz respeito ao número de trens que circulam em um trecho e a capacidade de transporte que abrange a tonelada máxima transportada nos dois sentidos da via em um determinado intervalo de tempo.

Capacidade Teórica

A capacidade teórica de um trecho de linha singela, segundo Cavalcanti (1981), consiste no número máximo de trens que, em teoria, podem circular no trecho em análise por dia. Rosa (2016) relaciona capacidade teórica com as seções críticas ou gargalos de trechos, sendo estes últimos os que demandam um maior tempo de percurso, ou seja, trechos de maior tempo de percurso ocasionam menor capacidade. Portanto, a capacidade teórica é inversamente proporcional ao tempo de deslocamento dos trens entre pátios de cruzamento consecutivos considerados trechos de maior tempo de percurso.

Capacidade prática

Para Rosa (2016), a capacidade prática nada mais é do que o número prático de trens que podem circular em um determinado intervalo de tempo. Ela se baseia na capacidade teórica e ponderada por meio de um fator que leva em consideração as irregularidades que impactam a operação.

Capacidade econômica

Capacidade econômica, segundo Neto (1986), é o máximo de operação capaz de garantir um saldo positivo no fluxo de caixa sob o ponto de vista empresarial, ou seja, gerar lucro. Rosa (2016) sustenta que utilizar a capacidade disponível não significa que é utilizada a capacidade econômica, pois mais trens na malha incorrem em mais cruzamentos impactando no tempo de viagem.

Capacidade Disponível

Segundo Rosa (2016), a capacidade disponível, nada mais é do que a diferença entre a capacidade prática e a capacidade utilizada. Assim, a capacidade disponível é a capacidade de resposta que a ferrovia consegue dar com o possível aumento da demanda.

Neto (1986) explica que, quando se busca conhecer a capacidade de operação de um ramal ferroviário composto por mais de um trecho ou seção de bloqueio, deve-se determinar o trecho de menor capacidade. Dessa forma, a ferrovia apresentará a capacidade de operação do trecho com menor capacidade, também chamado de seção de bloqueio gargalo.

3.2.3.2.2 Metodologias de dimensionamento de capacidade ferroviária

De acordo com Rosa (2016), a capacidade teórica máxima (C_t) de uma ferrovia pode ser expressa de acordo com a Equação 3, como sugerido pela Association of American Railroads (AAR):

$$C_t = \frac{a \cdot T}{M_b} \therefore M_B = M_n + t_e \quad (\text{Eq. 3})$$

na qual: C_t = Capacidade teórica máxima;

a = Constante igual a 2 para vias de linha singela e 1 para uma direção de uma via dupla;

T = Período da análise;

M_b = Módulo máximo bruto;

M_n = Módulo máximo líquido, soma dos tempos de viagem de ida e volta de um trem em uma seção de bloqueio de linha singela, sem considerar os tempos de parada;

t_e = Tempo necessário para as operações de entrada e saída dos trens de pátios de cruzamento, função da sinalização e tipo dos trens

Por outro lado, a capacidade real ou efetiva é obtida por meio da equação 4:

$$C_R = f \times C_t \quad (\text{Eq. 4})$$

na qual: C_R = Capacidade real;

f = Fator de correção que compreende o tempo empregado para manutenção de via e margens para atraso de trens. Considera-se 0,9 para linhas que possuem sinalização com ATC e 0,8 para as que não possuem essa sinalização.

Já Barros (2013), sugere que a capacidade de circulação de uma ferrovia pode ser estimada pelo chamado Método de Colson, na qual é calculado o tempo que um trem leva para se deslocar de um pátio a outro por meio (Equação 5):

$$t = \frac{d}{v} \quad (\text{Eq. 5})$$

na qual: t = Tempo de viagem entre dois pátios consecutivos (h);

d = Distância entre pátios (km);

v = Velocidade (km.h⁻¹).

Porém, conforme já discutido, trens trafegando em sentidos opostos desenvolvem velocidades distintas no mesmo trecho, principalmente em função do relevo a ser vencido. Assim, tem-se o tempo do trem subindo (t_s), que é função da velocidade desenvolvida na subida (v_s), e do trem descendo (t_d), que é função da velocidade desenvolvida na descida (v_d). Logo, determina-se o tempo entre a passagem de dois trens consecutivos (t_i) de mesmo sentido através da equação 6.

$$t_i = t_{si} + t_{di} \quad (\text{Eq. 6})$$

Por meio do tempo t_i , é possível calcular o número de trens que podem circular na via na forma da Equação 7:

$$N = \frac{2P}{t_i} \quad (\text{Eq. 7})$$

na qual: N = Número de trens que podem circular na via durante o período de análise;

P = Período de análise da capacidade, usualmente 24 horas.

Outro parâmetro importante pode ser obtido é o tempo que o trem leva para percorrer o espaço entre dois pátios de cruzamento, considerado trecho crítico (Equação 8), sendo este proposto pela Rede Ferroviária Italiana (RFI) em que (BARROS, 2013):

$$C_t = N_t + \frac{T - t - [n_p(t_p + i)] - [n_c(t_c + i)]}{(t_c + i)} \quad (\text{Eq. 8})$$

na qual: C_t = Capacidade teórica em número de trens em 24 horas,

N_t = Número total de trens de passageiros ou carga;

T = Minutos de um dia, igual a 1440 minutos;

- t = Tempo médio para manutenção de via;
 n_p = Número de trens de passageiros diários;
 t_p = Tempo de circulação médio dos trens de passageiros;
 i = Tempo de licenciamento médio;
 n_c = Número de trens de carga diários;
 t_c - Tempo de circulação médio dos trens de carga.

Por outro lado, a capacidade real (C_r) é determinada pela multiplicação da capacidade teórica pelo fator k de correção que leva em consideração interferências na via (Equação 9).

$$C_r = k \times C_t \quad (\text{Eq. 9})$$

De acordo com Belloni (2000) o critério de eficiência operacional é associado à racionalidade econômica e à produtividade material; ou seja, a eficiência operacional está associada à quantidade de recursos obtidos a partir de uma quantidade de recursos investidos (não necessariamente recursos financeiros) em determinada atividade.

Alguns termos associados à produtividade são comuns nos estudos de eficiência, a destacar: eficiência produtiva, alocativa, técnica e relativa. Assim, para Lovell (1993), existe uma variação de produtividade entre as organizações em função da tecnologia produtiva utilizada, de diferenças ambientais e de diferenças na eficiência. Esta última pode ser subdividida em: eficiência produtiva e eficiência alocativa. A primeira refere-se à minimização na utilização de recursos, mantendo-se o nível de resultados, ou seja, elevando-se possíveis desperdícios. A segunda, eficiência alocativa, refere-se à combinação de recursos e resultados, face os preços vigentes.

Pearson (1993), por outro lado, assume que a eficiência energética é obtida em função da quantidade de produtos obtidos e a quantidade máxima de produtos que poderiam ser obtidos na mesma organização, dado um nível de insumos utilizado.

Neste contexto, Reinaldo (2002) destaca ainda a eficiência relativa, que corresponde à eficiência de unidades em relação a outras unidades semelhantes, que utilizam os mesmos recursos (*input*) e obtém saídas (*output*) semelhantes. Esta abordagem relativa é a utilizada neste estudo.

“Eficiência energética é um elemento fundamental no desenvolvimento econômico de um país. Para o setor de transporte, destacando-se o ferroviário, o consumo de energia é elevado e responsável por uma grande parte dos custos de transporte, portanto diretamente relacionado ao lucro da companhia. O grande objetivo das empresas é otimizar o consumo de energia na operação (mantendo, no mínimo, o mesmo nível de serviço) de modo a minimizar o consumo de combustível total. (FU; GAO; LI, 2009; ZHUAN; XIA, 2006).

Segundo Homer *et al.* (1999), na logística ferroviária são necessários estudos que tratem problemas que ultrapassam os limites entre os departamentos da empresa e as variáveis em análise tem um alto nível de agregação. Em outras palavras, são vistas de forma global, diferentemente de estudos mais operacionais onde o foco é a melhoria do processo de determinado trem ou certo trecho da malha ferroviária.

3.3 O Processo de Tomada de Decisão

Uma das atividades centrais do administrador é tomar decisões. No entanto, decisões no ambiente organizacional, em geral, são complexas, pois envolvem diversas variáveis, análises de dados que, por vezes são imprecisos ou incompletos, além de múltiplos critérios e inúmeros agentes de decisão que precisam ser considerados. Ademais, as decisões podem também ter vários objetivos, que acabam sendo conflitantes entre si. O processo de tomada de decisão tem por objetivo selecionar uma opção que apresente a melhor execução, o melhor julgamento e a melhor concordância considerando – se as expectativas do tomador de decisão e a relação entre todos os elementos que influenciam na conjuntura da organização. Desta forma para definirmos o processo decisório deve-se ponderar qual das alternativas possíveis é a mais viável de forma a se adaptar ao perfil e realidade da organização e qual o curso de ação para que a mesma seja implantada (MARINS *et al.*, 2009).

Partindo-se da alegação de que todo o sistema de elaboração de decisões produz uma decorrência que leva a uma rota de conduta e a uma escolha final, o processo decisório é basicamente cognitivo empresarial pelo qual se escolhe um plano de metas e ações embasadas em análises de variadas conjunturas, fatores, ambientes e orientações que culminam na equalização de uma situação-problema. A utilização das ferramentas de qualidade é imprescindível para estabelecer o primeiro passo que consiste em identificar e contextualizar a situação problema para então analisar e elaborar procedimentos sabendo-se que qualquer decisão tomada pelo administrador afetará a empresa como um todo (MELLO, 2011).

No âmbito das regras empresariais a técnica de tomada de decisões é um tópico de importância essencial, indispensável e estratégica na busca do desenvolvimento contínuo,

aperfeiçoamento e perpetuação das organizações, motivo pelo qual necessita ser tratado com prioridade tendo em vista que a tomada de decisão baseada em dados e cenários errôneos ou simplistas, bem como uma abordagem superficial ou parcial da situação durante o processo decisório, podem trazer resultados catastróficos a qualquer empreendimento (BAZERMAN e MOORE, 2012).

Neste contexto, DURBACH e STEWART (2012) recomendam que cinco atributos de avaliação integrem de forma abrangente o estudo de apoio ao processo de decisão, são eles: probabilidades, pesos de decisão, medidas de risco explícito, números *fuzzy* e cenários. Um dos principais fatores envolvidos no processo de tomada de decisões é sem dúvida a necessidade de planejar e direcionar suas decisões, organizar, ampliar e direcionar as ideias, fundamentadas em análises sólidas, auxiliadas pelas ferramentas disponíveis do processo de gestão da qualidade.

Em relação aos processos decisórios há uma linha tênue entre o que se avalia ser correto e o necessário, é algo que deve ser metodicamente analisado e projetado, pois a responsabilidade pelo arbítrio é muito grande. Para se tomar boas decisões é necessário formar um conjunto real de informações adicionando excelente capacidade de julgamento, análise sistemática e experiência, neste prisma faz-se condição primordial de diferenciação, o cultivo de uma cultura de gestão de qualidade na empresa (GEBAUER et al., 2005).

Conforme WERNECK (2005) é possível sistematizar o processo de tomada de decisão da seguinte maneira, dentre outras possíveis:

- a) Identificação do problema – nem sempre é simples, pois frequentemente se confundem com seus sintomas ou mesmo são propositadamente escondidos.
- b) Definição dos critérios de decisão - quais parâmetros serão posteriormente utilizados na seleção das alternativas. Elementos são: custos, tempo de implementação, qualidade, capacidade de produção.
- c) Atribuição de pesos aos critérios – Nem todos os critérios são iguais. Dificilmente uma alternativa será superior à outra em todos os critérios. Desse modo terão de lhes ser atribuídos pesos, para auxiliar no processo de escolha das alternativas.
- d) Investigação de alternativas de soluções - É o momento de procurar alternativas, ou seja, de buscar hipóteses de soluções para o problema, com a maior liberdade possível, sem maiores preocupações com a qualidade, efetividade ou mesmo viabilidade delas. O importante, neste aspecto é obter o maior espectro de alternativas, buscar quantidade.

- e) Verificação das alternativas - Identificadas as alternativas, elas deverão ser avaliadas. É o momento de descartar as inviáveis. As remanescentes serão mensuradas de acordo com os critérios previamente definidos.
- f) Seleção de uma das alternativas - cumpridos os passos anteriores: basta aplicar os pesos e verificar qual delas obteve melhor resultado.
- g) Implementação da alternativa escolhida - A implementação, passo seguinte, não faz parte propriamente do processo de decisão, mas é a realização de seu objetivo.
- h) Avaliação dos resultados - A avaliação dos resultados, último passo, também não faz parte desse processo, mas é importante fonte de reflexão para aperfeiçoar a tomada de novas decisões

3.3.1 Método de análise de processo

Um método bastante difundido para análise de processo é o Ciclo PDCA. O ciclo PDCA é um método clássico da literatura, uma forma simples de organizar as melhorias em ciclos sucessivos, cada um deles composto de quatro fases ou etapas que consistem em definir as ações necessárias, dimensionar os recursos e condições, identificar as dependências e as implicações, atribuir as responsabilidades e especificar o processo de medição do desempenho e dos resultados esperados. PDCA é a sigla das palavras inglesas PLAN, DO, CHECK e ACTION quando traduzidas: Planejar, executar, verificar e agir, onde de maneira simples e objetiva afirma que dentro de uma organização é de fundamental importância que se faça primeiramente um planejamento definido os métodos, treinar os colaboradores para que execute o planejado, verificar o resultado do que foi executado e agir de forma a prevenir os efeitos indesejados, adotando como padrão aquilo que foi planejado, para que haja um planejamento contínuo (MARSHALL JUNIOR et al., 2008)

Melhorar um processo significa estabelecer uma nova meta para permanecer nela. De acordo com CAMPOS (1992), a fase P consiste nas etapas de identificação do problema, observação (reconhecimento das características do problema), análise do processo (descoberta das causas principais que impedem o atingimento das metas) e plano de ação (contramedidas sobre as causas principais). A fase D do PDCA de melhoria é a de ação, ou atuação de acordo com o plano de ação para bloquear as causas fundamentais. Na fase C, é feita a verificação, ou seja, a confirmação da efetividade do plano de ação para ver se o bloqueio foi efetivo. Já na fase A existem duas etapas, a de padronização e a de conclusão. Na etapa de padronização, caso o bloqueio tenha sido efetivo, é feita a eliminação definitiva das causas para que o problema

não reapareça. Na etapa de conclusão ocorre a revisão das atividades e planejamento para trabalhos futuros. Caso na fase C (*check*), o bloqueio não tenha sido efetivo, deve-se voltar na etapa observação da fase P (*plan*).

