

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

JONATHAN MATEUS LESSNAU

ANÁLISE DE UM NOVO MODELO DE FORMAÇÃO DE TRENS: BASEADO EM PESO TOTAL DA COMPOSIÇÃO, COMPRIMENTO DO TREM E FORÇA DE FRENAGEM.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA
2015

JONATHAN MATEUS LESSNAU

ANÁLISE DE UM NOVO MODELO DE FORMAÇÃO DE TRENS: BASEADO EM PESO TOTAL DA COMPOSIÇÃO, COMPRIMENTO DO TREM E FORÇA DE FRENAGEM.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

**PONTA GROSSA
2015**



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE UM NOVO MODELO DE FORMAÇÃO DE TRENS: BASEADO EM PESO TOTAL DA COMPOSIÇÃO, COMPRIMENTO DO TREM E FORÇA DE FRENAGEM

por

JONATHAN MATEUS LESSNAU

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 15 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino
Orientador

Profa. Ma. Ana Ana Maria Bueno
Membro Titular

Prof. Me. Nelson Ari Canabarro De Oliveira
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior
Coordenador do Curso

Dedicatória.

Esse trabalho é dedicado aos meus pais que não mediram esforços para me ajudar a realizar um sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio incondicional nos momentos difíceis.

Agradeço também ao Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino pela orientação e suporte no decorrer de toda a pesquisa.

Aos professores do departamento de Engenharia de Produção e os professores do departamento de Engenharia Mecânica que contribuíram em minha formação acadêmica compartilhando o conhecimento.

A todas as pessoas que de alguma maneira ajudaram na construção desse trabalho.

RESUMO

LESSNAU, Jonathan M. **Análise de um Novo Modelo de Formação de Trens: baseado em peso total da composição, comprimento do trem e força de frenagem.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

O trabalho aborda o setor de transporte de cargas no Brasil, mais precisamente o ferroviário que é o segundo maior modal em representatividade de volume transportado no país e é também considerado como melhor alternativa para o escoamento de grãos agrícolas em grandes volumes por longas distâncias. Apesar desta constatação no Brasil o modal ferroviário ainda representa uma fatia pequena no transporte de cargas principalmente quando comparado com outros países que possuem extensões territoriais semelhantes. O principal objetivo do trabalho é analisar uma nova formação de trens seguindo os requisitos de segurança, aumentando a capacidade de transporte por formação. Através da identificação e análise de atores que interferem diretamente na formação de trens sendo eles comprimento do trem, peso total da composição e cálculo da força de frenagem. Através da análise desses dados é sugerida uma nova formação de trem. Assim como uma nova proposta para cálculo de tarifa que tem por base densidade de cada produto.

Palavras-chave: *Transporte de cargas; Ferrovia; formação de trens; tarifa.*

ABSTRACT

LESSNAU, Jonathan M. **Analyze a New Training Model Trains: based on total weight of the composition, train length and braking force.**2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

The work addresses the cargo transportation sector in Brazil, more precisely rail which is the second largest modal volume of transported representation in the country and is also considered as the best alternative to the flow of agricultural bulk in large volumes over long distances. Despite this finding in Brazil the railways still represents a small share in cargo transportation especially when compared to other countries that have similar territorial extensions. The main objective is to determine a new line of trains following the safety requirements, increasing transport capacity by training. Through the identification and analysis of actors that interfere directly in the train formation and they train length, total weight of the composition and calculation of the braking force. Through analysis of this data is suggested a new training gear. As a new proposal for tariff calculation which is based on density of each product.

Key words: ; Cargo transportation; railroad; train formation; rate.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Distribuição da malha ferroviária brasileira.....	22
Quadro 2: Evolução histórica do volume transportado por ferrovias no Brasil - 2006 a 2013.....	24
Quadro 3: Crescimento percentual dos produtos transportados via férrea no Brasil entre os anos de 2007 e 2013.....	25
Quadro 4: Distribuição da malha ferroviária e rodoviária dos 10 países com maior extensão territorial.....	26
Quadro 5: Classificação de vagão e (RA).....	48
Quadro 6: Modelos de vagões.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Comparação dos dados reais dos trens.....	54
TABELA 2 - Ganho de tonelage m bruta com acréscimo de um vagão da frota 534 a composição.....	55
TABELA 3 –Variação da tonelada útil do produto por vagão.....	57
TABELA 4 - Variação da receita por vagão (soja, milho x farelo).....	58
TABELA 5 - Sugestão de tarifa para o farelo.....	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Distribuição da malha ferroviária brasileira.....	23
FIGURA 2 - Etapas para construção de um modelo de processo.....	31
FIGURA 3 - Metodologia científica.....	38
FIGURA 4 - Sistema de freio pneumático em um vagão.....	44
FIGURA 5 - Timoneria de um vagão HFT bitola larga.....	48
FIGURA 6 - Modelo de locomotiva C-30.....	49
FIGURA 7 - Modelo de locomotiva AC44i.....	50
FIGURA 8 – Vagão HFT.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

EUA Estados Unidos

LISTA DE SIGLAS

CCO Centro de Controle Operacional

OPL´S Operadores Logísticos

LISTA DE ACRÔNIMOS

3PL´S Third-Party Logistics

Sumário

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.....	1
Departamento de engenharia mecânica.....	1
Engenharia Mecânica.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	10
OBJETIVO GERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
JUSTIFICATIVA.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 Logística	13
3.2 Transportes	15
3.3 Modais de transporte	16
3.3.1 Tipos de modais de transporte.....	17
3.4 Terminais	27
3.5 Operadores Logísticos	27
3.6 Simulação.....	30
3.7 Sistemas dinâmicos	31
4 METODOLOGIA	35
5 ESTUDO DE CASO	42
5.1 Formação do trem.....	42
5.2 Cálculos para a lotação dos trens.....	44
5.3 Aumento da capacidade do trem.....	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
Anexo- Mapeamento dos fluxos Rondonópolis a Santos	66

1 INTRODUÇÃO

No cenário competitivo e globalizado atual, cada vez mais a logística ocupa um lugar de destaque. As empresas na busca de um preço final mais acessivo ao consumidor investem pesado em otimizações em seus processos produtivos e também na gestão de suas redes de distribuição. Bowersox e Closs (2002) definem o papel da logística como sendo o de fornecer atividades e bens de consumo em regiões onde eles forem requisitados e onde os consumidores os quiserem.

Fiorini (2007) refere que o mercado atual não espera nada menos que um atendimento veloz, uma capacidade de atender as demandas de acordo com o desejo do cliente e um preço acessível. Por esses motivos as empresas se voltaram à contratação de operadores logísticos para realizar o transporte de suas mercadorias até os consumidores finais.

Para lañez e Cunha (2006) a evolução tecnológica juntamente com a intensificação do comércio entre os países nas décadas de 80 e 90 resultaram em um aumento dos níveis de competição no cenário global, impondo para aquelas empresas que desejam fazer parte desse mercado um aumento em termos produção e qualidade.

Nos anos de 1998 e 1999 o Brasil passou a ocupar um lugar de destaque internacional na produção agrícola, ocupando a primeira posição no *ranking* quanto à exportação de grãos agrícolas. A safra de grãos de 2012-2013 ultrapassou 195,47 milhões de toneladas, o que representou um aumento de 3,6% se comparado com o ano anterior, totalizando um aumento de 6,81 milhões de toneladas. Ressaltando ainda mais a importância de um corredor de escoamento eficiente para essa produção. (BORGES SANTOS, SPROESSER, SILVEIRA MARTINS citados por CONAB, 2013).

Em um país como o Brasil, em que segundo a Confederação de Agricultura e Comércio (2013) 23% do Produto Interno Bruto(PIB) do setor foi representado pela produção agrícola representando números que chegam à casa de R\$ 1,02 trilhão, o que indica um crescimento do setor de 34% nos últimos dez anos.

Esses dados trazem à tona o problema vivido pelo Brasil com relação à sua infraestrutura, que imprime o aumento dos custos e propicia o desperdício. Segundo cálculos da Intelog (2013) consultoria especializada em custo logístico cerca de 9% de toda a produção agrícola do país é gasta para suprir despesas logísticas. Fazendo com que o país diminua sua competitividade no mercado internacional. Ainda segundo dados da Intelog os gastos logísticos crescem cerca de 0,5% ao ano.

Resende (2013) refere que cerca de 48,1% dos custos logísticos do agronegócio são representados pelo transporte de longa distância, devido à deficiência na estocagem o Brasil é forçado a escoar a produção rapidamente, sendo obrigado a recorrer ao transporte rodoviário, que é o mais caro.

Na percepção de que o transporte representa uma parcela significativa no custo final do produto e por consequência em sua competitividade no mercado, as empresas buscam alternativas de transporte de qualidade e baixo custo. Assim, se faz necessária à análise e escolha de um modal de transporte que se adeque às necessidades de escoamento da produção com eficácia e eficiência, levando em consideração as características geográficas e a infraestrutura do país. A definição das rotas de distribuição e a correta escolha do modal que será utilizado podem reduzir os custos de transporte. Aumentando a competitividade de do produto tanto no mercado interno como externo. Em países com grande extensão territorial como Brasil, Estados Unidos, Rússia, Canadá e outros, o modal ferroviário se mostra como a alternativa mais interessante.

OBJETIVO GERAL

Analisar de um novo modelo de formação de trens baseado em peso total da composição, comprimento do trem e força de frenagem.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Realizar o levantamento dos atores que influenciam direta ou indiretamente a produção através do banco de dados fornecido pela empresa que esta sendo estudada.
- Realizar uma reunião com a área de planejamento e controle da produção.
- Mapear a atual situação da programação e o processo de formação de trens.
- Sugerir um novo modelo de calculo de tarifa de transporte baseado na densidade de cada produto.

JUSTIFICATIVA

O estudo realizado se mostra relevante diante do crescimento do Brasil como exportador de granéis e da oportunidade de uma melhor utilização do modal ferroviário como fator de redução de custo de transporte. Mesmo com o custo de produção mais barato que de seus concorrentes, o Brasil muitas vezes perde competitividade no preço final do produto devido ao elevado custo do transporte. Um dos maiores responsáveis pelo elevado custo de transporte é a sub-utilização do transporte ferroviário e a concentração no transporte rodoviário.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Logística

Mesmo que utilizando uma nomenclatura diferente, a logística sempre fez parte da história da humanidade sendo pra mover objetos de um lugar para outro ou armazenar comida. Ela também foi utilizada por militares como estratégias de movimentação de materiais bélicos, alimentos e água, devido aos constantes deslocamentos que eram realizados durante as batalhas. A logística com o passar dos anos sofreu adaptações e foi ganhando importância nas atividades empresariais.

Cristopher (1997) cita logística como sendo o ato de gerenciar taticamente a compra, o deslocamento e a estocagem de peças e produtos finais e as informações que envolvem o processo utilizando-se de estratégias de *marketing*, buscando aumentar a lucratividade por meio da redução dos custos.

Se houvesse a possibilidade de se consumir os produtos e serviços onde eles são produzidos, ou ainda se consumidores se estabelecessem em locais próximos às fabricas, a logística não seria tida como algo de tamanha importância. Porém isso não ocorre, criando-se assim a necessidade do transporte da matéria do seu ponto de extração até as linhas de produção e do produto acabado até o seu consumidor final. Na busca de uma solução ótima para realizar esse deslocamento empresas buscam soluções na logística. Ballou (1993, p. 24) define logística como:

[...] todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável (BALLOU, 1993, p. 24).

A logística nunca para. Ela está acontecendo ao redor do mundo, vinte quatro horas por dia, sete dias por semana durante as vinte cinco semanas do ano (Bowersox, Closs, p. 3, tradução própria). A logística está presente em todos os setores, conectando cadeias de produção com clientes ininterruptamente.

Logística é o ato de se planejar, desenvolver e gerir a um preço justo o escoamento e a estocagem de matérias-primas, antes, durante e depois de sua produção, assim como todas as informações que envolverem este processo, considerando desde o ponto de partida até um ponto de destino, com foco em satisfazer as expectativas do consumidor final (*Council of Logistic Management*).

Em suma, logística envolve todas as operações que estão envolvidas na armazenagem e no transporte de matéria-prima e produtos acabados até seus consumidores finais, buscando a satisfação dos mesmos. A logística é uma atividade conjunta e para se obter sucesso pleno em sua prática todos os atores que fazem parte desse processo devem ter suas relações muito bem definidas e trabalhar em mútua colaboração garantindo o fluxo de informação Keedi (2011, p 25).

Assim, as empresas que compõem a cadeia de suprimentos devem buscar a melhor opção para o processo, evitando a competição e buscando um objetivo comum. Levando em consideração as colocações acima, conclui-se que a logística é a estratégia da redução, em que a redução do tempo e a redução dos gastos simbolizam os principais quesitos para serviços mais satisfatórios e que trazem maiores lucros.

Ballou (1993) define logística como a gestão da cadeia de suprimentos que pode proporcionar uma maior lucratividade nas operações de movimentação de matérias por meio do planejamento, e gestão efetiva de transporte e armazenamento na busca de aperfeiçoar o escoamento dos produtos. A logística tem o papel de reduzir as distâncias e os entraves entre a origem do produto e seu destino final. Ballou ainda define três atividades como sendo de importância primária para alcançar objetivos logísticos, como redução de custo e elevar o nível dos serviços sendo eles: i) transportes; ii) manutenção de estoques e iii) processamento de pedidos.

3.2 Transportes

Analisando todas as ramificações que compõem o sistema logístico, pode-se perceber que o transporte é o que mais se destaca. Isso decorre do peso que o mesmo representa nos custos, na qualidade de serviço oferecido e sua relação direta com as demais áreas que compõem a logística. O transporte é considerado como o principal pilar da logística. Em média ele representa de 50 a 60% de todos os gastos com logística (BALLOU, 1993).

O crescente aumento no fluxo do frete vem se tornando um relevante fator na mudança das estratégias econômicas no mundo. A partir desse ponto de vista surge a percepção de que não são apenas mudanças quantitativas, mas estruturais e operacionais (HESSE; RODRIGUES, 2004).

O transporte de cargas desempenha um papel de destaque. Seus dados são considerados no cálculo do produto interno bruto, devido à sua grande participação em praticamente todos os outros setores da economia (CRANIC, 2000).

O transporte pode ser entendido como diferentes maneiras de se deslocar produtos. A gestão dessa atividade engloba a decisão de qual método será utilizado, as rotas de transporte e qual será o volume transportado (BALLOU, 1993, p.24). O transporte de carga consiste em fazer com que produtores e indústrias consigam fazer com que matéria-prima, produtos intermediários commodities agrícolas e bens de consumo percorram as distâncias que os separam de seus consumidores (CRANIC, 1999 tradução minha).

Basicamente o transporte de carga tem como função principal fazer o deslocamento do produto até o seu cliente com a finalidade de atender as demandas de serviço de transporte. Rodrigues (1999) salienta que no mercado os ganhos de produtividade estão cada vez mais atrelados a métodos de distribuição de mercadorias mais eficazes, por essa razão intensificaram-se os estudos sobre o transporte.

Para Keedi (2011, p.26) a busca pela melhor opção de transporte deve ser contínua, analisando a situação atual, pois o que deu certo antes não necessariamente será a melhor escolha para esse novo cenário.