Para RODRIGUES (2006), “o ciclo PDCA busca monitorar com eficácia a gestão dos processos produtivos, por meio do diagnóstico das situações indesejáveis dessa consequente busca de soluções, que devem ser precedidas de uma definição e de um planejamento adequado do processo”.

Segundo JÚNIOR (2008), o ciclo PDCA é um método gerencial para a promoção da melhoria contínua e reflete em suas quatro fases, a base da filosofia do melhoramento contínuo. Praticando-se de forma cíclica e ininterrupta, acaba-se por promover a melhoria contínua e sistemática na organização, consolidando a padronização de prática.

Segundo ARAÚJO (2007), o ciclo de *Deming/Shewhart* também conhecido como ciclo PDCA, ilustrado na Figura 6, representa um processo cíclico direcionado a melhoria, onde a primeira etapa consiste em planejar (*Plan*), seguida pela etapa de ação ou execução do planejamento (*Do*), pela etapa de verificação dos resultados até então obtidos com as ações planejadas e executadas (*Check*) e pela etapa de implementação final do idealizado como mudança, após as considerações sobre eventuais acertos (*Act*).

Figura 6: Ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado de Araujo, 2007

Plan/Planejar consiste em definir as ações necessárias, dimensionar os recursos e condições, identificar as dependências e as implicações, atribuir as responsabilidades e especificar o processo de mediação do desempenho e dos resultados esperados.

Do/Executar, execução das ações determinadas no plano, desde a obtenção de recursos e condições até a implantação do processo de mediação e controle. Seu resultado é um conjunto de sistemas, processos, equipamentos ou que mais tenha sido objetivado no plano, devidamente implementado e em condições de ser operado e de produzir os efeitos desejados.

Control/Controlar, mais do que medir implica assegurar que o processo tenha sido executado mediante observação cuidadosa de seu desempenho planejado na fase P. Para isso, usam -se relatórios de acompanhamento e de desvios, mostrando o atendimento ou não dos parâmetros de controle estabelecidos.

Act/Atuar na verdade, mais apropriadamente, deve-se denominar esta fase por “como aprender com erros e acertos”, pois ela é a utilização prática dos resultados do processo, bons ou maus, para serem avaliados na cultura e nos métodos e sistemas da organização. As organizações, entretanto, de um modo geral, não suportam tantas mudanças em seus procedimentos, instrumentos, métodos, e até cultura interna, ao mesmo tempo.

O autor reitera que o Ciclo PDCA pode ser desdobrado em etapas ou passos em geral conhecidos como Método de Análise e Solução de Problemas (MASP). A Tabela 4 sequencia os passos para análise e solução de problemas.

Tabela 4: Passos da Análise e Solução de Problemas – Ciclo PDCA.

| Passos | Atuação |
|---------------------------|--|
| Identificação do Problema | <ul style="list-style-type: none"> • Selecionar o problema a solucionar, priorizando os temas existentes; • Levantar as perdas atuais e as possibilidades de ganho; • Nomear os responsáveis e a equipe, propondo data limite de conclusão. |
| Observação | <ul style="list-style-type: none"> • Entender o problema, levantando o seu histórico a frequência de ocorrência; • Observar, no local, as características, como ambiente, instrumentos, confiabilidade dos padrões e treinamento. |
| Análise | <ul style="list-style-type: none"> • Identificar e selecionar as causas mais prováveis do problema. |
| Plano de Ação | <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar a estratégia de ação; • Elaborar o plano de ação; • Divulgar o plano de ação. |

| | |
|--------------|--|
| Ação | <ul style="list-style-type: none"> • Treinar e capacitar as pessoas, buscando o comprometimento de todos; • Executar e acompanhar a ação, registrando os resultados; • Coletar dados. |
| Verificação | <ul style="list-style-type: none"> • Comparar os resultados com as metas esperadas; verificar a continuidade ou não do problema. Se os resultados esperados não forem alcançados, voltar ao passo 2; • Listar eventuais efeitos secundários. |
| Padronização | <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar ou alterar o padrão; • Comunicar internamente as alterações; • Educar e treinar todos os envolvidos no novo padrão. |
| Conclusão | <ul style="list-style-type: none"> • Registrar os avanços obtidos pelo grupo; • Relacionar os problemas remanescentes; • Planejar a solução dos problemas remanescentes, voltando a executar o ciclo PDCA; • Refletir sobre o trabalho, visando à melhoria contínua. |

Fonte: ISNARD, 2012.

3.3.2 A Análise de investimentos como auxílio na tomada de decisão

Segundo Sousa (2007) a análise de investimento pode ser compreendida como a utilização de técnicas específicas de princípios financeiros com propósito de apontar, entre as diversas possibilidades de investimento, a melhor. Desta forma, segundo o autor, é uma ferramenta necessária que tem o objetivo de apresentar se é viável ou não o empreendimento através da análise de indicadores que são úteis na tomada de decisão relativa a um empreendimento.

A análise econômica de um investimento traz perspectivas de todos os gastos envolvidos no investimento inicial da empresa. Também traz as operações e receitas que serão geradas em um período, para dessa maneira, gerar indicadores econômicos do projeto para os investidores, afirma Linde Meyer (2008).

De acordo com Fonseca apud Bischoff (2013), para um investimento ser aceito é necessário ser feito duas análises: uma análise econômica e outra financeira. A análise econômica é um estudo de mercado, projeções de oferta e demanda do produto, entre outros. A análise financeira envolve recursos financeiros, financiamento do investimento necessário em um projeto, projeção de fluxo de caixa e o retorno.

“Um projeto é uma máquina de mudança. Ele é concebido quando se percebe a necessidade de progresso, quando provavelmente há um período de discussão, especulação, uma “rodada de avaliação” dos prós e contras e ideias, sem muita ação decisiva até que o conceito assuma uma forma identificável. Se esta forma foi assumida e se chegou a um acordo quando o caráter desejável do projeto, é importante esclarecer ser propósito exato, isto é, rascunhar objetivos escopo, resultado de custo, e identificar os interessados (aqueles que estão envolvidos e outros que poderiam trazer vantagens ou desvantagens caso viessem participar do projeto)”. (Keelling, P. 25, 2002).

A seguir serão abordadas brevemente alguns das principais ferramentas relacionadas à análise financeira de investimentos:

a) Valor Presente Líquido

Segundo Bischoff, (2013), o valor presente líquido (VPL) trata-se da soma do valor de todos os períodos que compõem o fluxo de caixa, é preciso definir uma taxa de desconto que deverá refletir no custo do investidor. Se o VPL for positivo o projeto será aceito, pois, o capital investido será recuperado e gerará um lucro extra, igual ao VPL. Se for negativo o projeto não será aceito, pois gerará prejuízo.

O Valor Presente Líquido corresponde ao valor presente dos resultados esperados – positivos e negativos –, do fluxo de caixa, descontando-se a ao custo do capital, ou seja, à TMA. Essa taxa de desconto refere-se àquela em que o investidor poderia aplicar o capital com baixíssimo risco (Salles, P.6, 2004).

O cálculo do VPL de um investimento é baseado em estimativas de venda, de receitas, de custos, assim, o resultado do VPL é a estimativa. Se tudo correr conforme o esperado o VPL do investimento se aproximará do VPL projetado, afirma Bischoff (2013).

Conforme afirma Lindemeyer (2008), a fórmula utilizada para calcular o valor presente líquido é:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Eq. 10})$$

Na qual:

VPL: Valor Presente Líquido; FC: Fluxo de Caixa do Período; I: Investimento Inicial; i: Custo do Capital; t: Número de Períodos.

Para Titman e Martin apud Bischoff (2013), após fazer previsões e gerar uma estimativa do VPL do investimento, o analista deve analisar profundamente as premissas necessárias no cálculo do VPL, para entender o que aconteceria se o projeto não saísse como planejado.

O VPL apresenta o valor corrente das futuras entradas e saídas de caixa, consiste em desconsiderar uma taxa predeterminada, ou seja, é a diferença entre as entradas e as saídas, ambas descontadas da taxa estabelecida (SOUSA, 2007)

O método do VPL apresenta as seguintes vantagens, conforme Sousa (2007) e Ferreira (2009): a) Fácil entendimento do que é o VPL; b) Retornos rápidos; c) Fácil visualização gráfica e fácil de calcular; d) Trabalha com o valor do dinheiro no tempo; e) Utiliza a taxa mínima de retorno estabelecida pelo investidor; e f) Demonstra eventuais acréscimos ao valor do investimento obtido por investimentos individuais.

Para Sousa (2007), Frezatti (2008), Ferreira (2009) e Samanez (2009), como desvantagens do VPL temos: a) Muitos empreendedores têm dificuldade em estabelecer a taxa mínima; b) Se o objeto em análise for mais que um investimento e estes tiverem vidas úteis diferentes, é necessário encontrar uma vida útil comum; c) Tem dificuldade de adaptar e rever decisões futuras, ou seja, espera que tudo aconteça como planejado, o que normalmente não ocorre, pois a incerteza do mercado faz o gestor mudar as estratégias; e d) As sobras de caixa são reaplicadas pela taxa de custo de oportunidade.

b) Taxa Mínima de Atratividade

A TMA (taxa mínima de atratividade), é a taxa de juros mínima que o investidor exige para aceitar o investimento, reflete o valor do dinheiro no tempo e o risco do fluxo de caixa do projeto. Dessa maneira a TMA representa o custo de oportunidade de abandonar a melhor alternativa para o investimento, (BISCHOFF, 2013).

c) *Payback*

“É o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado”. (Bischoff, 2013 p.96)

Segundo Bischoff (2013), existem dois métodos de *payback*, o simples e o descontado. O simples faz uma comparação entre o tempo e o prazo máximo para a recuperação do investimento. Determina que se o prazo de recuperação do investimento for menor do prazo máximo estabelecido, o projeto deverá ser aceito caso contrário não será aceito.

O *payback* descontado leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, ou seja, é o tempo de recuperação do investimento remunerado pela taxa de juro que representa a taxa mínima de atratividade.

O *payback* comumente é usado de forma preliminar a outros métodos. Se por exemplo, o *payback* descontado de um projeto for superior ao período máximo estabelecido pela empresa para recuperar o investimento inicial, este não deve ser aceito pela empresa, mesmo que apresente TIR superior ao custo de capital ou VPL positivo, afirma Bischoff (2013).

Segundo Bischoff (2013), o *payback* é um período de retorno do capital aplicado no projeto, dadas as entradas e saídas do caixa. É o primeiro indicador a ser verificado em uma análise de viabilidade econômica. Pode ser feito de duas formas: simples e descontado, o simples não considera o custo do capital durante o período, e o descontado considera o valor do capital ao longo do tempo. Para calcular o *payback* descontado precisa-se do custo de oportunidade do capital e para isso utiliza-se a denominada taxa mínima de atratividade, que representa o que o mercado pagava do capital caso não fosse aplicado na análise de projetos.

Segundo Lindemeyer (2008), a fórmula utilizada para calcular o *payback* pode ser compreendida como a razão entre os custos e investimentos de um projeto e as entradas de caixa em um determinado período.

d) Simulação de Monte Carlo

Bischoff (2013), afirmam que a simulação de monte Carlo fornece uma ferramenta que ajuda o analista a avaliar o que pode acontecer aos fluxos de caixas futuros de um investimento, é útil na análise de projetos pois os resultados de investimento é a consequência da junção dos principais fatores.

O Método de Monte Carlo pode ser utilizado largamente na avaliação de projetos, onde os riscos envolvidos podem ser expressos de forma simples e de fácil leitura, e as simulações auxiliam a decisão. Assim, os indicadores deixam de ser determinísticos e passam a ser estocásticos, probabilísticos. (Moore & Weatherford P.2, 2005)

Conforme Fernandes apud Bischoff (2013), a principal importância da simulação de monte Carlo é estabelecer um modelo que corresponde a uma variável para o risco analisado e mostrar a esta variável um número grande de interações.

Segundo Corrar (1993), a situação de incerteza: Monte Carlo é uma ferramenta que requer a utilização de números randomizados e probabilidade, para obter resultado. Esse método é mais usado quando o modelo é complexo, ou seja, que envolve um número razoável de incerteza. Uma simulação pode envolver mais de dez mil avaliações sendo que antigamente só poderia ser realizada por computadores.