Em suma, isso significa que o mercado está em constante mutação, e é preciso sempre se atualizar e buscar alternativas para melhor desempenhar o transporte. Com aumento da concorrência, as margens de lucro cada vez ficam menores forçando as empresas a reduzir custos, buscando em uma melhor gestão do transporte.

3.3 Modais de transporte

A movimentação e o deslocamento de materiais se destacam quando se trata dos sistemas logísticos das organizações. Sua relevância pode ser mensurada por meio de ao menos de três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro (FLEURY; WANKE 2006). O transporte tem uma parcela de aproximadamente 64% das despesas logísticas, 4,3% do faturamento, e muitas vezes chegando representar duas vezes o lucro (FLEURY; WANKE *et al.*; FIGUEIREDO, 2000; BOWERSOX; CLOSS; STANK, 1999).

A estruturação de uma cadeia de transporte depende de uma visão global em que se faz necessário uma prévia preparação e o entendimento do processo em seus detalhes como: qual é o cenário atual, onde se deseja chegar, quais são peculiaridades do produto a ser transportado, quais são suas dimensões físicas, seu peso e seu volume (ALVARENGA; NOVAES 2000).

O conhecimento detalhado do produto a ser transportado, bem como o segmento de mercado em que ele atua, é crucial na busca de um melhor desempenho. Esse conhecimento detalhado do produto dará uma melhor percepção na hora de se fazer o carregamento, descarregamento e também a alocação do mesmo durante o transporte.

Monteiro (1997) cita 5 os modais de transporte: rodoviário, aeroviário, ferroviário, hidroviário e duto viário. Cada modal possui características próprias como tarifas, capacidade de transporte, velocidade de deslocamento e alcance, fazendo com que as exigências do produto, a sazonalidade bem como as necessidades do

cliente sejam os principais fatores que influenciam na hora da escolha de qual modal devera ser utilizado.

Ballou (2001, p. 156) retrata que a opção pelo modal de transporte pode gerar um fator de diferenciação perante o mercado. Para Novack e Bardi (1994) são utilizados cinco parâmetros principais na medição da eficiência dos modais de transporte: variação no período de entrega (consistência), período médio em que a entrega é realizada (velocidade), aptidão para fazer, disponibilidade, intensidade que é realizada.

3.3.1 Tipos de modais de transporte

3.3.1.1 Rodoviário

Em território nacional o setor de transporte rodoviário está bem dividido, possuindo cerca de 46 mil empresas, que em sua maioria são de médio e pequeno porte e que somadas correspondem a aproximadamente 95% do total (AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA).

O cultivo de granéis em larga escala demanda longas extensões de terra, que são situadas distantes dos grandes centros e que muitas vezes possuem um difícil acesso. Nesse ponto, a flexibilidade do modal rodoviário e um grande número de estradas ajudam a facilitar o acesso a esses pontos e na transição para outros modais como ferroviário ou aquaviário (CAMARGO, 2010).

O modal rodoviário por ter uma acessibilidade quase que geral no território nacional é o mais utilizado, se faz mais rentável no transporte de cargas com autovalor agregado ou perecível em curtas e médias distâncias (GOMES; RIBEIRO, 2004).

Devido à sua facilidade de deslocamento é considerado essencial quando se fala em multimodalidade e intermodalidade. Utiliza-se estradas de rodagem, e pode ser realizado em estradas nacionais ou internacionais. No Brasil possui pouca representatividade no quesito de exportação ou importação, em contra partida lidera como modal de transporte mais utilizado no transporte de cargas internas (KEEDI, 2011, p.38).

O Brasil nas últimas décadas concentrou seus investimentos em infraestrutura no setor rodoviário. Na década de 50 quando houve a inserção da indústria automobilística no país, o modal rodoviário ganhou mercado e hoje domina com folga o transporte de cargas no País (ALVARENGA, 2000, p.82).

Mesmo possuindo desvantagens com relação ao volume individual transportado, com a menor capacidade quando comparado com os demais, possui um grande número de veículos e é considerado o único modal que é capaz de realizar o transporte porta a porta, sendo o único modal independente capaz de transporte da mercadoria do ponto de origem até o ponto final (KEEDI, 2011, p.39).

Os maiores custos relacionados a esse modal são os custos variáveis como: combustível, manutenção do veículo a depreciação do mesmo, entre outros. Já seus custos fixos são menores devido à construção de rodovias feitas pelo governo, assim como a manutenção das mesmas que na maioria dos casos também é realizada pelo governo, com exceção nos trechos onde as rodovias são pedagiadas (FLEURY; WANKE 2000).

Keedi (2011) ainda ressalta que esse modal de transporte tem sua melhor utilização quando os intervalos entre os pontos de origem e destino ficam entre 200 e 300 quilômetros. Essa opção também pode ser considerada em distâncias um pouco maiores como 400 e 500 quilômetros, porém não é um cenário ótimo.

3.3.1.2 Modal aquaviário

Transporte aquaviário é a nomenclatura que engloba os transportes marítimo, fluvial e lacustre. O modo de transporte marítimo é aquele que utiliza os mares e oceanos se destacando como o modal mais utilizado para o transporte de cargas internacionais (KEEDI, 2011). O transporte fluvial utiliza os rios, caracterizando-se como uma navegação de interior, podendo ser nacional ou ainda entre dois ou mais países (KEEDI, 2011, p.36).

Keedi (2011) define a navegação lacustre como sendo aquela praticada em lagos, podendo também ser realizada entre países vizinhos. O órgão brasileiro que orienta e fiscaliza essa modalidade é o Departamento da Marinha Mercante do

Ministério dos Transportes, sendo responsável pela gestão das rotas, regulação das tarifas cobradas e fiscalização das entidades de navegação.

Para Ribeiro e Ferreira (2002) o transporte aquaviário possui três subdivisões: a cabotagem, que é quando as rotas de navegação se dão entre portos nacionais ou áreas do território nacional por meio do mar ou de rios que compõem a bacia hidrográfica nacional com distâncias que podem variar até no máximo 12 milhas da costa; navegação interior que se dá em aquavias interiores navegação de longo curso que é feita entre portos nacionais e internacionais.

O afretamento que se contrata um navio pensando em um determinado tipo de produto e na rota que ele irá percorrer. Representa uma parcela significativa no comércio exterior brasileiro como principal meio de exportação de carga, representando 83% do volume exportado e 70% do volume importado (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR citado por KEEDI, 2011,).

De acordo com Fleury (2003) quando se trata de versatilidade nos quesitos de se poder transportar volumes distintos e uma gama diversificada de produtos, o transporte aquaviário faz a melhor escolha, por não ter restrições em relação a cargas e por possuir alta capacidade de transporte com relação ao peso. Porém quando avaliamos a infraestrutura existente, constata-se que o modal apresenta sérias restrições em quesitos como disponibilidade, que é a frequência que o modal é distribuída pelo território que leva em consideração portos, terminais de carga e descarga e de sinalização.

3.3.1.3 Modal duto viário

A baixa utilização desse modal de transporte está associada principalmente ao transporte de gases e líquidos, principalmente derivados de petróleo e alguns minérios. Ballou (2008, p.130) caracteriza esse modal como sendo extremamente restrito nos quesitos operação e produtos que podem ser transportados, limitando-se em sua maioria no transporte de petróleo e seus derivados.

Apesar de operar sete dias por semana em tempo integral o transporte ocorre de maneira lenta. O transporte do material ocorre por meio da força da gravidade ou pressão mecânica. De acordo com Ribeiro e Ferreira (2002), o modal duto viário é o que apresenta maior custo fixo quando comparado às alternativas de transporte de carga devido ao alto investimento feito na construção e aquisição de equipamentos para realizar a gestão do sistema.

Por outro lado possui o menor custo variável. Como vantagens apresenta quase que imunidade a variações climáticas e as perdas relacionadas aos produtos transportados são consideradas pequenas, na medida em que líquidos e gases não estão propensos aos mesmos riscos de danos do que os produtos manufaturados.

3.3.1.4 Modal Aeroviário

O modo transporte aéreo é que possui menor tempo de existência e também o que mais evoluiu até aqui. Pode ser utilizado para transporte de carga nacional ou internacional. O modal aeroviário é o que possui valor de frete significativamente mais elevado quando comparado com os demais, porém apresenta também uma redução expressiva no intervalo de tempo entre partida e chegada, tornando-se viável para um nicho muito específico de mercado (ALVARENGA, 2000). Tanto seu custo variável no que diz respeito à combustível, mão de obra especializada e custos para manter o sistema operante, como o custo fixo com a aquisição de aeronaves e a construção de aeroportos são extremamente elevados.

Destaca-se também como sendo o modal mais veloz e que apresenta maior segurança, apresentando poucas quebras ou danos para o produto transportado. Seu uso é aconselhado quando se deseja transportar cargas que possuem um autovalor agregado ou que possuem curto prazo de validade. Consegue percorrer longas distâncias em curto espaço de tempo. Possui restrições em quesitos como peso da carga que se deseja transportar e disponibilidade, pois os aeroportos estão presentes em apenas pontos restritos fazendo com que o uso de um outro modal de transporte seja necessário.

3.3.1.5 Modal Ferroviário

No final do século passado com o objetivo de dar vazão à produção agrícola brasileira, no sentido de exportação e fazer com que os produtos oriundos do exterior chegassem ao interior do país, iniciou-se a implantação das ferrovias no Brasil.

A primeira ferrovia que foi construída no Brasil ligava a Baía de Guanabara a Petrópolis em 1854 (FIORINI, 2008). As primeiras estradas de ferro que foram construídas no Brasil utilizaram aporte de capital estrangeiro, em sua maioria ingleses acordadas por atraentes taxas de retorno e concessões feitas pelo governo (CASTRO, 2002).

Desde então a malha ferroviária brasileira foi se desenvolvendo em ritmo considerado lento de acordo com o desenvolvimento econômico da região e da demanda. Em meados de 1920 o governo iniciou um movimento na busca de estatizar as ferrovias brasileiras, para incentivar investimentos oriundos de capital estrangeiro, o governo passou a usar o tesouro nacional como garantia (AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA, 2015).

Dando sequência a esse processo de estatização, em 1929 o governo brasileiro já possuía cerca de 67% das companhias ferroviárias e respondia pela gestão de 41% da rede, o que representava cerca de 10 mil quilômetros (CASTRO, 2002).

Nas décadas seguintes o governo começou a destinar verba para construção de estradas rodoviárias. Em consequência, os recursos destinados à construção de novas ferrovias e a manutenção das já existentes sofreram gradativamente sérios cortes (FIORINI, 2008). As empresas estatais que administravam as ferrovias brasileiras encontravam sérias dificuldades em conseguir os altos valores para manutenção e expansão da malha, o que levou a deterioração e restrições na capacidade de transporte. A pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte citada por Fiorini (2008), revelou que:

[...] O cenário de pré- privatização dos anos 80 até meados de 90 representou o menor nível de desempenho operacional do setor em toda

historia, resultado de um período de baixos investimentos e de pouca conservação do parque instalado (FIORINI, 2008, p.89)

Assim, a partir de 1991 o governo optou pela desestatização da malha ferroviária por meio de concessões, buscando aumentar os investimentos no setor e melhorar seu desempenho (PIPER; PALMEIRA, 2007).

O Quadro 1 permite a visualização da distribuição da malha ferroviária brasileira, bem como as concessionárias que as administram, segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (2014).

QUADRO 1 - DISTRIBUIÇÃO DA MALHA FERROVIÁRIA BRASILEIRA

Operadoras Reguladas pela ANTT	Origem	Bitola			Total
		1,6	1	Mista	
América Latina Logística Malha Norte S.A. - ALLMN	-	754	-	-	754
América Latina Logística Malha Oeste S.A. - ALLMO	RFFSA	-	1.945	-	1.945
América Latina Logística Malha Paulista S.A. - ALLMP	RFFSA	1.463	243	283	1.989
América Latina Logística Malha Sul S.A. - ALLMS	RFFSA	-	7.254	11	7.265
Estrada de Ferro Carajás – EFC	-	892	-	-	892
Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. - FERROESTE	-	-	248	-	248
Estrada de Ferro Vitória a Minas – EFVM	-	-	905	-	905
Ferrovias Centro-Atlântica S.A. – FCA	RFFSA	-	7.271	156	7.427
VALEC/Subconcessão: Ferrovias Norte-Sul - FNS	-	720	-	-	720
Ferrovias Tereza Cristina S.A. – FTC	RFFSA	-	164	-	164
MRS Logística S.A. – MRS	RFFSA	1.632	-	42	1.674
Transnordestina Logística S.A. – TLSA	RFFSA	-	4.189	18	4.207
Total	-	5.461	22.219	510	28.190

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2014.

Durante um período de 43 anos, que se deram entre as décadas de 60 e os anos 2000, as ferrovias brasileiras tiveram um ganho de produção de 6,5% por ano. O principal responsável pela alavancagem de produção foi o minério de ferro com destino a exportação (LACERDA, 2002).

Atualmente a malha ferroviária brasileira é formada por um total de 29.706 quilômetros em sua maioria no sul sudeste e centro-oeste do país (AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA, 2015). A figura 1 demonstra a distribuição da malha ferroviária

brasileira.



Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2014

Observando o mapa acima podemos visualizar como a malha ferroviária brasileira tem sua maior concentração nas regiões sul e sudeste do país, sendo pouco presente ou praticamente não existente nas regiões norte e nordeste. A baixa densidade da malha ferroviária brasileira comparada com sua grande extensão territorial e a sua concentração em algumas regiões demonstra porque o modal

rodoviário se apresenta como um forte concorrente no Brasil, mesmo apresentando custos maiores nos transportes de longas distâncias. Se mostrando muitas vezes como a única alternativa.

O setor ferroviário brasileiro apresentou um grande avanço desde 2000 chegando a aumentar 87,6% o volume de cargas transportadas. Mesmo apresentando essa grande expansão existe pouca variação nos produtos que são transportados sendo o minério de ferro responsável por 70% de todo o volume transportado em território nacional (BRASIL, 2015).

Contudo, a atual distribuição não corresponde ao volume demandado pela produção agrícola do país, possuindo pouco expressiva participação no volume de carga transportado respondendo apenas 25%, um número bem abaixo dos 43% apresentados pelos Estados Unidos e dos 46% do Canadá (AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA, 2015).

É importante salientar também que o modal ferroviário é extremamente voltado para exportação. Números apontam que 76% da carga transportada pela ferrovia tem como destino a exportação (BRASIL, 2015).

O Quadro 2 demonstra o crescimento do volume transportado em milhões de toneladas úteis.

QUADRO 2 – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO VOLUME TRANSPORTADO POR FERROVIAS NO BRASIL – 2006 A 2013.

PRODUTOS	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Minério de Ferro	282	307	316	278	325	343	349	354
Agronegócio	43	42	43	44	49	51	54	55
Indústria Siderúrgica	29	30	30	23	27	26	25	24
Combustíveis	10	9	10	11	10	10	10	9
Construção Civil	8	8	9	8	9	9	8	6
Container e Carga Geral	5	3	4	4	3	3	3	3
Outros minerais	13	14	14	12	14	13	13	11
Total	389	415	427	379	435	454	460	463

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2014

Ao se observar o quadro 2 percebe-se um aumento em volume transportado desde de 2006 até o ano de 2013. O quadro 2 indica também a

representatividade de cada produto. Com um maior destaque para o minério de ferro, que sozinho responde quase 70% de todo o volume transportado pela ferrovia brasileira.

O Quadro 3 retrata os produtos transportados pela ferrovia brasileira entre o anos de 2007 e 2013 e o volume transportado de acordo com o ano anterior.

QUADRO 3 – CRESCIMENTO PERCENTUAL DOS PRODUTOS TRANSPORTADOS VIA FÉRREA NO BRASIL ENTRE OS ANOS DE 2007 E 2013.

% CRESCIMENTO							
Produto	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Minério de ferro	9,14%	2,89%	-12,13%	16,86%	5,66%	1,59%	1,62%
Agronegócio	-1,09%	1,66%	2,38%	9,86%	5,02%	5,19%	1,66%
Industria siderúrgica	2,35%	0,49%	-25,48%	19,39%	-2,61%	-5,34%	-3,54%
Combustíveis	-3,79%	8,52%	2,60%	-6,50%	0,85%	-1,26%	-6,30%
Construção civil	7,99%	4,85%	-6,57%	6,15%	1,39%	-12,90%	- 14,51%
Container e carga geral	-25,45%	9,49%	18,90%	-36,74%	-5,29%	1,83%	18,54%
Outros minerais	5,86%	2,43%	-17,22%	17,27%	-7,47%	0,44%	- 10,72%

Fonte: Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2014

O transporte ferroviário é melhor empregado no transporte de grandes montantes por longas distâncias. As operações ferroviárias como controle de tráfego, carga e descarga de vagões e formação de trens tem um custo altamente elevado, fazendo com que o transporte de pequenos volumes seja inviável (ALVARENGA, 2000, p.83).

Quando comparado a outros países que também possuem uma grande extensão territorial fica evidente que o transporte ferroviário brasileiro é subutilizado. O Quadro 4 lista os 10 países com maior extensão territorial e qual é a representatividade de sua malha ferroviária e rodoviária segundo a *World Fact Book* citado por Camargo (2010).

QUADRO 4 - DISTRIBUIÇÃO DA MALHA FERROVIÁRIA E RODOVIÁRIA DOS 10 PAÍSES COM MAIOR EXTENSÃO TERRITORIAL

Pais	Área (1000 Km²)	Malha ferroviária (1000 Km)	Malha rodoviária (1000 Km)	Malha ferroviária/ malha rodoviária	Km ferrovia / 1000 Km²	Km rodovia /1000Km²
Rússia	17075	87	933	9,3%	5,1	54,6
Canada	9895	48	1042	4,6%	4,8	104,4
Estados Unidos	9827	227	6466	3,5%	23,1	658
China	9597	75	1931	3,9%	7,9	201,2
Brasil	8512	29	1752	1,7%	3,4	205,8
Austrália	7687	39	813	4,7%	5	105,8
Índia	3288	63	3316	1,9%	19,2	1008,8
Argentina	2767	32	231	13,8%	11,5	83,6
Cazaquistão	2717	14	92	15,0%	5	33,7
Sudão	2506	6	12	50,2%	2,4	4,7

Fonte: *World Fact Book* citado por Camargo (2010)

O transporte ferroviário pode ser utilizado tanto para transporte internacional como para movimentação de cargas internamente, tem uma gama considerável de produtos que pode transportar. Para transporte de cargas internacionais o Brasil utiliza muito pouco o modal ferroviário. Porém, internamente o modal tem uma importância considerável como o segundo mais utilizado, sendo responsável por aproximadamente 25% de todo o volume transportado nacional (KEEDI, 2011, p.41).

O transporte ferroviário possui uma grande adaptabilidade, os vagões podem ser escolhidos e moldados de acordo com o produto que se deseja transportar. Alvarenga (2000) cita como os mais comuns minérios, combustíveis, fertilizantes, carvão calcário, açúcar e granéis em geral. Quando comparado com o modal rodoviário apresenta maior segurança, um número menor em relação a acidentes, e uma menor ocorrência de furtos e roubos.

Com relação aos seus custos esse modal de transporte apresenta valores expressivos em seus custos fixos, como construção e manutenção da via férrea, aquisição e manutenção de locomotivas, vagões e terminais de carga e descarga. Seus custos variáveis são considerados pequenos.

Ballou (1993) cita como sendo dois os tipos de transporte ferroviário: o regular e o privado. O dito transportador regular é fiscalizado pelo governo nos quesitos econômicos e de segurança e atende qualquer cliente. O transportador privado, como o nome evidencia, é operado por um único dono garantindo a ele a exclusividade.

No Brasil, o transporte ferroviário não é tão explorado se comparado ao rodoviário, apesar de apresentar custos menores devido a gargalos na infraestrutura. Não existem dúvidas da relevância do transporte ferroviário para o desenvolvimento brasileiro, porém algumas regras estabelecidas não favorecem a melhoria da eficiência operacional.

3.4 Terminais

Na concepção de Demaria *et al.* (1977) terminais podem ser considerados como todos os pontos onde se inicie, termine ou ocorra um intercâmbio no decorrer ou após o trajeto, incluindo manutenção ou abastecimento do modal de transporte utilizado. Então, terminais são pontos de saída ou chegada de cargas, ou qualquer ponto durante o percurso onde por alguma razão se necessite fazer a transferência da carga para outro modal de transporte ou a estocagem da carga.

3.5 Operadores Logísticos

Com o passar dos anos, os serviços logísticos evoluíram e atingiram um nível de complexidade elevado, elevando também os seus custos e demandando investimentos significativos para que os padrões de competitividade fossem mantidos. Em resposta ao novo cenário, as organizações passaram a considerar a possibilidade de repassar as responsabilidades de gerir os entraves logísticos a outras empresas que fossem especializadas nesse tipo de serviço.

Em meados de 1980 nos Estados Unidos surgiu uma nova tendência, na qual empresas terceiras eram contratadas para fazer a gestão de serviços logísticos.

Essas empresas ficaram conhecidas como *Third-Party Logistcs* (3PL). Internacionalmente esses tipos de organizações são identificadas por várias nomenclaturas como provedores de logística integrada(*integrated logistcs providers*), empresas de logística contratada(*contract logistcs companies*), ou ainda operadores logísticos(*logistcs operators*).

Na maior parte das vezes os autores definem como 3PL aquelas empresas que realizam qualquer tipo de operação no âmbito da logística para terceiros (GARDNER, (1994). Já Berglund *et al.* (1999) definem como 3PL empresas que por meio de um contrato proporcionam ao menos três tipos de serviços sendo eles a gestão, o transporte e a estocagem.

O processo ocorreu por meio da reavaliação de algumas leis, o que proporcionou o aumento da competitividade e alavancou o crescimento dessa prática no mercado norte americano. Com a necessidade do mercado por serviços logísticos de alto nível a intensificação da globalização e clientes que buscam tempo de resposta cada vez menor, esse tipo de serviço se tornou cada vez mais requisitado. Com a demanda aquecida, o número de empresas de transporte cresceu, provocando uma redução nos preços de frete praticados e a oferta de serviços diferenciados.

Hertz e Alfredson (2003) afirmam que a maneira com que os 3PL's fazem o gerenciamento das suas relações com seus clientes e lidam com os efeitos dessas relações terá suma importância para conseguir uma vantagem estratégica no mercado. No Brasil essas empresas ficaram conhecidas como Operadores Logísticos que da mesma maneira representam a terceirização de serviços logísticos(Duke e Nolasco Ferreira et al.,LIEB;RANDALL, 1996).

Diante da conquista de um cenário econômico mais favorável, resultado da adesão do Plano Real, os Operadores logísticos começaram a ganhar espaço no mercado nacional (FLEURY; RIBEIRO, 2003). Já Lieb (1992) configura os operadores logísticos como empresas terceiras que são contratadas para exercerem funções logísticas que anteriormente eram desempenhadas internamente. Novaes (2001) descreve da seguinte maneira:

[...] as exigências dos embarcadores com maior poder de negociação perante um setor altamente competitivo, passaram a ser mais severas,

exigindo melhores níveis de serviço, a preços mais baixos. Os transportadores rodoviários tiveram, assim, suas margens de lucros reduzidas, não obstante o aumento de produtividade do setor. Buscando a sobrevivência e melhores nichos de mercado, começaram a oferecer uma gama mais ampla de serviços. Conseqüentemente, as empresas de transporte rodoviário ampliaram seus negócios, aumentando a rentabilidade e dando origem a uma grande parte dos operadores logísticos de hoje (NOVAES, 2001, p 240).

Esse conceito hoje é muito estudado nas ramificações da logística no mundo todo. Apesar do conceito de terceirização de atividades não ser uma prática nova, os operadores logísticos se mostram como uma nova perspectiva para o mercado atual de transportes no Brasil e no mundo. As empresas estão aderindo à essa tendência de se concentrar apenas no desenvolvimento e fabricação de seus produtos contratando empresas de transporte especializadas para cuidar de toda a logística que envolve o transporte.

Fleury (2000) define os operadores logísticos como empresas que prestam serviços logísticos que possuem a competência de satisfazer de maneira efetiva as necessidades logísticas das empresas que os contratam.

Associação Brasileira de Movimentação e Logística (ABML) conceituou Operadores Logísticos como prestadores de serviços logísticos com capacidade de gerir as necessidades logísticas com habilidades para controlar estoques, armazenar os produtos e realizar o seu transporte.

Com o tempo, as relações entre os operadores logísticos e seus clientes vem sofrendo mutações, migrando de uma relação que tinha seu foco baseado em contratos para relações que tem seu foco voltado para o desenvolvimento de parcerias, buscando atingir o benefício mútuo e uma relação contínua e duradoura (VIRUM, 1993). Colin e Fabbe-Costes citados por Zamcompé (2010) classificam os serviços desempenhados pelos (OPL's) como:

- Deslocamento dos produtos considerando todas as atividades que abrangem o serviço, quando se trata do transporte internacional;
- A estocagem das mercadorias;
- O processo de armazenagem correta do produto incluindo sua proteção por meio embalagens e etc;
- Operações industriais que implicam a certificação da qualidade dos produtos como a certificação de que o produto estará em perfeitas condições para o uso;

- Operações comerciais que envolvem a organização dos pedidos a gestão dos pagamentos e a divulgação do produto;
- O gerenciamento do estoque, o acompanhamento da carga etc;
- O planejamento estratégico e a gestão da cadeia de suprimentos (COLIN; FABBE-COSTES citados por ZAMCOMPÉ, 2010, p.?)

3.6 Simulação

A necessidade de se analisar e entender detalhadamente o funcionamento da empresa se faz cada vez mais importante, estimulando cada vez mais o uso de novos recursos e novas teorias na busca de reproduzir o comportamento do sistema de produção. A simulação auxilia nesse sentido se mostrando como uma ferramenta poderosa para se recriar um sistema e dessa maneira buscar melhorias e soluções de problemas. Monks (1978) define simulação como:

[...] um método de modelar a essência de uma atividade ou sistema, de modo que possam ser feitas experiências para avaliar o comportamento do sistema ou efeito de longo tempo (MONKS, 1978, p.?)

Um modelo de simulação é uma representação de um processo ou sistema que é influenciado pelo tempo e pelas mudanças que ocorrem durante o tempo (CARSON, 2005).

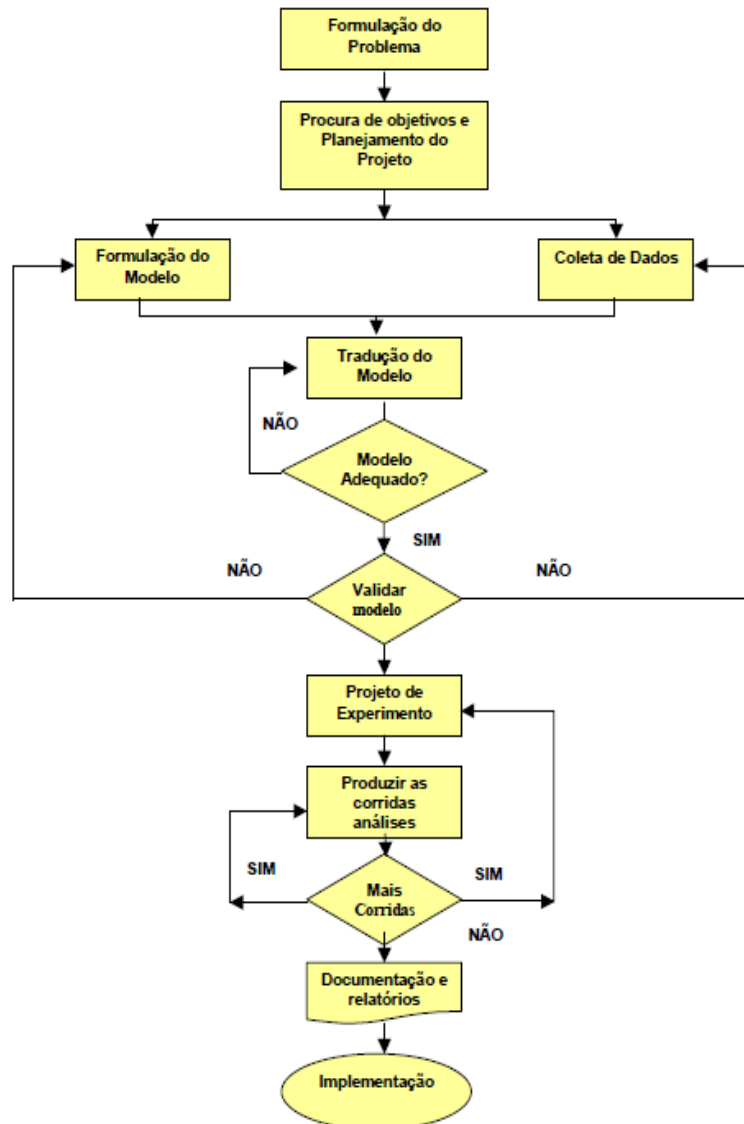
Banks (2000) ainda ressalta a importância da simulação como uma metodologia que possui uma extrema importância na análise e melhoria de sistemas de produção, como também na comparação com outros sistemas e no desenvolvimento de sistemas novos.

Simulação é ato de desenvolver um modelo de um sistema real, buscando entender seu funcionamento, realizar algumas alterações e ver como o sistema reage a esse novo cenário levando em consideração as restrições do sistema (SHANNON *et al.* 1975; INGALLS, 2008). Sendo assim, a simulação se configura como uma importante ferramenta de auxílio para tomada de decisão, permitindo que hipóteses sejam testadas, em um cenário similar ao sistema de produção.

Dessa maneira, os impactos de mudanças podem ser mensurados antes das mudanças físicas serem realizadas economizando tempo e dinheiro. Para simular um processo é necessária a construção de um modelo que possua características fiéis ou muito parecidas de um processo real.

Na Figura 2 são descritas as etapas de construção de um modelo conforme Banks (1999) e Colmanetti (2001).

FIGURA 2- ETAPAS PARA CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE PROCESSO



Fonte: Banks (1999) e Colmanetti, 2001.

3.7 Sistemas dinâmicos

Quando se analisa a dinâmica das coisas, surge a tendência de utilizar modelos mentais buscamo suporte na hora de se tomar as decisões. Isso restringe a visão do sistema como um todo, influenciando em sua análise. Sterman (2001) aponta algumas características dos sistemas complexos que são comumente encontradas.