Segundo Moore e Weatherford (2005), a ferramenta de Monte Carlo possui uma grande vantagem que é determinar os erros que afetam a viabilidade do sistema que está sendo feito.

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos envolvem os diversos aspectos relacionados ao escopo deste trabalho, objetivando esclarecer, demonstrar e analisar o objeto estudado a partir da avaliação crítica do processo logístico ferroviário aplicado a um Estudo de Caso, mediante o cumprimento de etapas.

Com a finalidade de organizar o método de trabalho a pesquisa foi dividida em 4 etapas, sendo que a primeira e a última estão relacionadas a análise de *trade-off*:

Etapa I: Levantamento qualitativo dos *trade-off* logísticos;

Etapa II: Análise das informações de custos operacionais;

Etapa III: Análise das informações de capacidade do sistema ferroviário;

Etapa IV: Avaliação quantitativa de *trade-off*

Este trabalho possui uma abordagem empírico-analítica de natureza quali-quantitativa. Em seu aspecto qualitativo foram recolhidas diversas informações sobre o processo produtivo, tomada de decisão, avaliação de causa efeito e sobretudo o levantamento dos *trade-off* relacionados aos estudos levantados e a avaliação holística dos ganhos relacionados à sua aplicação. O seu aspecto quantitativo é evidenciado pela obtenção de dados estatísticos mensuráveis destacando como pontos relevantes os dados de custos, indicador de eficiência energética e avaliação de viabilidade financeira.

Este trabalho possui caráter exploratório sobre as aplicações do *trade-off* e seus benefícios e descritivo quanto a análise do objeto de estudo, por meio de dados relacionados à situação-problema

4.1 Coleta de Dados

Para coleta de dados referentes ao estudo de caso foram obtidas informações do planejamento logístico e dados executados através do Operador Logístico da EFC (Vale SA).

Para etapa I, utilizando a vivência dos últimos quatro anos no núcleo da engenharia ferroviária da EFC, período de maior *ramp up* de produção (leia-se transporte, em se tratando da fase ferrovia) desse complexo ferroviário, e por meio do compartilhamento de experiência com profissionais de mais de 30 anos de experiência em ferrovia foram levantados os principais interesses conflitantes da logísticas, aqui tratados por *trade-off* logísticos do ponto de vista da capacidade de produção e custos.

Para análise de priorização desses *trade-off* foi realizado um levantamento das principais variáveis dos estudos operacionais de capacidade de transporte na logística ferroviária e uma estratificação dos gastos associados a esse sistema.

Para Etapa II, para os dados relativos aos custos, os dados foram levantados do órgão regulamentador ANTT (Agência Nacional de transportes terrestres) nas demonstrações financeiras “*Carve-out*” da Estrada de Ferro Carajás ANTT (2017) assim como a “base de gastos” e de ativos relativa aos valores previstos para o ano de 2018. Os dados foram analisados e priorizados para a análise.

Os dados de eficiência energética são retirados do sistema oficial de gestão do operador, sistema GPV-Ferrovias. O sistema foi implantado no mês de abril de 2016. Os dados utilizados foram do intervalo entre maio de 2016 e maio de 2017.

Para dados de custo de aquisição e investimentos por ativo (Vagões e Locomotivas) e vida útil foi tomado como base o Caderno de Engenharia 2, publicado pela ANTT (2018) durante o processo de audiências públicas da renovação da Concessão da ferrovia Carajás.

Para Etapa III, os dados foram obtidos por meio do sistema informatizado de utilizado pelo Operador Logístico assim como premissas utilizadas na elaboração do orçamento de transporte.

Para Etapa IV as informações das etapas anteriores foram utilizadas de forma correlacionadas para análise de dados.

4.2 Análise dos dados

Na Etapa I, a análise dos dados de custos foi abordada mediante os conceitos de Custo Total trabalhado por FARIA e COSTA (2005) e Lambert (1994), avalia-se que para o processo de logística ferroviária em análise pode-se simplificar os custos da seguinte forma:

$$C_t = C_f + C_v \quad (\text{Eq. 11})$$

Na qual: C_t - Custo Total, C_f – Custo Fixo e C_v – Custo Variável

O gasto foi avaliado levando em consideração as áreas organizacionais da Operadora da ferrovia, que são divididas entre os tipos de ativo componentes do sistema logístico ferroviário (Via permanente, locomotivas, vagões, etc.) e a operação, conforme representado abaixo entre custos fixos e variáveis.

Tais gastos foram estratificados a fim de identificar variáveis que possam ser diretamente sensibilizadas pela produção, como por exemplo, quantidade de trens e ativos rodantes (Vagões e Locomotivas) necessário

Para a avaliação do Indicador de eficiência energética foi realizado estudo em que foi utilizado parcialmente o método PDCA associado à priorização pelo princípio de Pareto visando o melhor entendimento e identificação os principais “ofensores” ao consumo de combustível utilizando estatística descritiva.

A análise dos dados relacionados à capacidade foi realizada as metodologias de análise de capacidade ferroviária descritas no referencial teórico, pode-se relacionar essas variáveis, de forma teórica. A produção a ser realizada é função da capacidade de transporte de cada trem e da quantidade de trens descarregadas, que pode ser ilustrada como:

$$P = Qcd * Cr * Cv \quad (\text{Eq. 12})$$

Na qual: P representa a Produção (t);

Qcd a Quantidade de trens descarregados;

Cr a Capacidade de reboque em quantidade de vagões por trem;

Cv a Capacidade de transporte por vagão.

A quantidade de trens descarregados depende do ciclo e da quantidade de trens existentes.

Fisicamente o ciclo de transporte é a relação da distância com a velocidade média, assim como descrito no Método Colson (Equação 5).

A Quantidade de trens descarregados em um dado período é dado pela relação entre o tempo de operação e o ciclo, assim como descrito no Método AAR (Equação 3).

Já a quantidade de “trens líquidos” possível de ser formada é função da frota líquida de vagões e locomotivas, sendo que o limitador é o ativo com menor proporção em relação à proporção do modelo de trem, dessa forma, em relação à frota de Locomotivas, temos:

$$Qcl = \frac{Fl * Df}{Cr} \quad (\text{Eq. 13})$$

Na qual:

Qcl: Quantidade de composições líquidas

Fl: Frota Bruta de Locomotivas

Df: Disponibilidade Física de Locomotivas

L: Quantidade de locomotivas por trem

Por consequência o dimensionamento em quantidade da frota de locomotivas é a relação de tipos de tração capaz de transportar o modelo de trem operado pela concessionária (conforme já descrito em capítulos anteriores). A EFC opera com trens com 4 ou 3 Locomotivas, essa última em duas configurações, 3 Locomotivas AC ou 2 locomotivas AC +1 Locomotiva DC (Trem de tração Mista).

Assumindo-se que:

Qcl1: trens com 3 locomotivas AC

Qcl2:trens com 2 Locomotivas AC e 1 Locomotiva DC(trem de tração mista)

Qcl3: trens com 4 Locomotivas DC

Sabendo que a frota total de Locomotivas corresponde ao somatório de locomotivas AC e DC, temos que:

Logo,

$$Qcl = Qcl1 + Qcl2 + Qcl3 \quad (\text{Eq. 14})$$

Pode-se dizer que:

$$QtdeAC = 3 * Qcl1 + 2 * Qcl2 \quad (\text{Eq. 15})$$

e que:

$$QtdeDC = 1 * Qcl2 + 4 * Qcl \quad (\text{Eq. 16})$$

A quantidade média de locomotivas por trem(L) pode ser descrita como:

$$L = \frac{Qtde AC + QtdeDC}{Qcl} \quad (\text{Eq. 17})$$

É possível observar que quanto menor for Qcl3 menor a demanda total de locomotivas isso acontece porque as Locomotivas AC apresentam maior potência tratora do que as locomotivas DC. Abaixo pode-se. Observar o parque de Locomotivas da EFC por potência e tipo de tração.

Para avaliação dos ciclos individuais dos modelos de trem da EFC foi realizado uma análise estatística descritiva de dados dos cinco primeiros meses do ano de 2018.

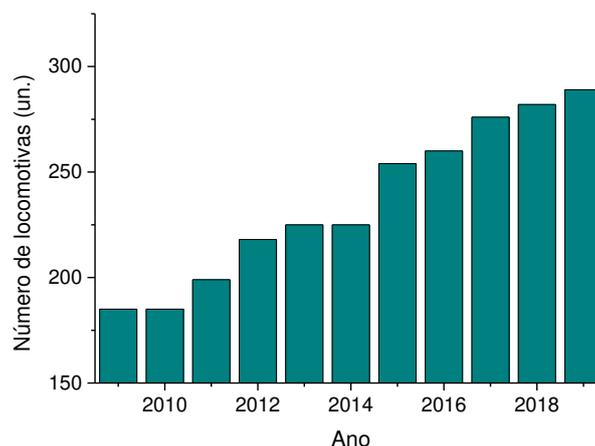
Tabela 5: Volume transportado em 2016, ferrovias *heavy haul* no Brasil.

| Concessionária | Volume transportado (milhares de toneladas úteis) |
|----------------|--|
| EFC | 175.333 |
| MRS | 137.126 |
| EFVM | 129.907 |
| Rumo | 49.839 |
| VLI | 42.102 |

Fonte: CNT (2018).

A Estrada de Ferro Carajás encontra-se em expansão contínua nos últimos anos, conforme ilustrado na Figura 1. Muitos estudos voltados a capacidade são realizados visando maximizar a produção, muitas vezes não levando em consideração os impactos recorrentes em custos provenientes de algumas decisões.

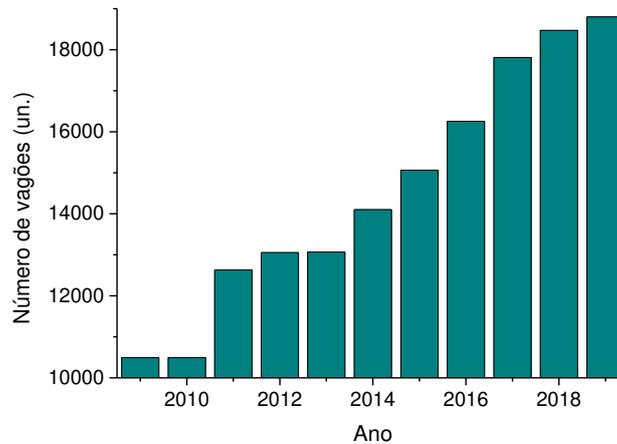
De acordo com a Figura 8 e Figura 9, pode-se observar o aumento do parque bruto de rodantes, locomotivas e vagões, para atendimento da demanda de transporte de Minério transportado na EFC. Neste, tem-se um aumento expressivo tanto na frota de locomotivas (56%) como na frota de vagões (79%). Nesse mesmo período o volume de transporte caminha para um aumento de 131%.

Figura 8: Frota de locomotivas da EFC desde 2009 até 2019.

Fonte: Autor.

O fato do volume aumentar muito mais que a frota de rodantes evidencia maior produtividade por trem, isso acontece principalmente pela redução no ciclo de viagem, proveniente, em muito, pelo projeto de duplicação da Ferrovia EFC.

Figura 9: Frota de Vagões da EFC desde 2009 e projetado até 2019.



Fonte: O Autor.

Outras melhorias operacionais diretamente relacionadas ao aumento específico (por trem) de capacidade, como por exemplo melhorias em procedimento de condução, peso médio de carga, alteração no trem tipo (capacidade de reboque de vagões), assim como mudança da quantidade de trações necessárias para o mesmo comboio gerando redução relativa da quantidade de locomotivas em relação à quantidade de vagões, o que explica a diferença relativa de crescimento entre esses 2 ativos ferroviários. Anteriormente o trem tipo era apenas trem DC, com 4 locomotivas para 330 vagões.

Utilizando a metodologia abordada no capítulo 4 foi possível obter resultado para as 4 etapas estabelecidas a citar:

Etapa I: Levantamento qualitativo dos *trade-off* logísticos;

Etapa II: Análise das informações de custos operacionais;

Etapa III: Análise das informações de capacidade do sistema ferroviário;

Etapa IV: Avaliação quantitativa de *trade-off*

5.2 Identificação dos principais *trade-off* logísticos

Diante da avaliação de variáveis que influenciam a capacidade e das parcelas representativas em custo foi realizado um levantamento das situações reais que envolvem decisões no ambiente de engenharia ferroviária, que via de regra privilegiam a avaliação do ponto de vista técnico, de confiabilidade, mas que também se faz necessária uma análise minimamente quantificada dos efeitos sobre o custo unitário, buscando a minimização do “custo total” como parâmetro essencial para tomada de decisão. Infelizmente, muitas vezes,

essa avaliação não acontece conectando o efeito da capacidade com o efeito do custo associado de forma paralela, impossibilitando a análise de margem operacional de forma a minimizar o custo total.

Análoga a Tabela 1 apresentada por Amaral (2004) foi levantada uma Tabela restrita às situações reais observadas na logística ferroviária do estudo em questão referente a situações em que se aplicam a avaliação de *trade-off* para trazer assertividade à tomada de decisão. Apesar do levantamento se restringir a situações reais desse estudo de caso muitas dessas avaliações são comuns a outras operações ferroviárias.