-Mudanças constantes: Os sistemas sofrem constantes mudanças em diferentes setores e podem apresentar um performance linear e constante durante anos. Porém sem nenhum sinal prévio podem ter uma ruptura e mudar sua dinâmica.

-Sistema fortemente interligado: Partes que compõem um sistema possuem uma correlação e uma interdependência que se sofrendo algum tipo de ação irão afetar o sistema como um todo.

-Sistema gerido por seus *Feedbacks*: A interdependência das ligações entre as partes do sistema tornam nossas ações sobre o sistema o *feedback* delas mesmas. Ao provocarmos uma alteração criamos um novo cenário que por sua vez terá um peso em nossas próximas ações.

-Não linearidade de um sistema: uma determinada decisão afeta o sistema de uma maneira não proporcional muitas vezes sendo uma reação específica de uma parte do sistema. Como por exemplo, a reação de pessoas a estímulos motivacionais, cada uma respondera de uma maneira particular.

-Histórico dependência: Muitas vezes após de ser tomada uma decisão não há como voltar atrás e desfazer esse ação. A escolha de um modelo pode resultar na exclusão de fatores que não poderão mais ser recuperados.

-Auto organização: Muitas vezes pequenas alterações provocam um rearranjo na estrutura do sistema fazendo que o mesmo assuma um novo padrão e passe a se comportar de uma nova maneira.

-Adaptativo: o poder de tomada de decisão e as diretrizes que compõem o sistema se transformam ao decorrer do tempo. Essas mudanças acabam mudando o sistema como um todo e criando novas diretrizes.

-Características de Trade-off: são caracterizados por ações que influenciam o comportamento do sistema de uma maneira distinta quando se leva em consideração o tempo. Tendo respostas diferentes respostas a longo e curto prazo para uma mesma ação.

-Contraintuitividade: na busca de solucionar um problema do sistema tentamos linearizar e aproximar suas causas e efeitos, porém o problema pode estar relacionado a um fator não tão obvio.

- Política resistente: Muitas vezes os sistemas que estamos analisando possuem uma complexidade que supera nossa capacidade de compreensão de uma maneira em que ao propormos uma solução o cenário se agrava ainda mais (STERMAN, 2001, p.??).

Quando se analisam os sistemas de produção precisamos identificar se esses sistemas são lineares ou não lineares. Luna-Reyes e Andersen (2003) explicam a diferença entre sistemas lineares e não lineares como:

[...] Num sistema linear, os efeitos são diretos e proporcionais aos estímulos recebidos: se um estímulo provoca uma determinada resposta, um estímulo do mesmo tipo e duas vezes maior provoca uma resposta duas vezes maior. Já num sistema não-linear (complexo), as respostas não são proporcionais aos estímulos podendo ser varias vezes maiores ou até menores (LUNA-REYES; ANDERSEN, 2003, p.??).

Ao tentar cada vez mais a aproximação do cenário real que ocorre diariamente em uma indústria as particularidades dos sistemas se acentuam. Buscando se detalhar o processo e identificar seus problemas, se encontram sistemas extremamente complexos nos quais o dinamismo constante das mudanças

influenciam diretamente o resultado final, tornando difícil simular processos reais, sendo necessária a utilização de modelos matemáticos e ferramentas computacionais.

Forrester(1969) descreve que existe uma sequência de ações no processo de análise e modelagem. Ele considera como sendo o primeiro passo o detalhamento do sistema e a formulação de uma teoria de qual fator está causando um mal funcionamento do sistema. O segundo passo é o início da construção do modelo que será simulado. Aqui o comportamento do sistema será transformado em equações de análise de sistemas dinâmicos. Ainda no passo dois é feita uma descrição generalizada do sistema detalhando o que foi protosto no passo um. Aqui surgirão algumas perguntas e dúvidas que devam ser respondidas pelo passo anterior.

No passo três são avaliadas todas as variáveis que são descritas pelas equações. Aqui deve se checar se as variáveis estão definidas de maneira clara e singular e se não existem equações simultâneas. A utilização de *softwares* de dinâmica de sistemas facilitam tais verificações lógicas. O primeiro modelo simulado pode conter erros e não traduzir o comportamento real do sistema, então se deve revisar os passos anteriores. O modelo que foi desenvolvido no terceiro passo deve traduzir com fidelidade o comportamento do sistema que está sendo simulado. No passo três encontraremos *feedbacks* dos passos anteriores, assim podemos fazer alterações até que o modelo se assemelhe à realidade.

No passo quatro são identificadas possibilidades que serão testadas, agora o pesquisador vai escolher as soluções que se mostrarem mais promissoras. Agora o conhecimento do sistema que está sendo analisado será importante para se decidir qual caminho melhor representa a realidade. No passo cinco são analisadas as alterações que foram realizadas na busca da resolução do problema. Na fase de implementação, muitas vezes verdades que antes eram tidas como absolutas agora são questionadas.

O passo seis permite que sejam implantadas as novas diretrizes. Aqui serão encontradas dificuldades se o desenvolvimento das etapas anteriores não foi consistente. Aqui a validade das ações propostas anteriormente serão avaliadas. Esta etapa pode ser longa. Velhas diretrizes precisam ser erradicadas. As novas diretrizes exigirão treinamento e trarão novas fontes de informação. Os efeitos

causados pelas novas diretrizes são avaliados após a implementação e aqui não existem certezas e muitas vezes não se consegue obter um resultado conclusivo. Com o passar do tempo podem ocorrer mudanças no ambiente e no sistema esses comportamentos não podem ser previstos e novas análises devem ser realizadas.

Os sistemas dinâmicos nos ajudam a mensurar esses eventos por meio da utilização de ferramentas matemáticas que auxiliam na compreensão de problemas complexos (KIRKWOOD, 2001). Os sistemas dinâmicos surgiram para auxiliar a engenharia e a gestão nos processos produtivos, cooperando para a compreensão do comportamento físico, biológico e social dos sistemas. A utilização do método de sistemas dinâmicos permite fazer uma análise do desempenho da empresa desde de seus fornecedores até seus consumidores finais (MARÇAL, 2012). Forrester (1961) define sistemas dinâmicos como

[...] o estudo das características de *feedback* de informações da atividade industrial para mostrar como a estrutura organizacional se comporta, a amplificação (de políticas), em intervalos de tempo (de decisões e ações) interagindo para influenciar o sucesso do empreendimento. Ele trata as interações entre os fluxos de informação, dinheiro, pedidos, materiais, pessoal e ativos de uma empresa, na indústria ou de uma economia nacional (FORESTER, 1961, p.81).

Na análise e construção de teorias para melhor se entender os processos nas indústrias, os sistemas dinâmicos vem se mostrando uma ferramenta poderosa que proporciona um ótimo *feedback*. Os pesquisadores da área ao longo do tempo vem desenvolvendo várias orientações que ajudam no processo de construção do modelo, e também realizando vários testes que imprimem confiabilidade aos modelos criados (FORRESTER; SENGE, 1980; STERMAN *et al.*, 2000; LUNA-REYES; ANDERSEN, 2003). Porém, para utilizarmos esse método é necessário mudarmos nosso conceito de análise de performance nas empresas, não apenas analisando eventos isolados e suas causas, mas sim olhando para a empresa como um sistema formado por partes que interagem entre si (KIRKWOOD, 2001).

Forrester (1961) afirma que o início de um estudo que utilizará sistemas dinâmicos para tentar descrever um processo produtivo é a identificação do problema e o desenvolvimento de algumas questões que devem ser respondidas. Com a utilização do método de sistemas dinâmicos é possível alterar a variável que foi descrita no início do estudo, dando uma maior flexibilidade para se construir o modelo e fazer a análise do processo.

Para Lai e Lee (2003) a análise realizada por meio da utilização dos sistemas dinâmicos consegue retratar de maneira mais ampla o comportamento do sistema, bem como as mudanças que ocorrem durante o processo e influenciam seu comportamento no futuro tornando mais fácil a tomada de decisão.

Sterman (2009) descreve sistemas dinâmicos como um método que proporciona o aumento do aprendizado sobre um sistema que possui uma complexidade dinâmica e desenvolver soluções mais efetivas. Os sistemas dinâmicos por meio da tecnologia da informação e do *feedback* conseguem estruturar e construir o fluxo de produção por meio da utilização de diagramas e modelos matemáticos com o auxílio de uma linguagem de programação para realizar simulações computacionais Lai e Lee (2003).

Forrester (1958) descreve como sendo quatro os campos que originaram a Dinâmica de Sistemas (RICHARDSON *et al.* 2000; BASTOS, 2003): 1) tecnologia computacional; 2) modelagem e simulação por computadores; 3) análise e decisão estratégica; 4) teorias de *feedback* e controle.

4 METODOLOGIA

Nos capítulos anteriores do trabalho explicitou-se a importância da exportação de grãos para economia nacional, e a pouca utilização do modal ferroviário que é o mais indicado pela literatura no transporte de grandes toneladas por grandes distâncias. Demonstrando que existe uma grande lacuna para pesquisas que auxiliem uma melhor compreensão do transporte ferroviário e por consequência ajudem a melhorar esse processo. A simulação do processo de transporte tem o papel de facilitar a compreensão do sistema e testar hipóteses na busca de obter resultados melhores.

Na literatura encontraram-se outros trabalhos que abordavam a simulação de processos de transportes ferroviários, porém as linhas ferroviárias brasileiras possuem restrições singulares e específicas variando desde a forma como se realiza o armazenamento da carga nos terminais como a maneira como se realiza o carregamento dos vagões para cada região, demonstrando a importância deste estudo.

Souza Martins citado por Demo (1989) conceitua metodologia como análise e detalhamento das ferramentas que compõem a linha que será seguida na pesquisa explorando suas fronteiras por meio de indagações. Marconi e Lakatos (2008, p. 80) diferenciam conhecimento científico dos outros tipos de conhecimento pelo fato de suas proposições não ter apenas fundamentação lógica, mas sim são testadas de maneira empírica, seguindo uma sequência de ideias e as suposições que não podem ser provadas não possuem validação científica. Para Gil (1999, p. 42) a definição de pesquisa pode ser entendida da seguinte maneira:

[...] processo formal ou sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante ao emprego de procedimentos científicos (GIL, 1999, p. 42).

A metodologia tem por objetivo buscar e comparar vários métodos e teorias que reúnem dados na busca de solucionar ou ainda propor algum tipo de melhoria para o problema enfrentado (PANDOV; FREITAS, 2013).

Gil (2008) salienta que a identificação dos métodos e das teorias que foram utilizadas é um pré-requisito indispensável na caracterização de um conhecimento científico. Simplificadamente significa que para que esse conhecimento seja validado é necessária a descrição dos meios que foram utilizados para sua construção.

Muitas áreas de estudo fazem uso de métodos científicos. Entretanto, nem todas as áreas podem ser classificadas como ciências, explicitando que a necessidade do uso de método científico não é restrita apenas da ciência. Por outro lado, não existe outro caminho para formulação da ciência a não ser por meio de métodos científicos (MARCONI; LAKATOS, 2008, p.83).

Segundo Ruy (2002) após da determinação do objetivo do estudo por meio da metodologia científica serão definidos quais serão os métodos utilizados para buscar os resultados, elaborando as ações que serão realizadas durante a pesquisa. Segundo Sellitz citado por Ruy (2002) a pesquisa possui três variações de acordo com o objetivo:

-Pesquisa Exploratória: busca a formulação mais detalhada de um problema e apresenta hipóteses para sua resolução.

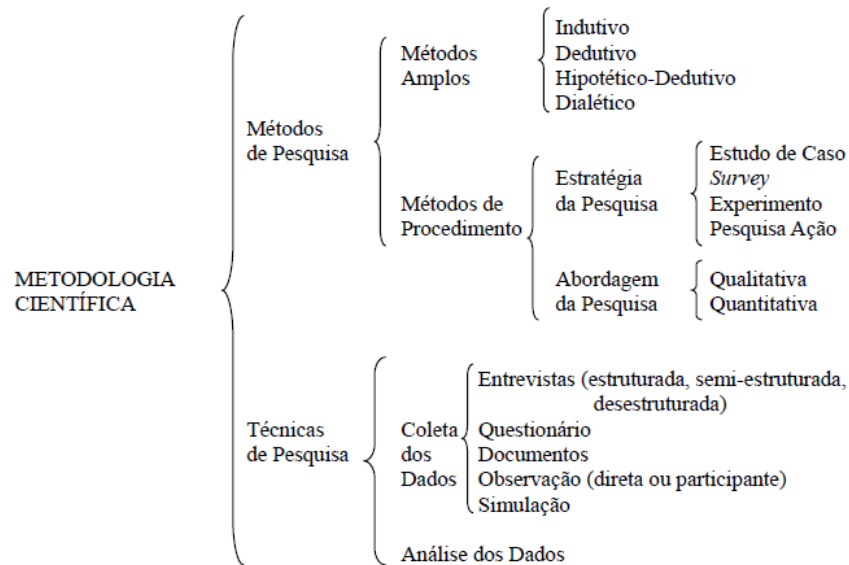
-Pesquisa Descritiva: busca explicitar as características de uma situação de uma maneira mais detalhista definindo e classificando suas variáveis.

-Pesquisa Casual: estuda causa e efeito entre atores do sistema.

Tomando como base as definições apresentadas acima essa pesquisa caracteriza-se como exploratória.

A Figura 2 demonstra como é composta a metodologia científica.

FIGURA 3- METODOLOGIA CIENTÍFICA



Fonte: Ruy (2002).

Selltiz citado por Campomar (1991) descreve método científico como:

[...] um conjunto de passos específicos e claramente determinados que são utilizados para a obtenção de um conhecimento, passos esses aceitos pelas pessoas que estudaram e militaram na área em que a pesquisa foi realizada (SELLTIZ apud CAMPOMAR, 1991, p.54).

Os métodos amplos propõem diretrizes que auxiliam o autor que utiliza da lógica para examinar os fatos possibilitando diferenciar os objetivos de cunho científico dos de cunho não científico (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Prodanov e Freitas (2013) ainda apontam os 5 métodos científicos mais abordados na literatura sendo eles o indutivo, o dedutivo, o hipotético-dedutivo, o dialético e o fenomenológico. Essa pesquisa usará a abordagem dedutiva na qual serão apresentadas propostas que serão testadas e assim avaliadas se terão impactos negativos ou positivos sobre o sistema ou ainda se não apresentarão resultados significativos.

O método dedutivo é fundamentado em premissas que se forem tidas como verdadeiras como consequência levarão a conclusões verdadeiras (MARCONI; LAKATOS, 2013). De uma maneira mais simples no método dedutivo a comprovação das hipóteses acarretará em uma conclusão verdadeira. Marconi e

Lakatos ainda destacam que o método dedutivo possuem duas características muito claras que são:

Característica 1: Se todas as premissas são verdadeiras, a conclusão deve ser verdadeira.

Característica 2: Toda a informação ou conteúdo fatural da conclusão já estava, pelo menos implicitamente nas premissas.