A Tabela 6 apresenta questões que estão em avaliação e que precisaram de respostas relativamente rápidas e, minimamente conclusivas por meio de uma análise de *trade-off*. Muitas dessas avaliações são comuns à logística ferroviária.

A proposta desse levantamento é identificar quais variáveis precisam ser analisadas de forma integrada em uma função objetivo de avaliação de custo total, visando minimizar os custos unitários de transporte ou mesmo questionar o *statu quo* de operação.

Apesar de não exaustiva, observa-se claramente, em coerência ao que foi concluído por Faria e Costa (2007), de que a avaliação dos *trade-off* é limitada na formulação de projetos específicos e que muitas vezes é abordado de forma pouco aprofundada em relação à análise de custo total. E, assim como exposto por Ahuja et. al. (2005), observa-se que o ramo ferroviário ainda apresenta estudos, do ponto de vista táticos, ainda pouco explorados em relação aos modais aéreo e rodoviário em se tratando de estudos operacionais mais estruturados. Dessa forma, para aplicação de uma análise robusta de *trade-off* faz-se necessário envolver profissionais experientes que sejam capazes de conhecer as relações favoráveis e possivelmente desfavoráveis para a iniciativa de interesse de modo a contemplá-la em uma análise de custo unitário.

Em alguns casos a análise de dados evidencia que variáveis que podiam se comportar de forma antagônica para o custo unitário, muitas vezes identifica-se que podem ser positivas, minimizando o risco da tomada de decisão. Na Tabela 6 é possível correlacionar, por exemplo, iniciativas de manutenção de via permanentes com a influência na capacidade, assim como a relação existente entre as combinações do modelo de tração com a eficiência energética e a capacidade de produção.

Priorizando as iniciativas da Tabela 6 pretende-se avaliar com maior detalhe as iniciativas voltadas à eficiência energética devido sua significativa representatividade no custo unitário total. Além da representatividade financeira observa-se que das onze avaliações levantadas, 5 estão relacionados à eficiência energética como um motivador da avaliação

(classificados como B.E.G.J.K na Tabela 6), e todas com relação direta com a avaliação de capacidade de transporte do sistema.

Antes de analisar as iniciativas se faz necessária uma análise física de entendimento das parcelas que influenciam a eficiência energética nesse sistema. É o que se apresenta no próximo capítulo.

Tabela 6: Iniciativas passíveis de avaliação de *trade-off* para a EFC.

| # | Trade Off | Expectativa positiva | Possível efeito contrário a ser avaliado |
|---|---|--|---|
| A | Atuar mais preventivamente na Via Permanente? | Maximizar Capacidade Maximizar confiabilidade. | Aumento do Ciclo (Capacidade) Menor disponibilidade de Via (Capacidade). Aumento do Custos de manutenção (Custos) |
| B | Qual modelo/potência de locomotiva a ser comprado? | Aumento da Capacidade de reboque Melhoria na eficiência energética | Piora da Eficiência energética (Custos) Aumento do Ciclo (Capacidade) |
| C | Aumentar ou diminuir o tamanho do trem? | Maximizar Capacidade | Aumento do tempo de ciclo (capacidade) Aumento da quantidade de trações (Custos) |
| D | Otimizar turno para maquinistas? | Minimizar quadro de pessoal QLP Redução de custos com hospedagem | Aumento do número de horas extras (Custo) Aumento do risco de ocorrências por fadiga(capacidade) |
| E | Utilizar otimizador de viagem para "condução econômica"? | Melhoria na eficiência energética | Aumento do tempo de ciclo (capacidade) Aumento da demanda de material Rodante (Custos) |
| F | Aumentar a disponibilidade física dos materiais rodantes? | Reduzir investimento com aquisição de ativos Aumentar a flexibilidade operacional | Incremento de equipe de manutenção (Custos) Reformulação na estratégia de manutenção (Custo) |
| G | Otimizar as combinações de locomotivas nas composições? | Melhorar a Eficiência energética | Aumento do Ciclo (Capacidade) Aumento da necessidade de rodantes (Custo) |
| H | Aumentar a utilização da capacidade de carga dos vagões (peso médio)? | Aumento da capacidade de carga | Redução da confiabilidade de via permanente (Capacidade) Aumento do tempo de carregamento/ciclo (Capacidade) |
| I | Aumentar a quantidade de trem na malha? | Aumento da capacidade de transporte | Aumento do tempo de ciclo (Capacidade) Redução da produtividade por composição (Custo) |
| J | Reduzir a potência na viagem do trem vazio | Melhoria na eficiência energética | Aumento do tempo de Ciclo (Capacidade) |
| K | Reduzir o número de paradas do trem para troca de equipagem(Maquinista) | Melhoria no Ciclo Melhoria na Eficiência energética | Aumento de horas extras de maquinistas (Custo) Aumento dos riscos de ocorrências ferroviárias por fadiga |

Fonte: O Autor, em referência a Amaral,2004.

5.3 Identificação das principais parcelas de Custo

A Estrutura de gastos da operação ferroviária foi avaliada mediante Demonstrações Financeiras “*Carve-out*” da Estrada de Ferro Carajás apresentadas a ANTT (2017) e análise da “base de gastos”, contemplando a abertura dos valores previstos para o ano de 2018 referente à concessionária da ferrovia e separados por natureza de gastos (Tabela 7).

Tabela 7:Gastos operacionais anuais na EFC.

| Descrição de Contas Contábeis | Valor (R\$) |
|---|-------------------------|
| Combustíveis e Lubrificantes | 633.928.069,59 |
| Custos com pessoal | 614.298.153,28 |
| Materiais e serviços de manutenção | 475.271.400,21 |
| Outros gastos de suporte | 279.961.469,28 |
| Custos operacional total para serviço de transportes de cargas | 2.003.459.092,36 |

Fonte: O Autor, adaptado de ANTT, 2017.

Para fins de simplificação foram utilizados os custos operacionais do transporte ferroviário. Não são abordados os custos relacionados ao estoque de produto, uma vez que esse trabalho tem escopo restrito à operação ferroviária e nesse complexo de mineração os custos de armazenagem estão associados às fases de “Mina/Usina” e a “Fase Porto”, nem custos indiretos relacionados ao produto, como custos relacionados às “áreas de suporte” como áreas de saúde, segurança, meio ambiente, etc. Também não foram levantados os custos associados à investimentos correntes, realizando essas considerações e adotando a base de gastos de 2018, é notado que os custos fixos foram estratificados pela natureza conforme Tabela 8.

Tabela 8:Representatividade dos gastos fixos da EFC por natureza.

| Tipo de Gasto | Parcela | Gasto fixo (%) | Parcela no gasto total (%) |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Fixo | Materiais e Serviços de Manutenção | 39 | 19 |
| Fixo | Gastos relacionados a Pessoal | 49 | 24 |
| Fixo | Outros gastos de suporte | 12 | 6 |

A parcela de maior representatividade no gasto está relacionada a custo com com “Pessoal” para atendimento do sistema correspondendo a 49% dos gastos fixos. A

representatividade do gasto fixo no gasto total é de 49%. Em seguida foram estratificados os custos operacionais variáveis, ilustrados na Tabela 9.

Tabela 9: Representatividade dos gastos variáveis da EFC.

| Tipo de Gasto | Parcela | Gasto variável (%) | Parcela no gasto total (%) |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Variável | Diesel transporte | 95 | 49 |
| Variável | Diesel outras operações | 1 | 1 |
| Variável | Outros Custos variáveis | 4 | 2 |

Foi identificado que os custos variáveis são da ordem de 51% dos custos totais, na estrutura de custos do Operador Logístico e que, o consumo de combustível é da ordem de 96%, os outros 4% estão relacionados predominantemente ao consumo de óleo lubrificantes da frota de locomotivas e manuseio de minério. É observado na Tabela 10, os gastos separados por componente da ferrovia.

Tabela 10: Custos Operacionais da EFC 2018 por área em milhões de reais.

| Área | Valor fixo (x10⁶ R\$) | Valor variável (x10⁶ R\$) |
|------------------------------------|---|---|
| Gastos totais de Manutenção | | |
| Função manter via permanente | 217,5 | 9,4 |
| Função manter locomotivas | 179,3 | 16,8 |
| Função manter vagões | 167,3 | 0,7 |
| Função manter eletroeletrônica | 67,7 | 8,9 |
| Outros | 56,7 | 0,1 |
| Gastos de Operação | | |
| Diversos | 186,4 | 881,6 |

Fonte: Autor, adaptado de ANTT, 2017.

Analisando de modo mais aprofundado os valores propostos, temos uma significativa participação dos gastos de Operação, representando 60% dos gastos totais, sobretudo pela significativa parcela de gasto variável representado quase que totalmente pelo combustível para transporte (Tabela 11).

Tabela 11: Representatividade dos custos operacionais da EFC, em 2018, por área.

| Área | Valor fixo (%) | Valor variável (%) |
|--------------------------------|----------------|--------------------|
| Função Manter Via Permanente | 12 | 1 |
| Função Manter Locomotivas | 10 | 1 |
| Função Manter Vagões | 9 | 0 |
| Função Manter Eletroeletrônica | 4 | |
| Outros | 3 | 0 |
| Gastos totais de Manutenção | 38 | 2 |
| Gastos de Operação | 10 | 49 |

Em relação à manutenção ressalta-se a significativa parcela de rodantes (vagões e locomotivas), representando metade dos 40% relacionados aos custos de manutenção.

Essas parcelas de gasto existem para atender o transporte ferroviário, muitas dessas parcelas possuem relação direta e precisam ser avaliadas sob a ótica da maximização da capacidade de transporte, levando em consideração o efeito no custo para garantir a relação de custo unitário que melhor favoreça o negócio.

Além dos custos operacionais absolutos, visando uma abordagem de *trade-off* com efeitos no dimensionamento do parque de rodantes foi necessário levantar dados de custo unitários por ativo (vagões e locomotivas), para operação (gastos e investimentos), aquisição, venda e vida útil. Os dados obtidos tomaram como base o caderno de engenharia VOL II, publicado pela ANTT (2018) durante o processo audiências públicas da renovação da Concessão da EFC. Os dados podem ser observados as Tabela12.

Tabela 12: Premissas utilizadas para análise *trade-off*

| Parâmetro | Quantidade | Fonte |
|--|-------------------|---|
| Volume base (Mta) | 200,67 | Autor, em referência ao ano de 2018 |
| Quantidade de “trens líquidos” (un.) | 55 | Autor, em referência ao ano de 2018 |
| Frota Líquida Locomotivas AC (un.) | 77 | Autor, em referência ao ano de 2018 |
| Frota Líquida Locomotivas DC (un.) | 110 | Autor, em referência ao ano de 2018 |
| TKB por trem(10^3 t.km) | 43.263,12 | Dados realizados nos 5 primeiros meses de 2018 |
| Carga útil por trem (t) | 34.292,94 | Dados realizados nos 5 primeiros meses de 2018 |
| Preço (R\$.L ⁻¹ _(Diesel)) | 2,36 | PETROBRAS, 2018. Valor sem impostos data referência 30/09/2018 |
| Disponibilidade Física de Locomotivas (%) | 90 | Autor, em referência ao ano de 2018 |
| Custo de aquisição de Frota AC (R\$) | 9.126.196,67 | ANTT, 2018 |
| Custo de aquisição de Frota DC (R\$) | 9.126.196,67 | ANTT, 2018 |
| Valor Venal Locomotiva Usada (R\$) | 3.650.478,67 | Autor, Adaptado de ANTT 2018, considerado 40% do ativo novo Adaptado do Demonstrativo ANTT, 2017. |
| Gasto Operacional Locomotivas AC (R\$) | 943.826,84 | Considerado proporcional à Potência (Valor DC*6000Hp/4400Hp) Adaptado do Demonstrativo ANTT, 2017. |
| Gasto Operacional Locomotivas DC (R\$) | 692.139,68 | Considerado linear em relação aos gastos |
| Investimento Corrente/Locomotiva (RS) | 68.344,38 | ANTT, 2018. Considerado idade média 12,5 anos. |

Dada a significância em gastos relacionados à eficiência energética (49%), esta foi priorizada para ser estudada juntamente com a definição da configuração de trações (conforme Figura 2), já que essa é uma decisão operacional. Em seguida, para correlacionar com a capacidade, a parcela de ciclo foi avaliada para as três configurações de tração usuais, lembrando que o ciclo tem correlação direta com o dimensionamento de rodantes (representatividade de 20% dos gastos). Mediante essa análise de gastos a priorização do *trade-off* entre eficiência energética e ciclo pode ser avaliado visando a redução do custo unitário total. O *trade-off* “G” (Otimizar as combinações de locomotivas nos trens) da Tabela 6 foi priorizado para avaliação.

5.3.1 Estudo de Eficiência Energética para análise de gastos com combustível

Esse estudo foi realizado com o viés operacional utilizando a metodologia PDCA. Da metodologia do PDCA foram analisados resultados para as duas primeiras parcelas da etapa de planejamento (P) para desenvolvimento desse trabalho.

Dessa forma foi estudado:

- A Identificação do problema: Desconhecimento das parcelas mais significativas de um indicador com altíssimo impacto nos custos operacional, gerando riscos ao custo total do negócio.
- A Análise do fenômeno: Estratificação do indicador em suas parcelas contribuintes e a relação do resultado com os inputs do processo sob a suspeita da influência da configuração de tração.

Demais etapas do método de solução de problemas (Tabela 4) não foram contempladas nesse estudo.

5.3.1.1 A Identificação do Problema

- A representatividade - Identificação do problema/porque é prioritário

Dentre os custos de operação de uma ferrovia o custo com combustível, via de regra, é o mais significativo. No contexto da Estrada de Ferro Carajás, os trens consomem, por ano, mais de 350 milhões de litros de Óleo Diesel.

Do consumo total, os trens para transporte do minério de ferro são os mais representativos, responsáveis por 96% desse gasto.

5.3.1.2 O Indicador de Eficiência Energética

O indicador de Eficiência energética mede a quantidade de óleo diesel necessário para transportar mil toneladas de minério de ferro por quilometro de ferrovia, conforme ilustrado na Figura 10. Este indicador é medido a partir de dois fatores: Os volumes de diesel consumidos pelo processo dividido por toda a tonelada bruta transportada em toda a distância percorrida pelos trens. Os litros consumidos são compostos pelo consumo em circulação mais o diesel consumido em manobras e atividades de oficina.

Figura 10: Entendimento do indicador de eficiência.



Fonte: O Autor.

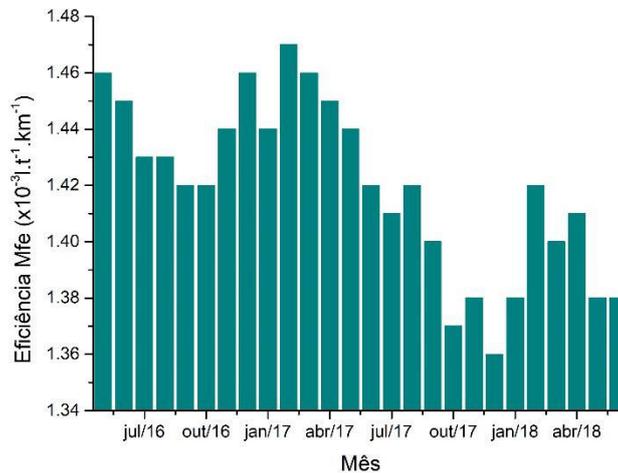
A tonelada bruta é a composição da tara de todos os vagões do trem somadas ao peso médio carregado em todos os vagões do trem. A distância é considerada apenas o deslocamento do trem em circulação no circuito Porto-Mina, para o trem vazio, e o circuito Mina-Porto para o trem carregado. Dessa forma, a orientação do indicador é negativa, quanto menor melhor, menos litros consumidos para realizar o transporte.

5.3.1.2.1 Resultado histórico

Observa-se que o resultado de eficiência energética vem melhorando ao longo do tempo (Fig. 11), observa-se ainda um aspecto sabidamente sazonal devida a influência do período chuvoso, sobretudo na redução do peso médio de carregamento dos vagões. No entanto

observa-se que no mesmo período de 2017 o ano de 2018 já evidencia um menor consumo de combustível para realização do mesmo trabalho. Observa-se também elevada variabilidade nos resultados.

Figura 11: Resultados do indicador de Eficiência Mfe EFC em $10^{-3} \text{ l.t}^{-1}.\text{km}^{-1}$.



Fonte: O Autor.

Nesse período algumas decisões foram tomadas, como a utilização da “tração mista” e desligamento da “remota B” (locomotiva posicionada após o primeiro lote de vagões do comboio) e os efeitos foram comprovadamente positivos para eficiência energética. Comparando mês a mês de janeiro de 2017 até junho com o mesmo período de 2018 observa-se uma redução de consumo de aproximadamente 3,6%. O que representa uma redução de consumo de combustível de aproximadamente 2250 litros por trem. (Consumo médio por trem 2018 de 60.960 litros de combustível).

5.3.1.3 Análise do Fenômeno

5.3.1.3.1 Estratificação do Indicador

Como visto no detalhamento do indicador, a taxa de eficiência energética representa a quantidade de diesel necessário para transportar mil toneladas de minério em mil metros de ferrovia. Dessa maneira o foco da produtividade está no consumo de diesel. A medida que o volume de transporte aumente o consumo por tonelada deve diminuir para aumentar a lucratividade da empresa.

Seguindo esse raciocínio a estratificação utilizou o consumo de diesel em alguns níveis do processo, afim de identificar a representatividade em todos os níveis e calculado a taxa respectiva para avaliar a eficiência energética por etapa, como pode-se observar na Figura 12.

Figura 12: Planejamento da estratificação de dados de eficiência energética.



Detalhando tem-se:

- Processo - A EE dos trens de Minério é composta pelo consumo e TKB gerado durante a circulação somado ao consumo e TKB gerado no retorno das locomotivas de *helper* ao fim do circuito. O primeiro nível de estratificação será feito por cada parte do processo dos trens de Minério. Foi priorizado o subprocesso circulação por representar 99,6% do consumo de combustível;
- Tipo de trem - Durante o subprocesso de circulação os trens podem ser desconfigurados afetando o comportamento de consumo e consequentemente a EE. Os trens considerados "Padrão" são os trens com 3 lotes de vagões, com origem/destino dos terminais de carregamento (Carajás, Serra Sul e Serra Leste) e com os tipos de tração usuais - 3 locomotivas AC, 4 locomotivas DC ou 2 locomotivas AC e 1 Locomotiva DC (Misto). Os demais foram considerados trens desconfigurados. Foram priorizados os trens "padrão" por representar 95,14% do consumo;
- Terminal de carregamento - O Sistema Norte, onde se localiza a EFC possui 3 terminais de carregamento (Serra Sul, serra Leste e Serra Norte) A EE de cada terminal tem

características específicas devido ao perfil de via, circulação e no processo de carregamento que afeta o consumo e o TKB do trem. O terminal de Serra Sul foi colocado recentemente em operação e está em processo de *ramp-up*. Com base na priorização de consumo de combustível foi priorizado o ponto de carregamento em serra Norte (Carajás), por representar 94,05%.

Em seguida os dados foram estratificados em sentido e tipo de tração, os resultados são os encontrados abaixo:

- (1) Carregado Misto: 26,07% com EE de $1,031 \times 10^{-3} \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$;
- (2) Carregados DC: 21,26% com EE de $1,067 \times 10^{-3} \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$;
- (3) Carregados Tração AC: 11,89% com EE de $1,062 \times 10^{-3} \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$;
- (4) Vazios Tração Mista: 16,02% com EE de $3,759 \times 10^{-3} \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$;
- (5) Vazios Tração DC: 11,64% com EE de $3,389 \times 10^{-3} \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ e
- (6) Vazios Tração AC: 7,16% com EE de $3,806 \times 10^{-3} \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$

Um resumo dos resultados analisados na etapa de priorização pode ser observado na Figura 13.

Pelo que é possível concluir que, do ponto de vista da eficiência energética, a melhor opção seria maximizar trens vazios com tração DC e trens carregados com tração mista. Aplicando aos resultados encontrados temos o ranking de eficiência energética de viagem (vazio e carregado) por configuração de tração apresentados na Tabela 13, a seguir:

Tabela 13: Eficiência energética por modelo de tração

| Ranking | Tipo de tração | Eficiência energética ($\times 10^{-3} \text{ l.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) | | |
|---------|--------------------|--|----------------|-------|
| | | Trem Vazio | Trem Carregado | Total |
| 1° | Trens tração DC | 3,389 ± 0,502 | 1,067 ± 0,069 | 1,408 |
| 2° | Trens tração mista | 3,759 ± 0,496 | 1,031 ± 0,059 | 1,425 |
| 3° | Trens tração AC | 3,806 ± 0,510 | 1,062 ± 0,063 | 1,457 |

Como o sistema é fechado, sem trocas de tração no seu modelo operacional, ou seja, a tração que parte vazia é a mesma que retorna, conclui-se que ponderadamente a tração mista é a tração a ser maximizada, sob a ótica da eficiência energética. Do ponto de vista de custos com combustíveis os trens com tração mista custam 1,2% mais e os trens com tração AC custam 3,5% a mais do que os trens com tração DC. Apesar do grande volume de dados no período foi observado que o processo é instável, o coeficiente de variação de eficiência no trem vazio ficou torno de 5% para o trem carregado e 10% para o trem vazio.

Apesar das diferenças dos resultados médios de EE serem inferiores aos coeficientes de variação utilizaremos os resultados médios calculados por entender que o processo ferroviário é fechado e passível de várias interferências externas também por observar que os resultados de coeficiente de variação são relativamente próximos entre os tipos de tração.

5.4 Identificação das parcelas relacionadas à capacidade

Na Tabela 14 são indicadas as principais variáveis relacionadas à capacidade de transporte ferroviário identificadas e priorizadas pelo autor com base nos modelos de capacidade estudados no referencial do presente trabalho.

Tabela 14: As principais variáveis relacionadas à capacidade de transporte ferroviário.

| Referência | Variável | Parâmetro |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| Quantidade de trens em operação simultânea num dado sistema ferroviário | Trens na Malha | unidade |
| Capacidade de reboque de cada trem, levando em consideração a carga bruta transportada por vagão e o modelo de tração | Capacidade de Reboque | vagões.trem ⁻¹ |
| Capacidade de carga do vagão, levando em consideração a eficiência do sistema de carregamento, o volume útil da caixa do vagão e a densidade do produto transportado | Capacidade do Vagão | ton.eixo ⁻¹ |
| Tempo compreendido entre a operação de carga e descarga para um trem | Ciclo de transporte | h |
| Distância que compreende duas situações de descarga de produto (Descarga-carga-descarga) | Distância | km |
| Relação distancia sobre tempo | Velocidade Média | km.h ⁻¹ |
| Configuração do trem em relação à quantidade de locomotiva, determinando a força de tração do trem | Configuração de tração | locomotivas.trem ⁻¹ |
| Período de indisponibilidade da via férrea para circulação. Comumente associado à disponibilidade Física da Via Permanente | Indisponibilidade para o transporte | adimensional |
| Relação entre frota líquida e frota bruta de ativos, comumente utilizado em manutenção para descrever relação entre o tempo disponível do ativo e o tempo que o mesmo se encontra restrito sob responsabilidade da área de manutenção | Disponibilidade Física dos ativos | adimensional |
| Relação entre capacidade real e capacidade nominal. Adimensional que reflete o efeito de cruzamentos, paradas e outras intervenções que limitam a capacidade do sistema | Eficiência do transporte | adimensional |

*Na EFC, o tamanho do trem apresenta restrições em relação à configuração dos pátios, de modo que o trem com 330 vagões apresenta tamanho máximo possível, apresentando apenas configurações de tração diferentes.

Fonte: O Autor.

Obviamente essas variáveis possuem relação de interdependência, relacionando a equação 12 e 13, baseadas nos modelos de Colson e ARR, tem-se a equação 18, em que as variáveis acima estão unidas em uma única relação algébrica simplificada conforme abaixo, visando explicitar a relação entre dimensionamento de rodante (quando associada à equação 17), ciclo e capacidade.

$$P = \frac{Qcl * T * Cv * Cr}{C} * E \quad (\text{Eq. 18})$$

Na qual:

P – Produção desejada (t)

Qcl – Quantidade de “trens líquidos” (podendo ser convertido em locomotivas e vagões)

T – Período/Tempo de operação (horas)

Cv – Capacidade de vagão (t/vagão)

Cr – Capacidade de reboque (número de vagões/trem)

C – Ciclo de transporte (horas)

E – Eficiência do transporte, aqui simplificada como todos os fatores que interferem negativamente nas relações teóricas abordadas, logo é um valor entre 0 e 1).

Observação: A Frota de locomotiva é a frota líquida, que é o resultado da disponibilidade física desses ativos aplicada à frota Bruta.

Analisando a equação 18, pode-se observar a correlação direta entre a produção e a quantidade líquida de trens, bem como, a sua configuração em relação à quantidade de vagões e o peso médio carregado por vagão. Por outro lado, com correlação negativa observa-se o ciclo de viagem. São 55 trens para mês de referência adotado e aproximadamente 54,2 trens de média ano. A Tabela 15 ilustra a disponibilidade física (DF), quantidade líquida em trem e tipo de cada frota de locomotiva quanto ao tipo de tração elétrica. Abaixo os dados de operação da EFC com base no transporte previsto para 2018:

Tabela 15: Característica das locomotivas da EFC e quantidade em trem.

| Modelo | Tipo | Potência (Hp) | DF (%) | Frota Líquida em trem |
|--------|------|---------------|--------|-----------------------|
| Dash 9 | DC | 4.400 | 90 | 66 |
| SD70 | DC | 4.300 | 88 | 44 |

| | | | | |
|------|----|-------|----|----|
| SD80 | AC | 5.300 | 85 | 5 |
| EVO | AC | 6.000 | 92 | 72 |

Até 2009, toda a frota era composta por locomotivas do modelo DC (Dash-9 e SD70). Nos anos seguintes, houve a aquisição de novas locomotivas AC para atendimento do aumento de volume uma vez que estas apresentariam uma maior potência nominal e uma maior flexibilidade operacional.

Observa-se que o modelo EVO, modelo de maior potência, é a frota de maior representatividade, representando 38,5% da quantidade líquida de locomotiva. As locomotivas DC representam 58,8% da frota líquida. Os resultados de disponibilidade física são referentes às diferentes necessidades de manutenção preventiva e corretiva de manutenção de cada modelo de locomotiva consequente da estratégia de manutenção vigente.