O método dedutivo segue o estretamente o pensamento lógico, partindo de premissas que são assumidas como verdadeiras e absolutas que se forem confirmadas levarão uma resposta também verdadeira (GIL, 2008). O método dedutivo é altamente difundido nas ciências exatas como a matemática e física, cuja a fundamentação se baseia em premissas que são assumidas como verdadeiras e a partir delas são formadas conclusões. Porém em ciências de cunho social a utilização desse método não é tão explorada, sendo mais complexo a formulação de verdades absolutas (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Com relação à abordagem a pesquisa, esta pode ser definida como quantitativa ou qualitativa, ou ainda pode ser uma junção das duas. A abordagem quantitativa faz um levantamento dos dados buscando quantificar de maneira numérica esses dados e assim fazer uma análise por meio da estatística. Dessa maneira cria-se uma correlação entre as variáveis que estão sendo analisadas e garantindo uma maior precisão aos resultados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa quantitativa busca mensurar as informações, convertendo um banco de dados em números e se valendo de ferramentas matemáticas como a estatística para analisar esses dados e assim formular hipóteses (SILVA; MENEZES, 2005).

Já a abordagem qualitativa busca enunciar os acontecimentos, porém traduz essas informações numericamente não se fazendo necessária a utilização da estatística, dando uma maior ênfase ao enfoque dos indivíduos que estão envolvidos (RUY, 2002). A pesquisa qualitativa não tem como premissa a utilização da estatística. Nessa abordagem o pesquisador aborda o problema por meio interpretação do ambiente, tendo como principal enfoque a compreensão do processo (SILVA; MENEZES, 2005). Ou seja, a abordagem qualitativa busca

compreender os fenômenos ou processos por meio da observação daqueles que estão os estudando. A presente pesquisa utilizará as duas abordagens.

Ruy *apud* Bryman (1989) salienta que a principal diferença entre as duas abordagens não é o uso ou não de métodos matemáticos, mas sim a preocupação de se transmitir com fidelidade a visão dos atores que estão envolvidos no processo. A pesquisa ainda apresenta classificação por meio dos procedimentos técnicos que foram utilizados. Gil (1991) descreve os procedimentos técnicos de uma pesquisa como:

- Pesquisa bibliográfica:** quando a pesquisa é realizada utilizando outras publicações anteriores como artigos científicos, livros e materiais que estão na internet.
- Pesquisa Documental:** se caracteriza por utilizar matérias que os conteúdos ainda não sofreram uma abordagem analítica.
- Pesquisa experimental:** A pesquisa experimental busca evidenciar relações casuais entre dois atores, buscando medir qual é a influência que a variável escolhida tem sobre o processo, e quais são as formas de realizar o controle dessa variável.
- Levantamento:** quando é elaborada uma sequência de perguntas visando entender seu comportamento por meio da análise das respostas desse questionário.
- Pesquisa Ex post-Facto:** quando os fatos precedem a realização do estudo.
- Pesquisa-Ação:** ocorre quando os pesquisadores estão envolvidos no problema abordado de maneira participativa ou cooperativa.
- Estudo de Caso:** quando ocorre a busca pela compreensão e detalhamento de um objeto, descrevendo suas relações de causa e efeito (GIL, 1991, p.43).

Ventura *apud* Yin (2001) refere que o estudo de caso consiste no levantamento e compreensão dos dados pelo pesquisador, de uma maneira ampla, usando abordagens tanto qualitativas como quantitativas. Gil (1996) descreve estudo de caso como a tentativa de profunda compreensão de um fenômeno ou sistema, visando a formulação de hipóteses e teorias. Gil ainda descreve que o estudo de caso não apresenta uma metodologia rígida que deve ser seguida, mais quatro fases se destacam em seu delineamento sendo elas: i) delimitação da unidade de caso; ii) coleta de dados; iii) análise e interpretação dos dados e, iv) elaboração do relatório.

Como em outras abordagens, o estudo de caso é elaborado a partir de algumas perguntas que descrevem como será conduzido o levantamento de dados para pesquisa e qual é a relevância dessa investigação. Ruy (2002) enuncia

algumas aplicações do estudo de caso: 1) explicitar causa e efeito ou correlação entre variáveis quando o contexto é muito complexo para um experimento ou *survey*; 2) *descrever* uma situação ou contexto particular; 3) ilustrar certos tópicos dentro de uma avaliação, também de maneira descritiva; 4) em pesquisas exploratórias onde não se tem claro o conjunto de resultados; 5) como meta-avaliação .

O presente estudo realizou um estudo de caso. O primeiro passo foi o definir um objetivo que seria aumentar o volume transportado por trem. Assim realizou-se uma revisão bibliográfica sobre logística, modais de transporte e modelagem. Em seguida foram extraídos dados sobre o comportamento do sistema através de observação direta, observação participativa e através de um *software* de controle que é utilizado pela empresa. Através da base obtida levantou-se os atores que tinham influência direta no modelo de formação de trens que é utilizado pela companhia atualmente. Então se começou a analisar detalhadamente esses atores na busca de proposições que permitissem o aumento do volume transportado por trem. Após a análise dessas proposições definiu-se qual seria a melhor escolha levando-se em consideração fatores econômicos e restrições da produção.

5 ESTUDO DE CASO

Durante a pesquisa foram levantados dados do funcionamento de uma ferrovia brasileira que liga o Mato Grosso (na cidade de Rondonópolis) e se estende até o porto de Santos, no estado de São Paulo. Primeiro buscou-se observar o fluxo de transporte e entender o processo como um todo. Assim, realizou-se o mapeamento desse corredor levantando-se os tempos de percurso e as distâncias entre as estações que compõem o trecho, buscando compreender melhor a operação e quais eram suas restrições.

5.1 Formação do trem

O processo de formação de trem depende da quantidade e tipo de locomotivas, e também na quantidade e tipo de vagões que serão utilizados na composição. Para proporcionar uma maior segurança e maior eficiência no processo de transporte, existe a necessidade de se prever o comportamento do trem no perfil da malha, e isto é feito por meio de seu correto dimensionamento, buscando estabilidade ao longo de sua viagem. O processo de formação do trem segundo Hungria (2010) tem por base as leis da física que foram enunciadas por Newton em 1687 e são elas:

1. Todo corpo permanece em estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele. => Lei da inércia.
2. A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força => Lei fundamental da dinâmica.
3. Uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações de dois corpos um sobre o outro sempre são iguais e se dirigem a partes contrárias => Lei da ação e reação.

Tomando por base esses conceitos, concluímos que a mudança na velocidade do trem é consequência da aplicação de uma força, que pode ser o resultado do esforço trator causado pela locomotiva que busca um aumento na velocidade do trem, na busca de vencer um desnível ascendente, ou ainda na busca da redução da velocidade por meio da aplicação de uma força de frenagem. Considerando que o trem possui uma massa elevada (8500t) para se ocasionar pequenas mudanças na velocidade do trem são necessárias forças elevadas.

O sistema de freio do trem então assume papel de suma importância levando-se em consideração que a via possui alterações de inclinação em seu perfil altimétrico. Sendo assim, um preciso controle e uma alta capacidade de frenagem agregam maior eficiência e maior segurança. O sistema de freio de um trem é formado por tubulações, mangueiras, compressores, válvulas, cilindros, câmeras, em que locomotivas e vagões possuem um dispositivo de frenagem próprio, que são interligados formando o sistema de freios do trem.

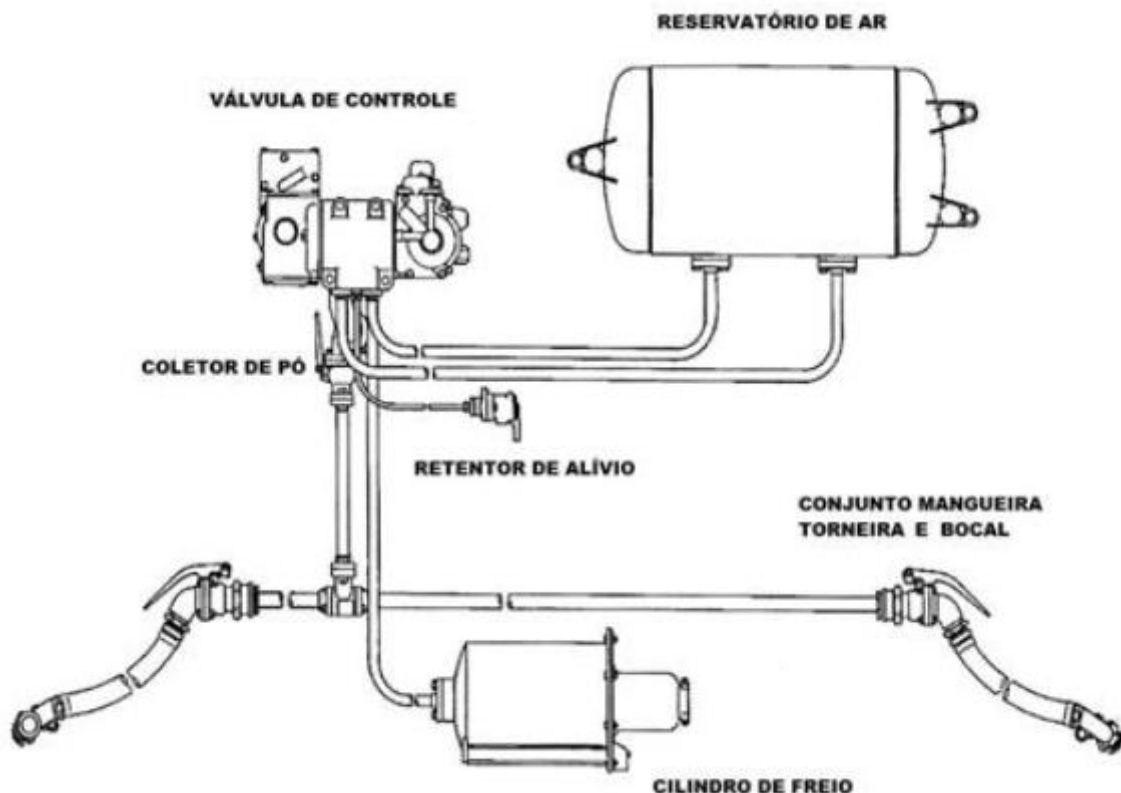
Para que se obtenha um controle sobre a velocidade do trem, e fazer com que o mesmo consiga parar de uma maneira uniforme, o sistema de freio realizara uma tarefa conjunta que envolve o acionamento do sistema de frenagem de cada vagão e locomotiva que está compondo o trem (CALLONEI, 2009). Em trechos onde são encontradas extensas rampas descendentes que possuem inclinação acima de 2%, o cálculo de lotação do trem tem que ser realizado pela capacidade de taxa de frenagem de locomotivas e vagões.

O controle da velocidade de uma composição em trechos de decidas longas e acentuadas depende da capacidade de frenagem dinâmica das locomotivas e da capacidade de frenagem pneumática dos vagões (HUNGRIA, 2010). O freio dinâmico é o freio reostático, ele não é um freio que será utilizado para parar o trem ou a locomotiva, mas sim para controlar a velocidade.

O freio dinâmico é muito utilizado em rampas descendentes que apresentam elevado grau de inclinação e quando combinado ao freio pneumático, oferece um melhor controle da velocidade e uma maior segurança para a operação. O funcionamento do sistema de freio pneumático ocorre da seguinte forma: na locomotiva existe um compressor ligado a um reservatório principal, seguido de um manípulo regulador e de uma válvula alimentadora. O encanamento que sai dessa

válvula alimentadora é denominado Encanamento Geral (EG), que é interligado entre todos os veículos da composição por meio de conjuntos de mangueira, torneira e bocal. O compressor gera ar comprimido a uma pressão acima daquela que se utiliza no EG e, pelo manípulo, regula-se a pressão desejada para o EG Hungria (2010). A Figura 4 demonstra como é composto um sistema de freio pneumático de vagão (HUNGRIA, 2010).

FIGURA 4- SISTEMA DE FREIO PNEUMÁTICO EM UM VAGÃO



Fonte: Hungria, 2010.

É importante ressaltar que todos os vagões são projetados para terem uma taxa de frenagem equivalente à no mínimo 10% de seu peso bruto. Porém, na prática os vagões apresentam taxas de frenagem diferentes que podem variar de 9% a 15%. Esse tipo de variação provoca desacelerações diferentes nos vagões ocasionando choques internos que podem gerar o descarrilamento de vagões.

5.2 Cálculos para a lotação dos trens

Para o cálculo de lotação de trens em trechos de serra ou rampas íngremes, deve-se utilizar apenas 50% da disponibilidade de freio pneumático dos vagões para que o trem mantenha velocidade constante ao descer uma rampa, e os outros 50% devem ser reservados para parar-se o trem em caso de emergência (HUNGRIA, 2010). O cálculo da força de frenagem do sistema dinâmico da locomotiva é feito conforme demonstrado na fórmula a seguir.

$$F'_D = \frac{n_t R \cdot I^2}{\eta \cdot v}$$

Em que:

- F'_D : é a força exercida pelo freio dinâmico da locomotiva em (Kgf).

- n_t : é o número de motores de tração por locomotiva.

- R : é a resistência de grade em (Ω).

- I : é a intensidade de corrente elétrica em (A).

- η : rendimento do motor elétrico.

- V : é a velocidade do trem em (m/s).

Para o cálculo da força de frenagem pneumática de cada vagão se utiliza a fórmula a baixo:

$$F'_p = \mu \cdot p_c \cdot A_c \cdot R_a \cdot e$$

Em que:

- F'_p : é a força exercida pelo freio pneumático do vagão em (Kgf).

- μ : é o coeficiente de atrito da sapata.

- P_c : é a pressão no cilindro de freio em (psi).

- A_c : é a área do cilindro de freio em (in²).

- R_A : é a relação das alavancas da timoneria.

-e: é a eficiência da timoneria.

Tendo visto o cálculo das forças de frenagem atuantes em um trem, podemos partir para próxima equação que resultara no cálculo de lotação do trem. Que é dado por:

$$L = \left(\frac{n_v \cdot \mu \cdot p_c \cdot A_c \cdot e}{g \cdot i - R'_{c_v} - R'_{D_v}} \right) \cdot R_a + \frac{n_L \cdot F'_D}{(g \cdot i - R'_{c_v} - R'_{D_v})} - M_L \cdot \left(\frac{g \cdot i - R'_{c_L} - R'_{D_L}}{g \cdot i - R'_{c_v} - R'_{D_v}} \right)$$

Freio Pneumático
Freio Dinâmico
Peso Locomotiva

Onde:

-M = massa. Índice:

-L = locomotiva

-V = vagão.

-L = massa dos vagões carregados = lotação

-g = gravidade.

-i = inclinação da rampa (%).

-nv = número de vagões.

-μ = coeficiente de atrito da sapata.

-Ac = área do cilindro de freio.

-Ra = relação de alavancas da timoneria.

-e = eficiência da timoneria (65% - vagões).

-nL = número de locomotivas.

-R' = resistência de um único veículo (vagão ou locomotiva).

-F'D = freio dinâmico de uma locomotiva.