Na Tabela 16 pode-se observar a quantidade de trens em cada um dos três tipos de trem tipo em um cenário tido como “Cenário Base”:

Tabela 16: Cenário base de configuração de modelos de tração dos trens da EFC.

| Trens em Operação | Modelo | Quantidade |
|-----------------------------|-------------|------------|
| Trens com 4 locos | 4 DC | 22 |
| Trens com 3 locos | 3 AC | 11 |
| Trens com 2AC + 1DC (mista) | 2 AC + 1 DC | 22 |

Até 2009 todos os trens eram de tração DC. A Aquisição de Locomotivas AC propiciou uma menor relação de ativos por trem (3 e não 4) e a partir de 2015 estudos operacionais validaram tecnicamente a formação de “trens mistos”. Atualmente, como pode-se observar 40% dos trens já são compostos por tração mista.

Dessa forma tem-se que, aplicando a equação 17, a relação média de locomotivas por trem (L) é da ordem de 3,4 Locomotivas por trem, sendo, em média 2 locomotivas DC e 1,4 Locomotivas AC.

- Df vagões – 96,7%, ou seja, para garantir 330 Vagão líquido são necessários 341,3 Vagões
- Cv - 104,7 Toneladas por vagão;
- Cr – trens com 3 lotes de 110 vagões cada, totalizando 330 vagões;
- Produção anual de transporte (P) – 200,67Mta

- Ciclo – aproximadamente 71,1 horas para mês de referência

Com base nos dados, disponíveis em ANTT (2017), que e 1º de janeiro a 30 de junho de 2018, a Ferrovia transportou 91,909 milhões de TU de produtos (79.331 mil TU em 2017), uma malha de aproximadamente 0,972 mil Km de malha operada, o que lhe confere uma densidade de carga ano projetada da ordem de **189 mil TU por Km de ferrovia**, sendo então a segunda colocada em comparação com os dados apresentados pela ANTT. Vale ressaltar que os volumes da EFC ainda estão em *ramp up* para a mesma malha, o que melhora essa relação.

Obviamente, dado que o sistema se encontra em *ramp up* de produção, esses dados apresentam variabilidade, para fins de simplificação foi utilizada a média-ano para as avaliações de dimensionamento.

5.4.1 Análise dos ciclos para os modelos de trem da EFC

Abaixo, na Tabela 17, estão os resultados de *transit time* (Ciclo de viagem, sem os tempos nos terminais) para cada modelo de tração após tratativa dos dados.

Tabela 17: Tempo de viagem por configuração de tração

| Tipo de tração | <i>Transit time</i> (h) | | |
|--------------------|-------------------------|----------------|-------|
| | Trem Vazio | Trem Carregado | Total |
| Trens tração DC | 35,03 ± 7,63 | 34,55 ± 6,01 | 69,58 |
| Trens tração mista | 34,44 ± 6,97 | 34,25 ± 5,40 | 68,68 |
| Trens tração AC | 35,04 ± 6,77 | 34,82 ± 5,60 | 69,85 |

Curiosamente, o trem com menos relação potência/peso apresenta o melhor resultado de *transit time* tanto para o trem vazio quanto para o trem carregado. Essa relação se explica por alguns estudos de desligamento de remota “B” no trem vazio DC além do caráter estocástico. Dada a alta densidade de trens na malha espera-se que haja forte influência da velocidade de um trem em relação aos que estão imediatamente a sua frente e imediatamente atrás. Fato que só poderia ser comprovado com uma simulação dinâmica complexa. Em análise teórica, percebe-se claramente o contrário, trens com maior potência apresentando melhores resultados de tempo. Isso ocorre em situações de parada e arranque de trem carregado, por exemplo, devido a maior facilidade para romper a inércia.

Os cenários de testes em relação à potência no trem DC (desligamento de uma máquina no trem vazio) aparece evidenciado com o elevado desvio padrão do *transit time*

Para todos os casos observa-se elevado coeficiente de variação, sobretudo devido aos eventos (falhas), que, mesmo numa ferrovia praticamente duplicada, provoca impactos significativos, assim como outras externalidades.

Nos trens carregados observa bastante similaridade no coeficiente de variação, de modo que não dá para afirmar, com os dados executados, que o tipo de tração afeta significativamente o *transit time*.

5.5 Análise de *Trade-off* baseada no ciclo, eficiência energética e modelo de tração

O processo de logística engloba um conjunto de elementos interdependentes visando atender determinado objetivo único, assim como as decisões sobre o processo são inter-relacionadas, e a meta final deve ser a mesma para todas elas. O processo logístico deve ser pensado em função do melhor nível de serviço ser assegurado, devendo operar de maneira a garantir que seja atendido em tempo de planejamento ou de operação, logicamente, neste planejamento/operação deverá ser orçado todos os custos operacionais. O custo de um elemento afeta o custo de outros elementos do processo. Evidentemente, interessará a quem planeja/opera o processo, o menor custo total e não reduções de custos em determinado elemento, que resultem em maior custo total.

Algumas premissas foram assumidas, visando facilitar a avaliação. Foi considerado o horizonte de 1 ano para avaliação das premissas. Para análise financeira foi utilizado análise VPL no horizonte de 25 anos.

Os custos operacionais tomaram como base os custos já descritos em capítulo específico.

5.5.1 Análise de situação ótima para Eficiência Energética

Tendo como função objetivo a minimização do consumo de combustível por trem e considerado todo volume transportado seria via Carajás (Serra Norte) foi possível avaliar a configuração ótima de tração (Tabela 18).

Tabela 18: Quantidade de trens por modelo de tração para melhor eficiência energética

| | Cenário | | |
|---|---------|-------------|------------------------|
| | Base | Frota Atual | Sem restrição de Frota |
| Trens tração DC | 22 | 18 | 55 |
| Trens tração mista | 22 | 37 | 0 |
| Trens tração AC | 11 | | 0 |
| Locomotivas DC | 110 | 109 | 220 |
| Locomotivas AC | 77 | 74 | 0 |
| Eficiência($10^{-3}l.t^{-1}.km^{-1}$) | 1,424 | 1,419 | 1,408 |
| Custo ano (milhões R\$) | 851,23 | 848,09 | 841,39 |

Com base nos resultados observa-se que a melhor configuração de tração acontece minimizando trens com tração AC (menos eficiente) e numa relação 2:1 dos “trens mistos” com trens DC, conforme restrições do parque de ativos. Caso não houvesse restrições em relação a frota atual a configuração de tração para melhor eficiência seria com todos os trens com tração DC, no entanto em relação a frota atual representa um cenário completamente diferente, com mais 111 locomotivas DC e menos 74 Locomotivas AC.

Em litros temos que, levando em consideração a restrição referente ao parque de ativos atual o consumo por ciclo de viagem seria de 61.390,37 litros de combustível

5.5.2 Avaliação de configuração de tração de menor custo total

Para análise de otimização do modelo de tração, partiu-se cenário base (Tabela 20) e foi avaliado cenário com maior VPL. É sabido que para análise de viabilidade financeira várias parcelas são avaliadas. Foi utilizado apenas o VPL Para fins de simplificação. Na Tabela 19, os parâmetros que foram utilizados para avaliação de VPL.

Tabela 19: Parâmetros financeiros utilizados para análise de VPL.

| Premissa | Valor (%) |
|---------------------------------------|-----------|
| TMA | 11 |
| Alíquota do IRRF (%) | 25 |
| Alíquota de contribuição social (%) | 9 |
| Recuperação PIS/COFINS (investimento) | 9 |
| Período (anos) | 25 |

Para análise de VPL não foram consideradas restrições de frota, apenas a maximização do VPL, a Tabela 20 apresenta os resultados da combinação de tração de menor custo total, lembrando que não estão considerados cenários com variação de ciclo entre os tipos de trens.^{10⁶}

Tabela 20: Quantidade de trens por modelo de tração para menor custo total sem considerar variações no ciclo.

| Parâmetro | Cenário Base | | Menor Custo Total | |
|--|--------------|--------|-------------------|--------|
| | % | Qtde | % | Qtde |
| Trens tração DC | 40 | 22 | 31 | 17 |
| Trens tração mista | 40 | 22 | 69 | 38 |
| Trens tração AC | 20 | 11 | 0 | 0 |
| Locomotivas DC | | 110 | | 106 |
| Locomotivas AC | | 77 | | 76 |
| Eficiência ($\times 10^{-3} \text{t.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) | | 1,424 | | 1,419 |
| Custo Diesel ($\times 10^6$ R\$) | | 851,23 | | 848,27 |
| Ciclo de Viagem (h) | | 71,1 | | 71,1 |

A maximização do trem misto, de 40% para 69% acontece sobretudo pela redução proporcionada no custeio de locomotivas assim como receitas relacionadas ao desinvestimento. O Trem de tração AC (de menor Eficiência) aparece minimizado a “zero”. Observa-se proximidade com o cenário otimizado de eficiência, sendo ainda mais favorecido pelo desinvestimento.

Na Tabela 21 as principais parcelas de variação financeira em comparação com o cenário base

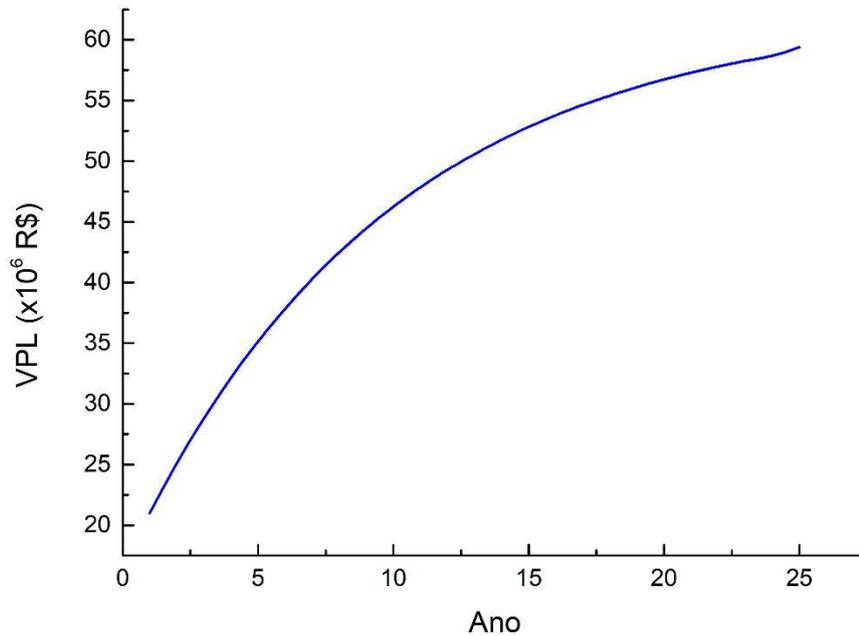
Tabela 21: Variações financeiras - cenário base vs cenário de menor custo total.

| Parcela | Escopo | Valor (R\$) | Incidência |
|---------------------|-----------------------------------|---------------|------------|
| Desinvestimento | Venda Locomotivas | 18.252.393,34 | Ano 0 |
| | Investimento Corrente Locomotivas | 379.690,97 | 25 anos |
| Reduções de Custeio | Custeio Locomotivas AC | 1.048.696,49 | 25 anos |
| | Custeio Locomotivas DC | 3.076.176,38 | 25 anos |
| | Eficiência energética | 2.964.662,71 | 25 anos |

Operacionalmente corresponde a venda de ativos (~R\$ 18,2 milhões), sendo 4 Locomotivas DC e 1 Locomotiva AC, custo evitado com investimentos correntes de locomotiva (~R\$ 0,4 milhões), reduções de custeio com locomotivas provenientes da redução da base de ativos (~R\$ 4 milhões) e melhoria na Eficiência Energética (~R\$ 3 milhões).

O VPL no período foi de 59,4 milhões de reais conforme pode ser observado ano a ano na Figura 14.

Figura 14: VPL cenário base considerando modelo de tração de menor custo total, sem considerar impacto no ciclo do trem misto.



Dado que é esperado um aumento na média do ciclo com o aumento de trem misto, assim como o fato de restringir a formação de trens AC pode provocar um aumento no ciclo (por restrição operacional), de forma que essa avaliação é indispensável para melhor otimização. Em seguida é realizada uma análise de viabilidade sensibilizando do aumento hipotético do tempo de ciclo de viagem no “trem misto”.

5.5.3 Trade-off – Quantificando a influência do ciclo no custo

Para viabilizar uma análise de *trade-off* adequada é necessário identificar a influência entre as variáveis analisadas. Para isso foi realizada uma avaliação quantitativa do efeito relativo ao aumento de uma hora no ciclo de viagem (variável abordada na avaliação de capacidade) em custo operacional.

Para avaliação do custo de uma hora no ciclo foi calculado o VPL sobre o cenário base, sensibilizando apenas a premissa de ciclo em uma hora. Para as avaliações de ciclo foi considerado que todas as variações de capacidades seriam compensadas com aumento ou redução marginal na quantidade de trens operacionais, de forma que pudessem ser quantificados investimentos referentes a aquisição/venda de ativos e seus componentes e custeios relacionados à manutenção e operação destes ativos.