5.3 Aumento da capacidade do trem

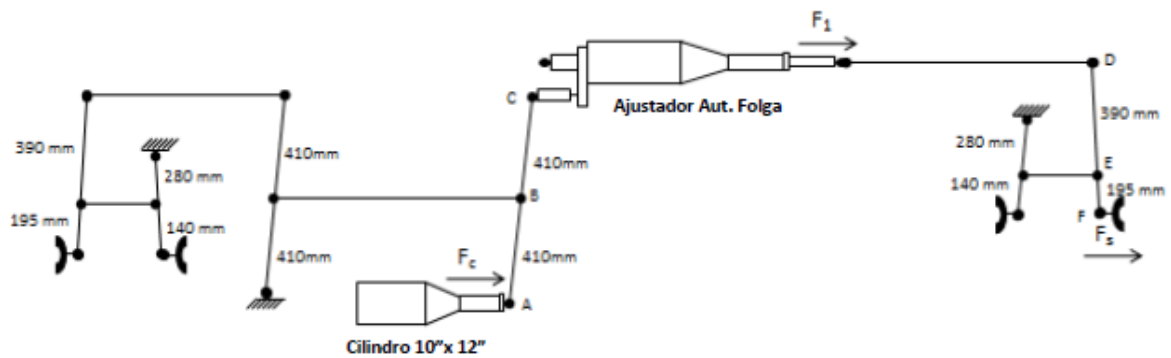
Como pode-se observar na equação acima, existem três fatores principais que contribuem para o cálculo de lotação de um trem. Sendo eles o freio pneumático, o freio dinâmico e o terceiro fator é composto pelo peso da locomotiva. Devido ao perfil altimétrico do trecho estudado apresentar trechos de serra, conclui-se que capacidade de lotação do trem sofre uma maior influência da capacidade de frenagem da composição (locomotivas+vagões). Analisando a fórmula podemos deduzir algumas formas de aumentar a lotação do trem: 1) aumento da pressão do encanamento geral; 2) aumento da relação de alavancas da timoneria; 3) aumento do número de locomotivas no trem.

As três proposições acima proporcionariam o aumento da capacidade de lotação do trem. O aumento da pressão do encanamento geral é processo eficiente de aumento da capacidade do freio dos vagões porém os custos de manutenção para manter o sistema operando com uma baixa probabilidade de falha são altos.

A alternativa número 3 que configura o aumento do número de locomotivas por trem, faria com que a disponibilidade do freio dinâmico tivesse um aumento considerável. Porém, tendo em vista que o custo de cada locomotiva gira em torno de R\$ 2.500.000,00 a alternativa número 3 se torna inviável economicamente.

Tendo em vista estas restrições econômicas, os esforços foram concentrados na alternativa número 2. Assim, vamos descrever o funcionamento da timoneria. A timoneria é uma parte do freio do vagão que é composta por alavancas e tirantes, que tem como função multiplicar o esforço dado pelo cilindro de freio a fim de se obter uma força adequada com relação ao peso do vagão. Como já descrito anteriormente, existem diferenças entre as taxas de frenagem dos vagões que se dão devido ao fato deles serem de modelos diferentes e possuírem diferentes valores de Relação de Alavancas (R_a), as R_a 's são responsáveis pelo fator multiplicador da força do cilindro. Na figura 5 temos um exemplo de timoneria de um vagão.

FIGURA 5 - TIMONERIA DE UM VAGÃO HFT BITOLA LARGA



Fonte: Hungria, 2010.

Hungria (2010) montou um quadro que correlaciona o modelo do vagão com sua respectiva Relação de Alavancas (R_a). No Quadro 5 demonstra-se essas correlações. Onde as letras correspondem ao modelo de vagão.

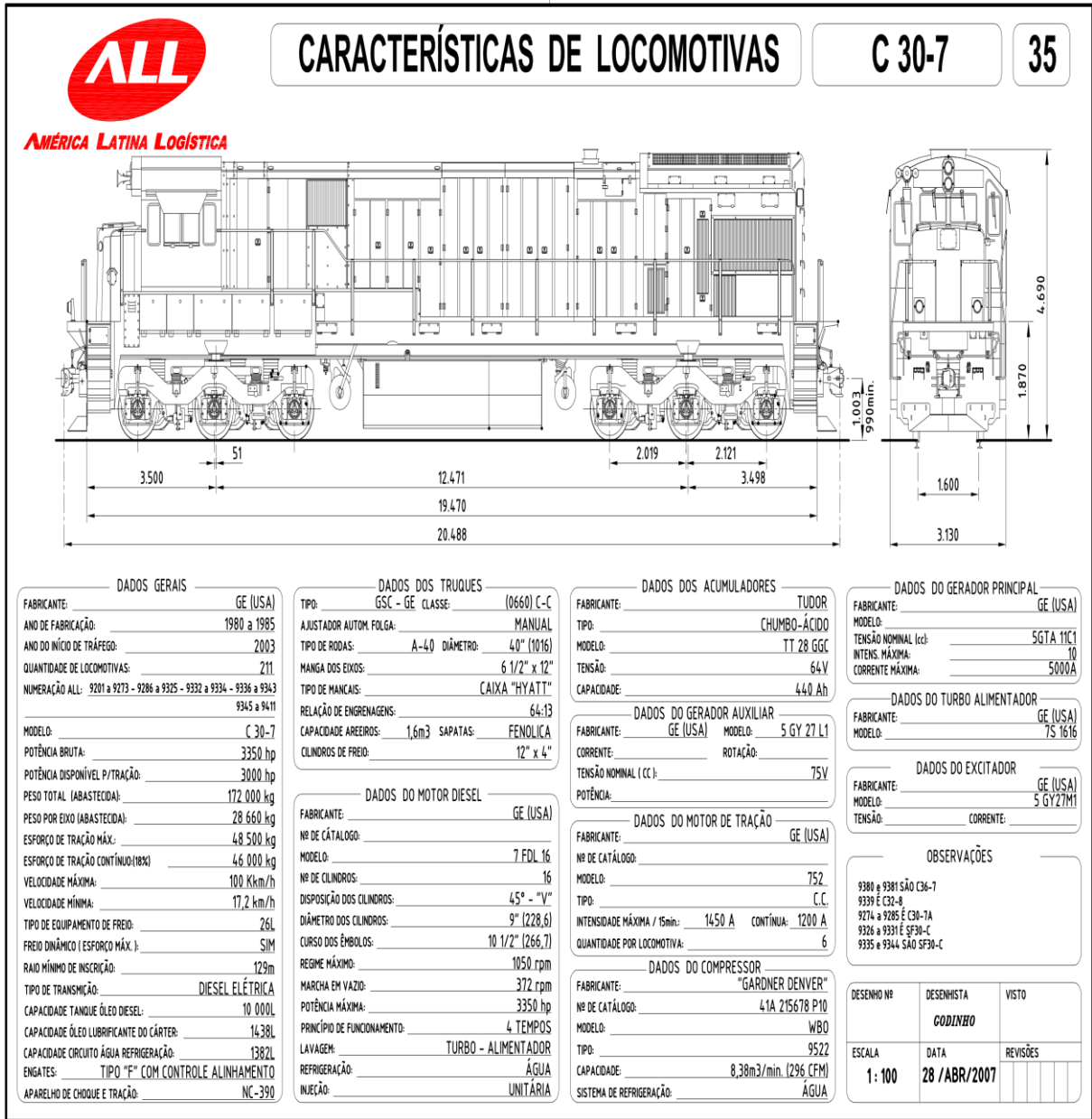
Quadro 5 - Classificação de vagão e (RA).

TIPO	RA
P	3,17
Q	3,59
R	4,49
S	5,61
T	6,74
	7,3
	8,8

Fonte: Hungria, 2010.

No cenário atual, as composições são formadas por locomotivas do tipo AC44i e C30, que possuem Esforço Trator de 75.000 kgf e 41.549 kgf respectivamente. Os modelos de locomotiva pode ser observados nas figuras 5 e 6.

FIGURA 6 - MODELO DE LOCOMOTIVA C-30



Fonte: Empresa América Latina Logística, 2015.

FIGURA 7 - MODELO DE LOCOMOTIVA AC44I

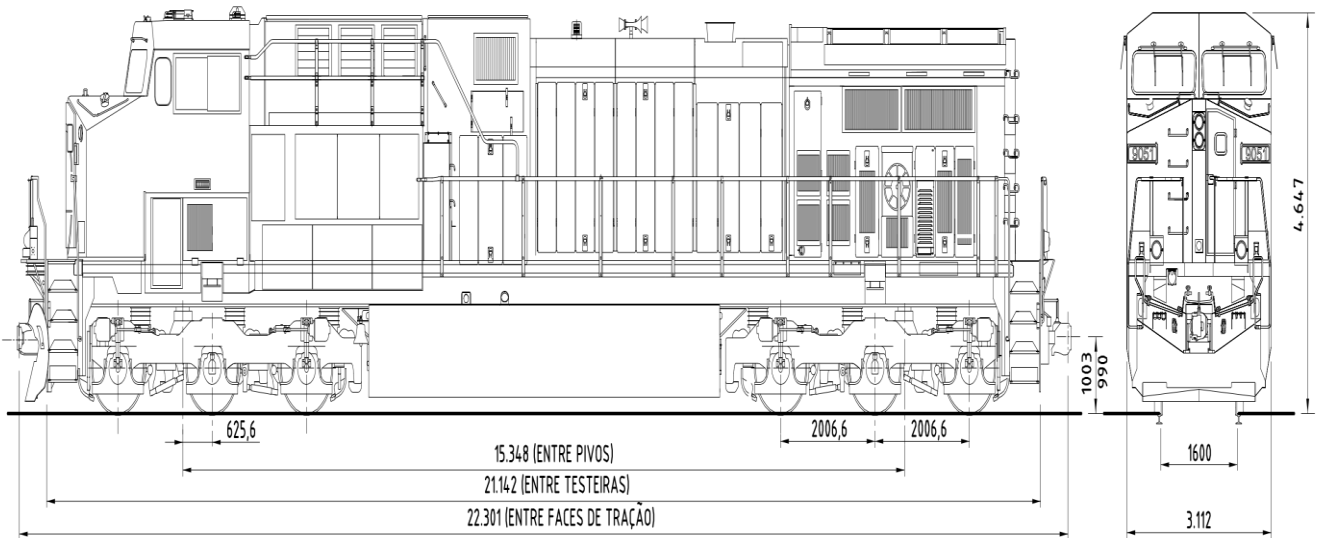


AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA

CARACTERÍSTICAS DE LOCOMOTIVAS

AC44 i

40



DADOS GERAIS

FABRICANTE:	GE (BRASIL)
ANO DE FABRICAÇÃO:	GE (USA)
ANO DO INÍCIO DE TRÁFEGO:	2009 a 2011
QUANTIDADE DE LOCOMOTIVAS:	60
NUMERAÇÃO ALL:	9051 a 9060
NUMERAÇÃO RUMO:	9810 a 9859
MODELO:	AC44i
POTÊNCIA BRUTA:	4.500hp
POTÊNCIA DISPONÍVEL P/TRACÇÃO:	4.390hp
PESO TOTAL (ABASTECIDA):	195.000kg
PESO POR EIXO (ABASTECIDA):	32.500kg
ESFORÇO DE TRACÇÃO MÁX.:	90.718kgf
ESFORÇO DE TRACÇÃO CONTÍNUO:	75.300kgf
VELOCIDADE MÁXIMA:	100km/h
VELOCIDADE MÍNIMA:	
TIPO DE EQUIPAMENTO DE FREIO:	CCB2
FREIO DINÂMICO (ESFORÇO MÁX.):	53.061kgf
RAIO MÍNIMO DE INSCRIÇÃO:	83,21m
TIPO DE TRANSIÇÃO:	D. E.
CAPACIDADE TANQUE ÓLEO DIESEL:	17.980l
CAPACIDADE ÓLEO LUBRIFICANTE DO CÂRTER:	1.552l
CAPACIDADE CIRCUITO ÁGUA REFRIGERAÇÃO:	1.438l
ENGATES:	TIPO "F"
APARELHO DE CHOQUE E TRACÇÃO:	NC 390

DADOS DOS TRUQUES

TIPO:	HI-AD	CLASSE:	(0660) C-C
AJUSTADOR AUTOM. FOLGA:	MANUAL		
TIPO DE RODAS:	DIÂMETRO: 1.066,8mm (40 pol.)		
MANGA DOS EIXOS:	6 1/2 x 12"		
TIPO DE MANCAIS:	CARTUCHO GG 6 1/2 x 12" AP		
RELAÇÃO DE ENGENHAGENS:	87:16		
CAPACIDADE AREIROS:	1246m ³	SAPATAS:	FENÓLICAS
CILINDROS DE FREIO:	9" x 8"		

DADOS DO MOTOR DIESEL

FABRICANTE:	G.E. (USA)
Nº DE CÁTALOGO:	
MODELO:	7 FDL 16
Nº DE CILINDROS:	16
DISPOSIÇÃO DOS CILINDROS:	45° - "V"
DIÂMETRO DOS CILINDROS:	250mm
CURSO DOS ÊMBÓLOS:	320mm
REGIME MÁXIMO:	1050rpm
MARCA EM VAZIO:	335rpm
POTÊNCIA MÁXIMA:	4500hp
PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:	4 TEMPOS
SOBREALIMENTAÇÃO:	TURBO
REFRIGERAÇÃO:	ÁGUA
INJEÇÃO:	ELETRÔNICA

DADOS DOS ACUMULADORES

FABRICANTE:	
TIPO:	
MODELO:	
TENSÃO:	72V
CAPACIDADE:	

DADOS DO TURBO ALIMENTADOR

FABRICANTE:	G. E.
MODELO:	7 S 1716

DADOS DO MOTOR DE TRACÇÃO

FABRICANTE:	G.E.
Nº DE CÁTALOGO:	
MODELO:	5 GE B13
TIPO:	A C
INTENSIDADE MÁXIMA / 15min:	CONTÍNUA:
QUANTIDADE POR LOCOMOTIVA:	6

DADOS DO COMPRESSOR

FABRICANTE:	WABCO
Nº DE CÁTALOGO:	
MODELO:	3CDC LA
TIPO:	6
CAPACIDADE:	6,70m ³ /min. (236 cfm)
SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO:	AR

DADOS DO GERADOR PRINCIPAL

FABRICANTE:	G. E.
Nº DE CÁTALOGO:	
MODELO:	GE 5GMG 192 M1
Nº DE POLOS:	72V
TENSÃO NOMINAL (C. C.):	
POTÊNCIA MÁXIMA:	3.357kw

OBSERVAÇÕES

DESENHO Nº	DESENHISTA	VISTO
	BRAMBILLA	
ESCALA	DATA	REVISÕES
1 : 100	15/06/2010	

A frota de vagões que opera nesse trecho é composta por diferentes classificações, sendo Q, R, S e T, onde estas letras determinam o peso bruto suportado pelo vagão como pode ser visualizado no Quadro 6.

QUADRO 6 - MODELOS DE VAGÕES

Classificação do Vagão	Peso total vagão carregado
Q	64
R	80
S	100
T	130

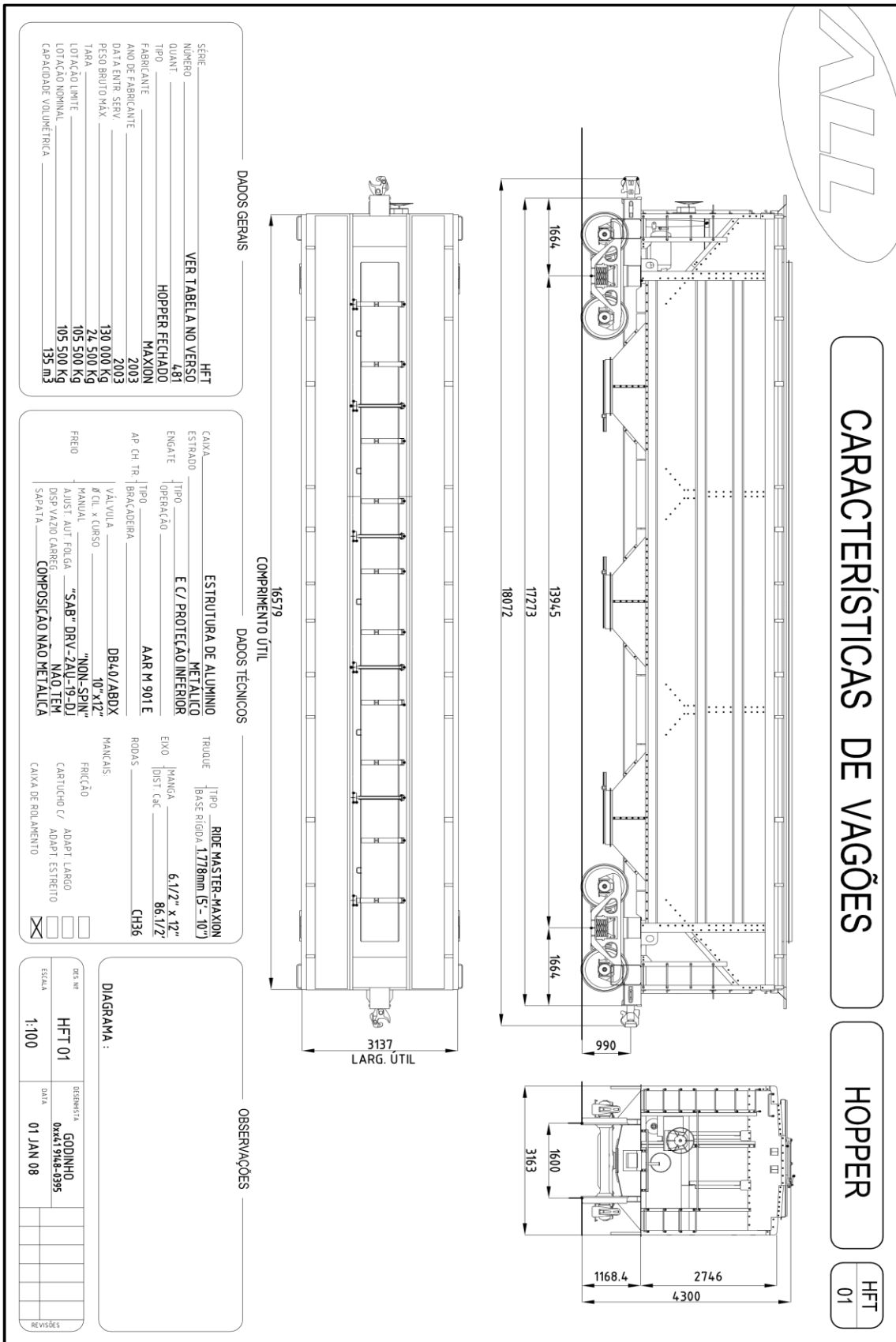
Fonte: Empresa América Latina Logística, 2015.

Uma composição com essas características atualmente está limitada a uma lotação máxima de 8800 toneladas brutas (TB), que está relacionada diretamente com a capacidade de frenagem do trem a uma metragem de 1510 metros. Essa restrição de comprimento está diretamente vinculada ao menor pátio de cruzamento.

Como o trecho abordado nesse trabalho consiste em uma estrada de ferro, que em sua maioria é singela (única) e o movimento se dá em ambos os sentidos, em determinados pontos existe uma duplicação da malha (pátios de cruzamento) onde um dos trens tem de permanecer parado até que o trem que está circulando no sentido contrário realize o cruzamento.

Essas atividades são geridas pelo Centro de Controle Operacional (CCO). A frota de vagões da empresa na qual o estudo foi realizado é representada em sua maioria por vagões HFT, com aproximadamente 85% desse modelo e os outros 15% são divididos de acordo com o quadro acima. A figura 9 ilustra um vagão do tipo HFT.

FIGURA 8 – CARACTERÍSTICAS DO VAGÃO HFT



Fonte: Empresa América Latina Logística, 2015.

Com base nesses limitantes, foram levantados os dados reais das composições atuais, e foram observadas duas situações que influenciam diretamente o cenário atual na lotação de trens:

1º- A capacidade de frenagem atual dos vagões, que compõem junto com as locomotivas o sistema de frenagem do trem.

2º- O peso e comprimento reais dos trens.

Ao realizarmos um levantamento detalhado sobre os ativos da companhia, notou-se que desde 2010 começaram ser feitas aquisições de novos vagões na busca de renovação da frota. Então, fez-se um levantamento buscando identificar qual era a classificação dos novos vagões, concluindo-se que são do tipo (HFT-534).

Os vagões da frota (HFT-534) apresentam uma Relação de Alavancas de nível 8,8 de acordo com a Quadro 5, o que confere aos mesmos uma maior capacidade de frenagem. O próximo passo foi determinar qual era a atual representatividade dos vagões do tipo (HFT-534) na frota de vagões que opera na bitola larga.

Assim realizou-se um inventário que concluiu que hoje existem 6.069 vagões circulando no trecho estudado e que desse total 2.972 correspondem a frota 534. Comprovando que nos últimos 4 anos, os vagões da frota 534 que possuem uma maior capacidade de frenagem passaram a ter uma maior representatividade na frota total, passando de aproximadamente de 30% para 49%, baseados nos dados acima descritos e na busca de se obter um ganho lotação surgiu a proposta de se alterar o processo de formação de trens buscando garantir que todos os trens que são formados em Rondonópolis ou em Alto Araguaia tenham em sua composição aproximadamente em 40 vagões da frota 534, e assim proporcionar um aumento na capacidade de lotação, aumentando a capacidade de produção. A segunda situação, a qual comparamos os dados reais dos trens conforme Tabela 1 .

TABELA 1 – COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS DOS TRENS

Dados	Padrão	Real	Δ %	Δ Gap
Capacidade de Tração (TB)	8.800	8.550	97,2%	-250
Limite de Comprimento (Mts)	1.470	1.390	94,6%	-80

Fonte: O autor, 2015.

Por meio dos dados coletados, pode-se observar que, hoje na média, as composições atuais não atingem ambos os requisitos máximos de capacidade tanto para capacidade de tração como para comprimento de pátio. Com o novo modelo de trem que tem em sua formação 40 vagões da frota 534 e utilizando a fórmula de lotação de trem descrita anteriormente, concluímos que podemos aumentar a TB máxima de 8800 toneladas brutas para 9255 toneladas brutas.

Utilizando as fórmulas descritas anteriormente para cálculo de lotação foi elaborada a Tabela 2, que descreve o ganho de tonelagem bruta ao se acrescentar um vagão da frota 534 à composição.

TABELA 2 - GANHO DE TONELAGEM BRUTA COM O ACRÉSCIMO DE UM VAGÃO DA FROTA 534 À COMPOSIÇÃO.

540	1AC 44 + 1C30 Paratinga 11 psi Ra 6,0 para 8,8														
	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
0	7.127	7.206	7.284	7.363	7.442	7.520	7.599	7.677	7.756	7.834	7.838	7.916	7.995	8.074	8.152
1	7.164	7.242	7.321	7.399	7.478	7.556	7.635	7.714	7.792	7.871	7.874	7.953	8.031	8.110	8.189
2	7.200	7.278	7.357	7.436	7.514	7.593	7.671	7.750	7.828	7.907	7.911	7.989	8.068	8.146	8.225
3	7.236	7.315	7.393	7.472	7.550	7.629	7.708	7.786	7.865	7.943	7.947	8.025	8.104	8.183	8.261
4	7.272	7.351	7.430	7.508	7.587	7.665	7.744	7.823	7.901	7.980	7.983	8.062	8.140	8.219	8.298
5	7.309	7.387	7.466	7.544	7.623	7.702	7.780	7.859	7.937	8.016	8.020	8.098	8.177	8.255	8.334
6	7.345	7.424	7.502	7.581	7.659	7.738	7.817	7.895	7.974	8.052	8.056	8.134	8.213	8.292	8.370
7	7.381	7.460	7.538	7.617	7.696	7.774	7.853	7.931	8.010	8.089	8.092	8.171	8.249	8.328	8.407
8	7.418	7.496	7.575	7.653	7.732	7.811	7.889	7.968	8.046	8.125	8.129	8.207	8.286	8.364	8.443
9	7.454	7.532	7.611	7.690	7.768	7.847	7.925	8.004	8.083	8.161	8.165	8.243	8.322	8.401	8.479
10	7.490	7.569	7.647	7.726	7.805	7.883	7.962	8.040	8.119	8.198	8.201	8.280	8.358	8.437	8.516
11	7.526	7.605	7.684	7.762	7.841	7.919	7.998	8.077	8.155	8.234	8.238	8.316	8.395	8.473	8.552
12	7.563	7.641	7.720	7.799	7.877	7.956	8.034	8.113	8.192	8.270	8.274	8.353	8.431	8.510	8.588
13	7.599	7.678	7.756	7.835	7.913	7.992	8.071	8.149	8.228	8.307	8.310	8.389	8.467	8.546	8.625
14	7.635	7.714	7.793	7.871	7.950	8.028	8.107	8.186	8.264	8.343	8.347	8.425	8.504	8.582	8.661
15	7.672	7.750	7.829	7.907	7.986	8.065	8.143	8.222	8.301	8.379	8.383	8.462	8.540	8.619	8.697
16	7.708	7.786	7.865	7.944	8.022	8.101	8.180	8.258	8.337	8.416	8.419	8.498	8.577	8.655	8.734
17	7.744	7.823	7.901	7.980	8.059	8.137	8.216	8.295	8.373	8.452	8.456	8.534	8.613	8.691	8.770
18	7.780	7.859	7.938	8.016	8.095	8.174	8.252	8.331	8.410	8.488	8.492	8.571	8.649	8.728	8.806
19	7.817	7.895	7.974	8.053	8.131	8.210	8.289	8.367	8.446	8.525	8.528	8.607	8.686	8.764	8.843
20	7.853	7.932	8.010	8.089	8.168	8.246	8.325	8.404	8.482	8.561	8.565	8.643	8.722	8.801	8.879
21	7.889	7.968	8.047	8.125	8.204	8.283	8.361	8.440	8.519	8.597	8.601	8.680	8.758	8.837	8.916
22	7.926	8.004	8.083	8.162	8.240	8.319	8.398	8.476	8.555	8.633	8.637	8.716	8.795	8.873	8.952
23	7.962	8.040	8.119	8.198	8.276	8.355	8.434	8.512	8.591	8.670	8.674	8.752	8.831	8.910	8.988
24	7.998	8.077	8.155	8.234	8.313	8.391	8.470	8.549	8.627	8.706	8.710	8.789	8.867	8.946	9.025
25	8.034	8.113	8.192	8.270	8.349	8.428	8.506	8.585	8.664	8.742	8.746	8.825	8.904	8.982	9.061
26	8.071	8.149	8.228	8.307	8.385	8.464	8.543	8.621	8.700	8.779	8.783	8.861	8.940	9.019	9.097
27	8.107	8.186	8.264	8.343	8.422	8.500	8.579	8.658	8.736	8.815	8.819	8.898	8.976	9.055	9.134
28	8.143	8.222	8.301	8.379	8.458	8.537	8.615	8.694	8.773	8.851	8.855	8.934	9.013	9.091	9.170
29	8.180	8.258	8.337	8.416	8.494	8.573	8.652	8.730	8.809	8.888	8.892	8.970	9.049	9.128	9.206
30	8.216	8.295	8.373	8.452	8.531	8.609	8.688	8.767	8.845	8.924	8.928	9.007	9.085	9.164	9.243
31	8.252	8.331	8.410	8.488	8.567	8.646	8.724	8.803	8.882	8.960	8.964	9.043	9.122	9.200	9.279
32	8.288	8.367	8.446	8.525	8.603	8.682	8.761	8.839	8.918	8.997	9.001	9.079	9.158	9.237	9.315
33	8.325	8.403	8.482	8.561	8.640	8.718	8.797	8.876	8.954	9.033	9.037	9.116	9.194	9.273	9.352
534	1AC 44 + 1C30 Paratinga 11 psi Ra 6,0 para 8,8														
	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
34	8.361	8.440	8.518	8.597	8.676	8.755	8.833	8.912	8.991	9.069	9.073	9.152	9.231	9.309	9.388
35	8.397	8.476	8.555	8.633	8.712	8.791	8.870	8.948	9.027	9.106	9.110	9.188	9.267	9.346	9.424
36	8.434	8.512	8.591	8.670	8.748	8.827	8.906	8.985	9.063	9.142	9.146	9.225	9.303	9.382	9.461
37	8.470	8.549	8.627	8.706	8.785	8.863	8.942	9.021	9.100	9.178	9.182	9.261	9.340	9.418	9.497
38	8.506	8.585	8.664	8.742	8.821	8.900	8.978	9.057	9.136	9.215	9.219	9.297	9.376	9.455	9.533
39	8.542	8.621	8.700	8.779	8.857	8.936	9.015	9.094	9.172	9.251	9.255	9.334	9.412	9.491	9.570
40	8.579	8.657	8.736	8.815	8.894	8.972	9.051	9.130	9.209	9.287	9.291	9.370	9.449	9.527	9.606

Fonte: O autor, 2015.

Fazendo um link com a tabela dos dados reais temos uma oportunidade em relação ao comprimento do trem, pois sua capacidade total não está sendo atingida, o que possibilita um aumento no comprimento do trem, visto a inserção de mais vagões, possibilitando um aumento de comprimento do trem em 80,5 metros, o que representa em número de vagões um aumento de 4,59. Devido vagões ser medido apenas em quantidades inteiras é feito um arredondamento e assim considerado um ganho real de 4 vagões por trem.

$$80m \div 17,42 \text{ media de metragem por vagão} \\ = 4,59 \text{ vagões} \xrightarrow{\text{arredondamento}} 4 \text{ vagões}$$

	Antes -	Depois
Qtd Vgs	534 24	40
Lotação	8.800	9.255

Assim os trens podem passar da lotação média atual de 8.550 conforme ilustrado abaixo:

Ganho Esperado	Antes -	Depois
Lotação	8.550	8.978
Metragem	80	84

Esse ganho esperado de tonelada bruta pode ser representado financeiramente conforme equação abaixo.

$$\text{Ganho Esperado por Trem } R\$ = 429 \text{ tb} \xrightarrow{tb > tu} 286 \text{ tu} \times 200 \frac{\text{reais}}{\text{tu}} \\ = 57.176,10 \text{ reais}$$

Considerando os dados de número de trens médios por dia, e que a operação ferroviária funciona podemos esperar que o ganho se estenda ao longo do tempo. Assim, teremos:

$$\text{Ganho potencial} = 57.176,10 \times 8 \text{ trens dia} \times 365 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \\ = \mathbf{R\$ 166.954.212,00}$$

Outra oportunidade de ganho foi observada na tarifa praticada. Atualmente a tarifa cobrada é tabelada por fluxo de origem, destino e independe do produto que será transportado. Isso significa que os preços cobrados sofrem uma variação, levando-se em consideração a distância dos terminais de carregamento no Mato Grosso até porto de Santos. O valor do frete é cobrado por tonelada útil transportada, assumindo-se assim uma mesma tarifa para 3 tipos diferentes de produtos. Porém, os produtos que são transportados apresentam densidades diferentes sendo eles milho, soja e farelo.