Em relação às premissas já estabelecidas são adicionadas:

Tabela 22: Premissas levando em consideração variações de ciclo de viagem.

| Premissa | Valor | Fonte |
|---------------------------------------|------------|--|
| Ciclo de referência (horas) | 71,1 | Autor |
| Locomotivas Líquidas por trem | 3,4 | Autor |
| Disponibilidade Física de Vagões (%) | 96 | Autor |
| Investimento Corrente/Vagão | 1.699,90 | Caderno de Engenharia ANTT |
| Valor Venal Vagão Usado (R\$) | 105.683,56 | Autor, Adaptado de ANTT 2018, considerado 40% do ativo novo |
| Custo de aquisição por vagão (R\$) | 253.640,55 | ANTT, 2018 |
| Gasto Operacional Vagão Líquido (R\$) | 9.719,15 | Adaptado do Demonstrativo ANTT, 2017, considerando linear aos gastos |
| Gasto fixo por trem | 1.031.378 | Autor, adaptado de “base de gastos” |

Para incremento de ativos foi considerada frota Evolution e relação de 3,4 Locomotivas por trem, conforme cenário base, os resultados são os apresentados na Tabela 23:

Tabela 23: Variações financeiras - Cenário Base x Cenário Base com aumento de 1 hora no ciclo.

| Parcela | Escopo | Valor (R\$) | Incidência |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Investimento | Compra Locomotivas | 24.002.795,74 | Ano 0 |
| | Compra Vagões | 67.445.733,45 | Ano 0 |
| | Investimento Corrente Locomotivas | 199.724,93 | 25 anos |
| | Investimento Corrente Vagões | 433.939,65 | 25 anos |
| Aumentos de Custeio | Custeio AC | 2.758.175,02 | 25 anos |
| | Custeio trens | 1.031.378,00 | 25 anos |
| | Custeio Vagões | 2.481.049,65 | 25 anos |

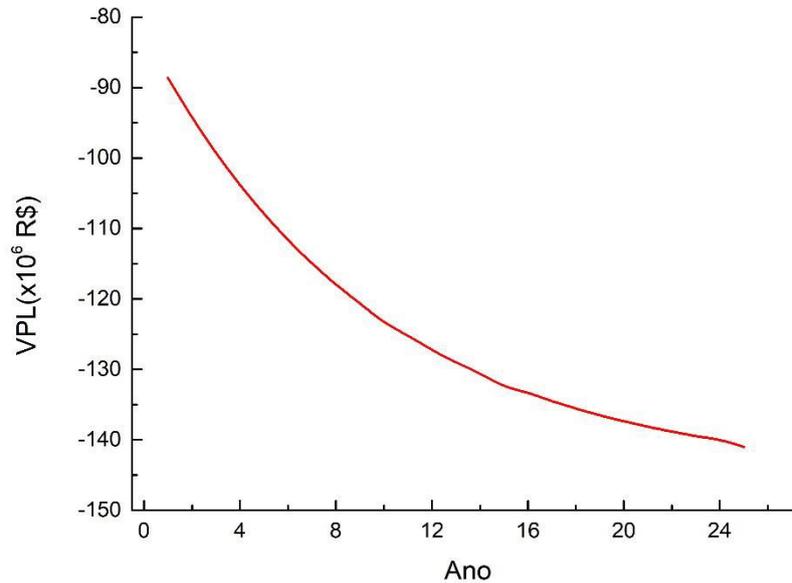
As análises são marginais, uma vez que, em dimensionamento, uma hora de Ciclo não corresponde a 1 trem inteiro, extrapolando a equação deduzida no capítulo de capacidade, a equivalência de uma hora no ciclo em relação ao dimensionamento de ativos rodantes pode ser observada na Tabela 24 a seguir:

Tabela 24: Equivalência de 1 hora no ciclo em dimensionamento de ativos.

| | | |
|------------------------------------|----------------------|--------|
| Uma hora de ciclo corresponde a... | Trens | 0,77 |
| | Locomotivas Líquidas | 2,63 |
| | Vagões Líquidos | 255,27 |
| | Locomotivas Brutas | 2,92 |
| | Vagões Brutos | 265,91 |

O VPL equivalente ao longo dos 25 anos (Figura 15), obviamente é negativo, já que o ciclo é diretamente proporcional à necessidade de trens para transportar um mesmo volume.

Figura 15: VPL ao longo de 25 anos equivalente ao impacto do aumento de uma hora no ciclo.



Em VPL tem-se o equivalente a -R\$ 141 milhões em 25 anos., sendo que deste montante 141 milhões, 98,5 milhões são necessários no primeiro ano para a aquisição e manutenção/operação de ativos. Ademais o valor de R\$ 6,9 milhões seria a parcela anual estimada para manutenção e operação desses ativos ao longo do período.

5.5.4 *Trade-off* de trem misto considerando variações no ciclo

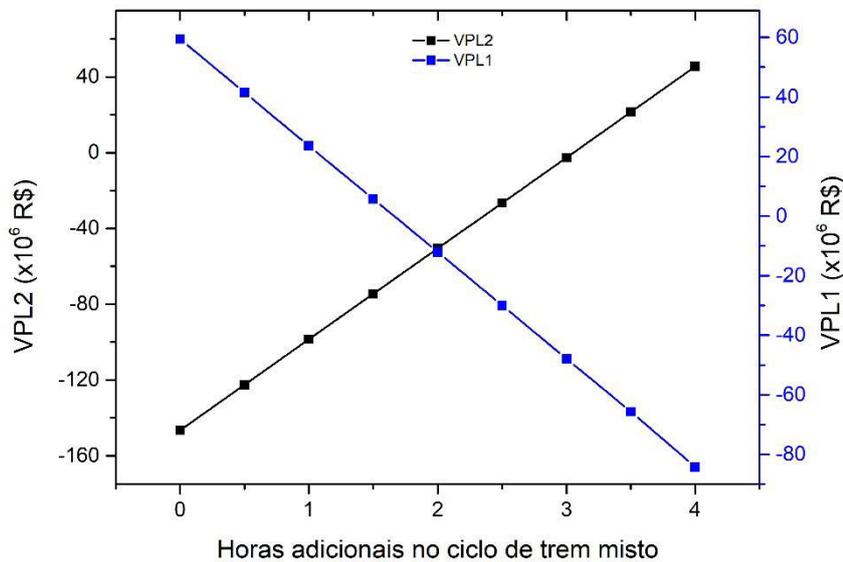
Conforme abordado, o “trem misto” propicia ganhos em custos relacionados à menor necessidade de locomotivas e melhor eficiência energética em relação ao trem AC, no entanto não foi possível afirmar que efeitos em ciclo (que influencia o dimensionamento de trens para um mesmo volume de transporte) são sensibilizados, embora esse fosse um resultado obtido do ponto de vista teórico, devido a menor potência tratora dessa configuração de tração. Visando avaliar a influência em ciclo, foram sensibilizados nove cenários, partindo do ponto sem efeito de tempo adicional de viagem no “trem misto” com incremento de meia hora, até 4,5 horas de impacto.

Os resultados obtidos passaram por uma inversão radical no modelo ótimo de tração por volta do ponto 6, conforme apresentado no gráfico abaixo com o VPL expresso em milhões de reais e o ciclo em horas totais.

Durante as soluções do modelo foram obtidos 2 modelos de trens que eram ótimos a depender do cenário, essas 2 configurações foram chamadas de VPL1 e VPL2 (Tabela 25).

O VPL1 compreende formação de trem ótimo encontrada para adicionais de tempo do trem misto até 2,5 horas, esta formação coincide com o modelo de tração ótimo sem as considerações de ciclo, enquanto que o VPL2 compreende formação ótima de trem misto para tempos adicionais no trem misto a partir de 2,5 h. Os resultados em VPL para as duas configurações de tração estão apresentados na Figura 16.

Figura 16: VPL em função do tempo adicional no ciclo do trem misto.



Observa-se, entretanto, que o VPL1 só é positivo para valores menores do que 1,66 h enquanto que o VPL2 só é positivo a partir de tempos adicionais em torno de 3,05 h. Nesse intervalo não foi encontrada nenhuma outra solução com VPL positivo, logo conclui-se que entre 1,66 h e 3,05 h o cenário base é o mais viável. Caso seja identificadas variações temporais no ciclo do trem misto fora desse intervalo uma das duas soluções pode ser aplicada com a justificativa de viabilidade financeira.

Abaixo as configurações dos modelos de tração para o VPL1 e VPL2.

Tabela 25: Configuração de tração ótima com base na análise de quatro horas de ciclo a mais em “trem misto”.

VPL1 VPL2

| Tração | Qtde trens | |
|--------------|------------|----|
| Tração DC | 27 | 17 |
| Tração mista | - | 38 |
| Tração AC | 28 | - |

Observa-se que os modelos ótimos são bastante diferentes, para o VPL2 com viabilidade a partir de 3,05, temos que para o cenário máximo analisado (4h), o VPL é de ~R\$ 45,4 milhões. Com esse efeito, a não utilização do trem misto reduziria o ciclo a ponto de conseguir realizar o volume com um trem a menos.

6 TRABALHOS FUTUROS

- Aplicação aprofundada de *trade off* para as demais iniciativas não priorizadas nesse estudo
- Visão de custos integrada entre as Fases Mina/Usina, Ferrovia, Porto/Distribuição
- Análise de custo total utilizando a vida útil remanescente dos ativos, levando-se em consideração os custos e performance específicos por modelo de locomotiva (disponibilidade Física, custos de manutenção, etc.) ao longo do tempo por meio de estudo de LCC para refinar a análise.
- Avaliar possíveis incremento de custos de manutenção associados aos tipos de tração (Por exemplo maiores custos de manutenção de motor de tração para o trem de menor relação potência/peso)

7 CONCLUSÃO

Foi identificado no estudo de caso um aumento expressivo tanto na frota de locomotivas (56%) como na frota de vagões (79%) desde o ano de 2009 e de volume de transporte em ordem ainda maior (131%), portanto é possível concluir que o transporte de carga mineral na EFC está em plena expansão e obteve aumento de produtividade em relação ao parque de ativos rodantes.

Foram levantados 11 *Trade-off* em avaliação na logística ferroviária da EFC dos quais 5 são motivados por necessidades de melhoria na eficiência energética, sendo possível concluir que a densidade de carga da EFC está entre as maiores do mundo, apresentando ritmo de 189 mil TU por Km de ferrovia conforme resultados do primeiro semestre de 2018.

Foi observada a composição de custos de transporte da EFC e comprovado que o valor correspondente ao consumo de combustível corresponde a aproximadamente 50% dos custos de transporte, essa parcela é bastante sensível com o preço do litro de diesel. Assim como também foi evidente a constante melhora nos indicadores de EE, que comparando mês a mês de 2017 com período equivalente em 2018 apresentou uma melhora média 3,6% relativo a redução de consumo por trem.

Com base na estrutura de custos e informações de frota foi possível estabelecer parâmetros para estimar os custos operacionais anuais para uma locomotiva AC (R\$ 940 mil.ano⁻¹), uma Locomotiva DC (- R\$ 640 mil ano⁻¹) e 1 Vagão (R\$ 9,7 mil ano⁻¹), assim como os custos fixo de operação por trem (R\$ 1,03 milhões ano⁻¹).

O Indicador de Eficiência energética foi analisado sendo possível avaliar os resultados em sentido carregado e vazio, sentido Carajás, para os três tipos de tração. O trem com tração DC foi o trem que apresentou melhor eficiência no trem vazio ($3,39 \cdot 10^{-3} \text{l.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) enquanto que o trem de tração mista apresentou o melhor resultado para o trem carregado ($1,03 \cdot 10^{-3} \text{l.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$). No fluxo total (Vazio e Carregado) o trem DC apresentou a melhor EE ($1,408 \cdot 10^{-3} \text{l.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$), seguido pelo trem Misto ($1,425 \cdot 10^{-3} \text{l.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) e por último o trem AC ($1,547 \cdot 10^{-3} \text{l.t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$). Uma vez que o trem DC apresenta o pior resultado no fluxo carregado, o melhor resultado no fluxo total está relacionado a sua excelente performance no trem vazio, com 10% de consumo a menos do que o segundo colocado (trem misto). Acredita-se que esse resultado significativamente melhor esteja relacionado à redução de potência provocada (desligamento/*Idle*) na Locomotiva Remota “B”.

Mesmo após a análise de dados, os resultados de eficiência por modelo de trem e fluxo foram avaliados como instáveis devido elevado coeficiente de variação dos resultados, na

ordem de 13% no fluxo vazio e 6% no fluxo carregado, pelo que se sugere o acompanhamento contínuo dos resultados e desvios para garantir maior assertividade na tomada de decisão.

A EE foi otimizada em relação à combinação dos 3 modelos de tração em 2 cenários, com e sem restrições em relação a frota atual. Para o cenário com restrição de frota foi avaliado que o modelo ótimo de tração compreende 17 trações DC, 38 trações mistas e nenhuma tração AC, possibilitando uma redução de consumo de aproximadamente 216 litros por ciclo de viagem. Para o cenário sem restrição de frota foi avaliado que o modelo de tração compreende 100% (55 trens) das trações DC, uma vez que esta é a mais eficiente, possibilitando uma redução de consumo de aproximadamente 692 litros por trem., no entanto, seria necessário grande desembolso inicial com aquisição de mais 110 locomotivas DC e venda de 77 Locomotivas AC, gerando necessidades de desembolso na ordem de mais de R\$ 800 milhões, sendo inviável do ponto de vista financeiro.

Não foram identificados resultados reais de ciclo compatíveis com os resultados esperados na teoria, uma vez que o trem de menor potência útil foi o que apresentou menores tempos (trem misto). Os dados não tiveram diferença significativamente alta, os dados com maior diferença estão na comparação entre o trem misto e o trem AC, sendo que este último apresentou média 1,17 h maior de ciclo.