Produto	Farelo Soja	Milho Granel	Soja Granel
Densidade	0,64	0,79	0,76

A diferença na densidade dos produtos faz com que a lotação do vagão apresente uma variação de peso. Assim o vagão é lotado por volume e não atinge o peso máximo especificado pelos cálculos de força de frenagem do trem ou esforço trator das locomotivas.

Quando consideramos essa variação de peso, concluímos que a diferença em volume entre os produtos soja e milho são pouco expressivas, e isso se deve a proximidade nos valores das densidades desses dois produtos. Porém quando comparamos a variação no volume entre soja e farelo ou milho e farelo observamos que a variação é de fato expressiva e corresponde a 10,75 (TU) por vagão.

A Tabela 3 demonstra essa variação de volume por produto. Como as densidades de soja e milho são muito parecidas, assim foi assumida a mesma densidade para os dois produtos.

TABELA 3 – VARIAÇÃO DE TONELADA ÚTIL DO PRODUTO POR VAGÃO

Produto	Tu Média/Vagão
Farelo	70,31
Soja/Milho	81,06
Delta TU	-10,75
Delta Densidade %	-13,3%

Como pode-se observar, a Tabela 3 demonstra que quando se compara a densidade de soja ou milho com a densidade do farelo ocorre uma variação de 13,3%. Essa diferença representa uma variação na Tonelada Útil (TU) transportada que corresponde a 10,75 (TU) por vagão.

Com isso algumas considerações se tornam necessárias. Levando-se em consideração que o custo operacional que engloba o consumo de diesel, manutenção dos ativos e remuneração da equipe que estará envolvida no processo de transporte apresentará variações insignificantes, se o carregamento do vagão atingir o volume máximo calculado seguindo as premissas de lotação, isso acarreta em um custo de oportunidade.

A tarifa praticada se mostra deficiente, pois da maneira como esta vem sendo aplicada sem diferenciação de produto, significa subutilizar um ativo tendo em vista que os custos operacionais serão os mesmos. Comprovado que essa variação de TU entre os produtos descritos é expressiva, foram realizados cálculos buscando quantificar a oportunidade de ganho se for aplicada uma tarifa diferenciada para o farelo, levando em consideração sua densidade Assim partindo-se de uma premissa que o ativo quando faz o transporte do farelo não consegue atingir a mesma lotação de um vagão carregado com soja ou milho, e assumindo que a tarifa praticada pelo milho e a soja seja a tarifa justa, ou seja, é baseada nos gastos envolvidos no transporte.

Temos um custo de oportunidade perdido no momento que optamos pelo carregamento do farelo ao invés da soja e/ou do milho. Dessa maneira é proposta uma reformulação no cálculo da tarifa cobrada para o transporte do farelo com base no que seria a tarifa cobrada por um vagão carregado com soja/milho, utilizando a tarifa por Tonelada Útil (TU) mínima cobrada no ano. Assim temos:

TABELA 4 - VARIAÇÃO DA RECEITA POR VAGÃO (SOJA, MILHO X FARELO).

Origem	Tarifa R\$/TU	Tu Média Soja/Milho	Tu Média Farelo	Receita por Vagão Soja/Milho	Receita por Vagão Farelo	Δ R\$ Entre Produtos
Rondonópolis	158,70	81,06	70,31	12.864,06	11.157,85	-1.706,21
Alto Araguaia	119,60	81,06	70,31	9.694,65	8.408,82	-1.285,84

Fonte: O autor, 2015.

Como indicado na Tabela 4, a variação de receita quando comparamos um vagão que está carregado com soja ou milho com um vagão que está carregado com farelo representa uma variação média de receita de R\$ 1706,21. Quando a origem do mesmo é o terminal de Rondonópolis é de R\$ 1.285,84 quando a origem do vagão é o terminal de Alto Araguaia. Isso se deve à variação de (TU) média nos vagões.

Assim foi feito um recálculo da tarifa do farelo, levando-se em consideração a receita gerada por vagão. Como é representado na Tabela 5.

Tabela 5 - Sugestão de tarifa para o farelo.

Origem	Tarifa R\$/TU Atual Mín	Receita por Vagão Soja/Milho	Tu Média Farelo	Tarifa R\$/TU Proposta	% Aumento Tarifa R\$/TU
Rondonópolis	158,70	12.864,06	70,31	182,97	15,29%
Alto Araguaia	119,60	9.694,65	70,31	137,89	15,29%

Fonte: O autor, 2015.

Como pode ser observado na projeção abaixo para que ocorra uma compensação na menor capacidade de carregamento nos vagões de farelo se faz necessário um acréscimo de 15,29% na tarifa cobrada por Tonelada Útil desse produto, dessa maneira eliminando a diferença de volume que é gerada pela diferença de densidade dos produtos.

Assim, considerando essa nova tarifa que foi definida para o transporte de farelo pode ser realizar algumas projeções de ganhos levando em consideração a demanda prevista para o ano de 2015. A demanda e os ganhos previstos são demonstrados a seguir.

Ganho Potencial para o 1º Semestre de 2015						
Origem	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Rondonópolis	738.957	4.377.706	5.666.035	5.635.073	4.699.991	1.235.742
Alto Araguaia	5.621.931	4.228.234	4.620.255	4.480.248	4.312.238	7.105.462
Valores em R\$	6.360.889	8.605.940	10.286.290	10.115.320	9.012.230	8.341.204
Ganho Potencial para o 2º Semestre de 2015						
Origem	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rondonópolis	1.135.158	4.082.278	4.644.291	4.365.633	3.931.791	812.853
Alto Araguaia	6.548.171	3.836.212	3.780.209	3.444.190	3.248.180	4.736.802
Valores em R\$	7.683.329	7.918.490	8.424.500	7.809.824	7.179.970	5.549.655

Ganho potencial anual	
Origem	Anual
Rondonópolis	41.325.508
Alto Araguaia	55.962.133
Valor em R\$	97.287.641

Como pode se observar existe uma grande oportunidade de ganho se o cálculo da tarifa for reformulado levando-se em consideração o custo de oportunidade ao se optar pelo transporte de farelo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou aprofundar os conhecimentos sobre os modais de transportes no cenário nacional enfatizando a representatividade de cada modal, fazendo um paralelo com países desenvolvidos e que possuem uma extensão territorial similar a do Brasil, evidenciando assim que o transporte de produtos com baixo valor agregado, em grandes quantidades e por longas distâncias tem como melhor opção de escolha o modal ferroviário. Assim a pesquisa seguiu algumas diretrizes.

A malha ferroviária brasileira se estende por várias regiões e tem como destino de exportação diferentes portos. Assim, cada trecho da malha apresenta características e restrições próprias. Portanto, para melhor mensurar os atores que influenciam o tempo de transporte e a formação das composições, o estudo se restringiu-se ao corredor da companhia que possui uma maior representatividade no quesito volume transportado sendo um dos principais responsáveis pela exportação de grãos do Brasil.

Desta forma, fez-se o mapeamento desse corredor mensurando o tempo de percurso e as distâncias entre cada trecho. Por meio desse levantamento encontraram-se oportunidades de melhoria. Para uma melhor compreensão do funcionamento do sistema de transporte e como a programação de trens era realizada agendou-se uma reunião com o departamento de planejamento e controle da produção na sede da empresa onde sucedeu-se o estudo de caso. Notou-se que existiam dois fatores que eram cruciais e limitantes para formação de trem que partia de Rondonópolis, sendo eles o peso total do trem e o seu comprimento.

Dessa maneira, notou-se que os trens formados atualmente não estavam atingindo o comprimento máximo permitido que tem como restrição o menor pátio de cruzamento entre o terminal de Rondonópolis no Mato Grosso e o Porto de Santos em São Paulo. Seguindo essa linha buscou-se atacar a outra restrição, ou seja, o peso máximo do trem. Foi então realizado um levantamento buscando evidenciar quais eram os limitadores para o peso do trem.

Portanto, constatou-se que o cálculo do peso trem era baseado na força de frenagem, e que essa por sua vez tinha relação direta com o tipo de vagão que estava presente na composição do trem, mais precisamente com a relação de alavancas do sistema de freio dos vagões. Dessa maneira percebeu-se que na frota de vagões existiam vagões que possuíam um sistema de frenagem com maior fator de relação de alavancas os vagões do tipo HFT.

A partir daí calculou-se a representatividade desse tipo de vagão na frota chegando ao número de aproximadamente 49%. Assim, por meio de cálculos de força de frenagem propôs-se uma nova formação de trem, no qual se aumenta o número de vagões de 80 para 84, fazendo com que o peso bruto permitido do trem passasse de 8800t para 9255t, o que gerou uma oportunidade de ganho de 286 toneladas úteis por trem, que se multiplicadas pela tarifa média prática representam um ganho de R\$57.176,10.

Considerando-se a demanda do ano de 2015, chegou-se a um número de 8 trens formados por dia, estendendo o cálculo para o ano todo o valor de oportunidade de ganho chega a R\$ 166.954.212,00.

A outra análise que foi realizada, foi sobre a tarifa praticada. O modelo de cálculo proposto no trabalho que se baseia na densidade do produto apresenta uma oportunidade de ganho que pode chegar à aproximadamente R\$97.287.641,00.

O presente trabalho reuniu dados que buscam auxiliar na compreensão do transporte ferroviário brasileiro identificando atores que influenciam a produção.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A.C., NOVAES, A.G.N. **Logística aplicada** - suprimento e distribuição física. 3.Ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2000.

AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA. Disponível em: http://ri.all-logistica.com/all/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=27. Acesso em: 20/12/14

ANDRADE, A.; KASPER, H. Pensamento sistêmico e modelagem computacional: aplicação prática na empresa de trens urbanos de Porto Alegre-TRENSURB. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 1997. **Anais**. Porto Alegre, ENEGEP, 1997. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1997_t5112.pdf. Acesso em: 21/12/15.

BALLOU, R.H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. Atlas: 1993.

BANKS, J. Introduction to simulation. Proceedings of the 31st Conference on Winter simulation: Simulation- a bridge to the future-Volume 1. ACM, 1999.

BERGLUND, M. *et al.* Third-party logistics: is there a future? **The International Journal of Logistics Management**, v.10, n.1, p. 59-70, 1999.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Programa de Investimentos em Logística. **Produtos transportados nas ferrovias brasileiras**. Disponível em: http://pilferroviass.annt.gov.br/index.php/content/view/full/1312/Produtos_Transportados_nas_Ferrovias_Brasileiras.html. Acesso em: 10/01/15.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.; COOPER, M.B. **Supply chain logistics management**. New York: McGraw-Hill, 2002.

CAMARGO, P.V. **Análise de um sistema de transporte ferroviário de granéis agrícolas através de uma abordagem integrada simulação-otimização**. 102f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2010.

CARSON, J.S. Introduction to modeling and simulation. Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter. IEEE, 2005.

CASTRO, N.R. **Logistic Costs and Brazilian Regional Development**. The World Bank: 2004.

CRAINIC, T.D. Long-haul freight transportation. In: Hall, R.W.(Ed.). **Handbook of Transportation Science**. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1999.

COLMANETTI, M. S. **Modelagem de sistemas de manufatura orientada pelo custeio das atividades e processos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

CHRISTOPHER, M. **Logistics and supply chain management**: Strategies for reducing cost and improving service. Financial times: Pitman, 1998.

DEMARIA, M. **O operador de transporte multimodal com fator de otimização da logística**. 86f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

FIGUEIREDO, K.F.; MORA, D.M. A segmentação dos operadores logísticos no mercado brasileiro de acordo com suas capacitações para oferecer serviços. **RAC- Eletronica**, v.3, n.1, p. 123-141, 2000.

FIORONI, M.M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil**: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições. 461f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2007.

FLEURY, P.F.; RIBEIRO, A. F. M. A indústria de provedores de serviços logísticos no Brasil. *In*: FIGUEIREDO, K.F.; FLEURY, P.F.; WANKE, P. **Logística e gerenciametoda cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo e dos recursos**. São Paulo: Atlas, 2003. p. 302-312.

FLEURY, P.F. Vantagens competitivas e estratégicas do uso de operadores logísticos. *In*: FLEURY, P.F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K.F. **Logística Empresarial**: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2000. p. 133-142.

FORRESTER, J.W. System dynamics, systems thinking, and soft OR. **System Dynamics Review**, v.10, n 2-3, p. 245-256, 1994.

GARDNER, R.W.; JOHNSON, C.L. **Third-party logistics**. The Logistics Handbook, 1994. 954 p.

GOMES, C.; RIBEIRO, P. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação**. São Paulo: Thomson, 2004.

HERTZ, S.; ALFREDSSON, M. Strategic development of third party logistics providers. **Industrial marketing management** 32.2 (2003): 139-149.

HESSE, M.; RODRIGUE, J.P. The transport geography of logistics and freight distribution. **Journal of transport geography**, 12(3), 171-184, 2004.

IAÑEZ, M.M.; CUNHA, C.B. Uma metodologia para seleção de um provedor de serviços logísticos. **Revista Produção**, v.16, n.3, p.394-412, SET.-DEZ.2006.

INGALLS, R.G. Introduction to simulation. *In*: **Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation**. Winter Simulation Conference, 2008. p. 17-26.

KEEDI, S. **INCOTERMS 2010 para 2011**. Sem fronteiras: Aduaneiras, 2010.

KIRKWOOD, C.W. **System Dynamics Methods**. A quick introduction. Arizona State University, 2001.

LIEB, R.C.; RANDALL, H.L. A comparison of the use of third-party logistics services by large american manufacturers. **Journal of Business Logistics**, v.17,n. 1, 1996.

_____. RANDALL, H.L. A comparison of the use of Third-party Logistics Services by Large American Manufacturers. **Journal of Business Logistics**, v.17, n.1. Logistics Handbook, 1994. 954 p.

LUNA-REYES, L.F.; ANDERSEN, D.L. Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models. **System Dynamics Review**, n.19, p.271-296, 2003.

MARCONI, M.D.A.; LAKATOS, E.M. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2004.

MARÇAL, L.M. Sistemas dinâmicos. *In*: XVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2012. **Anais**. Curitiba, SICITE, 2012.

NOVAES, A.G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3.Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001

RIBEIRO, P.C.C.; FERREIRA, K.A. **Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro**. *In*: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 22. Curitiba, 2002.

RODRIGUES, P.R.A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e a logística internacional**. São Paulo: Aduaneiras, 1999.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4.Ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

STERMAN, J.D. System dynamics modeling. **California management review**, v.43, n.4, p. 8-25, 2001.

VENTURA, M.M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Rev. SOCERJ**. 2007; 20(5): 383-386. Disponível em: http://unisc.br/portal/upload/com_arquivo/o_estudo_de_caso_como_modalidade_de_pesquisa.pdf. Acesso em: 20/02/15.

VIRUM, H. Third party logistics development in Europe. **Logistics and Transportation Review**. 1993; 29(4): 335-361.

ZAMCOPÉ, F.C. *et al.* Modelo para avaliar o desempenho de operadores logísticos: um estudo de caso na indústria têxtil. **Gestão&Produção**. 2010; 17(4): 693-705.

Anexo- Mapeamento dos fluxos Rondonópolis a Santos

Neste anexo encontram-se os detalhes dos atores que foram mapeados que tem influencia no tempo de deslocamento do terminal de Rondonópolis no Mato Grosso até o Porto de Santos em São Paulo.