Logo foi concluído que os dados executados levantados não podem ser utilizados como premissa para avaliar diferenças nos resultados de ciclo de viagens nos fluxos vazios e carregados por modelo de tração, uma vez que outros fatores podem está impactando o processo operacional. Um efeito provável para isso é a elevada densidade de tráfego na EFC (1 trem a cada aproximadamente 1,5horas em média).

Foi possível estimar os custos relacionados ao aumento de 1hora no ciclo de viagem para que a capacidade fosse mantida. Em 25 anos, em relação ao cenário que se apresenta como base os impactos são da ordem de menos R\$ 141 milhões conforme premissas utilizadas para o VPL sendo que desses 141 milhões, 98,5 milhões são necessários no primeiro ano para aquisição e manutenção/operação de ativos.

Os dados utilizados para essa avaliação apresentam significativa variabilidade, devendo ser acompanhados e avaliados quanto ao seu comportamento para que as análises possam ter grau de confiança adequado, faz-se necessário um acompanhamento robusto desses parâmetros (ciclo, eficiência energética), avaliando os desvios e novas alternativas para que as decisões sejam precisas.

Por fim é entendido que a análise de *trade-off* para avaliação de custos logísticos como fundamentais para o aumento da competitividade de um determinado modal e assim como

identificado por Amaral (2012) ainda se observa que as decisões táticas operacionais privilegiam abordagens específicas, sem uma avaliação integrada de custo total que vise aumento das margens dos negócios. Avalia-se que esse comportamento aconteça parcialmente justificado pelas elevadas margens de lucro em relação ao custo da cadeia (não só da logística), privilegiando aspectos de risco em detrimento de aspectos de custos. No entanto sugere-se a aplicação de análises de *trade-off* robustas avaliando custos e riscos e visando garantir a decisão mais assertiva conforme estratégia do negócio para o momento.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Marcelo de Paiva; LAGO, Luiz Aranha Correa do Lago (2010). **A economia brasileira no Império, 1822-1889**. Texto para Discussão, n. 584. Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Economia.
- AHUJA, R. K., CUNHA, C. B., GÜVENÇ, S. (2005), **Tutorials in Operations Research**, cap.3, p.54-101, Informs.
- ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística aplicada, suprimento e distribuição física**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1994.
- AMARAL, Juliana Ventura; GUERREIRO, Reinaldo. **Conhecimento e Avaliação dos trade-off de Custos Logísticos: Um estudo com profissionais brasileiros**. Revista Contabilidade & Finanças, v. 25, n. 65, p. 111-123, 2014.
- ANTT – **Caderno de Engenharia Vol II** - Audiência Pública nº 009/2018
- ANTT - **Demonstrações Financeiras “Carve-out”** Estrada de Ferro Carajás 31 de dezembro de 2017
- ARAÚJO, Luis César G. de. **Organização, sistemas e métodos e as tecnologias de gestão organizacional**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos, logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BALLOU, R. H. **Logística Empresarial - Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas: 1993.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial, transportes, administração de materiais, distribuição física**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010b.
- BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.
- BAZERMAN, Max; MOORE, Don A. **Judgment in managerial decision making**.2012. Disponível em: <https://research.hks.harvard.edu/publications/citation.aspx?PubId=9028&type=FN&PersonId=268>. Acesso em junho de 2018.
- BELLONI, J. A. **Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de universidades federais brasileiras**. 2000. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- BIO, S. R., Robles, L. T., & Faria, A. C. (2002). **Em busca da vantagem competitiva: trade-off de custos logísticos em cadeias de suprimentos**. Revista de Contabilidade CRC-SP, 6 (19), 5-18.
- BISHOFF, Lissandra. **Análise de Projetos de investimentos/ teorias e questões comentadas** /Lissandra Bishoff- Rio de Janeiro: Edição Ferreira, 2013.

BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J. **Logística Empresarial - O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2007.

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro / Helvécio Lapertosa Brina**. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 1988.

CAIXETA FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. São Paulo: Atlas, 2001.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. 3. Ed Belo Horizonte:1992, 276p

CAVANHA FILHO, A.O. **Logística: novos modelos**. Rio de Janeiro: Qualitymark,2001.

CESCA, I. G. **Previsão de Custo de Ciclo de Vida e Gestão Econômica de Ativos Físicos de indústrias do setor Energético**. Dissertação de Mestrado UNICAMP, Campinas, 2012.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos, estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Pearson, 2008.

CHRISTOPHER, M. (1994). **Integrating logistics strategy in the corporate financial plan**. In J. F. Roberson & W. C. Copacino (Eds.). *The logisticshandbook*. New York: The Free Press.

CORRAR, Luiz João. **O modelo econômico da empresa em condições de incerteza aplicação do método de simulação de Monte Carlo**. São Paulo/1993.

DAFT, R. L. **Administração**. 6. ed. São Paulo: Thomson, 2005. Disponível em: http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/2018/08/15/DEZEMBRO_2017_EFC.pdf

DURBACH I.A.; STEWART, .T. J. **Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis**. *European Journal of Operational Research*. 223, 2012.

FARIA, A.C.; COSTA, M.F.G. **Gestão de custos logísticos**. 1 ed. 2 reimpressão. São Paulo: Atlas, 2007.

FARIA, Ana Cristina de; COSTA, Maria de Fátima G. da. **Gestão de custos logísticos**. São Paulo: Atlas, 2005.

FERREIRA, K. A.; ALVES, M. R. P. A. **Logística e troca eletrônica de informações em empresas automobilísticas e alimentícias**. In: *Revista Produção*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 434-447, set./dez. 2005.

FERREIRA, Roberto G. **Engenharia econômica e avaliação de projetos de investimento: critérios de avaliação, financiamentos e benefícios fiscais, análise de sensibilidade e risco**. São Paulo: Atlas, 2009;

FIGUEIRÔA, Silvia F. de M. (1994). **Mineração no Brasil: aspectos técnicos e científicos de suas histórias na Colônia e no Império (séculos XVIII-XIX)**. *América Latina en la História Económica*, v. 1, n. 1, p. 41-55

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial, a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

FREZATTI, Fábio. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2008.

GEBAUER, Heiko; FLEISCH, Elgar; FRIEDLI, Thomas. **Overcoming the service paradox in manufacturing companies**. *European Management Journal*, v. 23, n. 1, p. 14-26, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263237304001392>. Acesso em junho de 2018.

GERMANI, D. J. **A Mineração no Brasil**: Relatório final. Rev. 2. Rio de Janeiro: MCT, 2002.

GERTSBACH, I., GUREVICH, Y. **Constructing an optimal fleet for a transportation schedule**. 1977.

GOPAL, C., & CYPRESS, H. (1993). **Integrated distribution management**: competing on customer service, time, and cost. Homewood: Irwin.

HASTINGS, N. A. J. **Physical Asset Management**. [S.l.]: Springer-Verlag London Limited, 2010.

HOMER, J. B., Keane, T. E., Lukiantseva, N. O., Bell, D. W. (1999). **Evaluating strategies to improve railroad performance – A System Dynamics Approach**, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. Dec. 5-8, Phoenix - AZ, E.U.A.

HOSKINS, R. P.; BRINT, A. T.; STRBAC, G. **A structured approach to Asset Management within the electricity industry**. *Utilities Policy*, v. 7, p. 221-232, 1998.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. (2015). **Produção mineral brasileira**. Site. Brasil, mar. Disponível em: www.ibram.org.br. Acesso em julho de 2018.

ISNARD, Marshall Junior ... (et.al.). **Gestão da qualidade e processos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2012.

JOURNET M., **Evolution de la Logistique des Entreprises Industrielles et Commerciales in**: Revue Annuelle 98 des Eleves des Arts et Métiers, LOGISTIQUE: MAITRISE DES FLUX. Paris: Ed. Dunod, 1998.

KASSAI, José R. et al. **Retorno de investimento**: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000

KEELLING, Ralph. **Gestão de Projetos**: uma abordagem global/ tradução Cid Knipel Moreira; revisão técnica Orlando Cattini Jr. – São Paulo: Saraiva, 2002.

KOTLER, P. **Administração de Marketing - Análise, Planejamento e Controle**. Atlas, 1974.

LAMBERT, D.M. **Custos Logísticos, Produtividade e Análise de Desempenho**. The Logistics Handbook. The Free Press, New York, USA, 1994.

LAMBERT, D.M.; ARMITAGE, H.M. **Distribution costs: the challenge:** The key to managing the physical distribution function is total cost analysis, rather than haphazard stabs at cutting specific costs. *Management Accounting* (pre-1986). Montvale, v. 60, n. 11, p. 33-37, 45, 05/1979.

LAMOSO, L. P. **A exploração de minério de ferro no Brasil e no Mato Grosso do Sul.** 2001. 309f. Tese (Doutorado em Geografia. Departamento de Geografia Universidade de São Paulo – USP). São Paulo: 2001.

LEWIS, H. T., CULLITON, J. W., & STEELE, J. D. (1956). **The role of air freight in physical distribution.** Boston: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University.

LINDEMAYER, R, M. **Análise da Viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

LINS, Fernando Antonio de Freitas; LOUREIRO, Francisco Eduardo de Vries Lapido; ALBUQUERQUE, Gildo de Araújo Sá Cavalcanti (2000). **Brasil 500 anos. A construção do Brasil e da América Latina pela Mineração.** Rio de Janeiro, CETEM/MCTI.

MARSHALL JUNIOR, Isnard. Et al. **Gestão da qualidade,** Rio de Janeiro: FGV, 2008.

MATINS, C. S., Souza, D. O. , e Barros , M. S. (2009). **O uso do método de análise hierárquica [AHP] na tomada de decisões gerenciais- um estudo de caso.**In: XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO, v. 1, 2009. Anais. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO.

MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Gestão da Qualidade.** 1ª. Ed. São Paulo. Person, 2011.

MME, **Ministério de Minas e Energia,** 2013. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1594105/Linha_do_tempo.pdf/acb3a5a9-9f7d-4d18-9191-58b1ed375791. Acesso em: maio de 2018.

MOORE, Jeffrey. H e Larry R. **Weatherford.** Porto Alegre – 2005 – Editora Bookman/ 6ª Edição.

MURGEL, L. M. F., (1998), São Paulo, 1998, 171 p. **Dissertação de Mestrado,** POLI USP - Escola Politécnica de São Paulo.

MURGEL, L. M. S. F. (1988) **Modelo para Formação de Composições Ferroviárias;** Dissertação de Mestrado; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PETROBRAS, 2018 – **Composição de preço de venda.** Valor de referência 30/09/2018. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-as-distribuidoras/gasolina-e-diesel>.

PIDD, M. (1998), **Modelagem Empresarial:** Ferramentas para Tomada de Decisão; Ed. Artes Médicas Sul: Porto Alegre - RS – Brasil.

PINTELON, L. M.; GELDERS, L. F. **Maintenance management decision making.** *European Journal of Operational Research*, v. 58, p. 301-317, 1992.

REINALDO, R. R. P. **Avaliando a eficiência em unidades de ensino fundamental de Fortaleza-CE: usando a análise envoltória de dados (DEA)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

RESENDE, P. T. V.; OLIVEIRA, M. P. V.; SOUSA, P. R. **Análise do modelo de concessão no transporte ferroviário brasileiro: a visão dos usuários**. In: Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais, 12., 2009, São Paulo. Anais... São Paulo: FGV, 2009. p. 1-16.

RODRIGUES, Marcus Vinícius Carvalho. **Ações para a qualidade GEIQ: Gestão integrada para a qualidade padrão Seis Sigma, classe mundial**. 2.Ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. São Paulo: Aduaneiras, 2002.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Operação Ferroviária, Planejamento, Dimensionamento e Acompanhamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Inclui bibliografia e índice. ISBN 978-8-5216-3077-7.

SALLES, A.C.N. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. Rio de Janeiro, 2004. (Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro).

SAMANEZ, Carlos P. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SHERALI, H.D., TUNCBILEK, C.H. **Static and dynamic time -space strategic models and algorithms for multilevel rail-car fleet management**. 1997.

SIMINERAL. **História da mineração no mundo**. Pub: 2015. Disponível em: <http://simineral.org.br/mineracao/historia>. Acesso em 20 de julho de 2018.

SMITH, A. **Inquérito sobre a natureza e as causas da riqueza das nações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

SOUSA, Almir F. **Avaliação de investimentos: uma abordagem prática**. São Paulo: Saraiva, 2007.

SOUZA, V.P. de & LINS, F.A.F. **Recuperação do ouro por amalgamação e cianetação: problemas ambientais e possíveis alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. 2001.

TREVISAN, Leandro; SILVA, Adriana Maria Bernardes da. **A Moderna Logística no Território Brasileiro: contribuição à pesquisa**. Ciência Geográfica- Bauru - XVI - Vol. XVI -2: Janeiro/Dezembro. 2012. Disponível em: http://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXVI_2/agb_xvi2_versao_internet/AGB_xvi2_09.pdf. Acesso em: fev. 2018.

WALLER, M.A.; FAWCETT, S.E. **The total cost concept of logistics: one of many fundamental logistics concepts begging for answers**. Journal of Business Logistics. Hoboken, v. 33, n. 01, p. 01-03, 2012.

Werneck, Paulo, **Fundamentos de Administração / Paulo de Lacerda Werneck**. 1. ed. - Rio de Janeiro: [s. n.], 2005. 30 p. Reprográfico.

ZAGO, Camila A.; WEISE, Andreas D.; HORNBURG, Ricardo A. **A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas**. Convibra, 2009. Disponível em: <http://www.convibra.org/2009/artigos/142_0.pdf>. Acesso em: 07 set. 2018.