

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA: ÊNFASE EM
TRANSPORTES**

**DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SOJA
ATRAVÉS DO MODAL FERROVIÁRIO, COM ORIGEM NO TERMINAL
INTERMODAL DE PEDERNEIRAS E COM DESTINO AO PORTO DE
SANTOS.**

ANTONIO DANTAS BASÍLIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC - Faculdade de Tecnologia de
Botucatu, para obtenção do título de Tecnólogo
em Curso de Logística: ênfase em transportes.

BOTUCATU-SP

Junho – 2005

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA: ÊNFASE EM
TRANSPORTES

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SOJA
ATRAVÉS DO MODAL FERROVIÁRIO, COM ORIGEM NO TERMINAL
INTERMODAL DE PEDERNEIRAS E COM DESTINO AO PORTO DE
SANTOS.

ANTONIO DANTAS BASÍLIO

Orientador: Prof. M.S. Érico Daniel Ricardi Guerreiro

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC - Faculdade de Tecnologia de
Botucatu, para obtenção do título de Tecnólogo
em Curso de Logística: ênfase em transportes.

BOTUCATU-SP

Junho – 2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela graça da vida, por guiar meus passos, pela minha família, e por todos os bons amigos que ele colocou no meu caminho, entre as muitas dádivas recebidas.

Agradeço aos meus pais Eunice e João, pela educação recebida, pelos bons exemplos, pelo apoio e incentivo dado em todos os momentos da vida, assim como a meus irmãos; Arnaldo, Altino, João e Júlia, todos sempre a me auxiliar e incentivar.

Agradeço ao meu orientador professor Érico Guerreiro pela dedicação, apoio e paciência demonstradas durante a execução desse projeto, sem as quais esse trabalho não teria sido concluído. Agradeço também a todos os meus outros professores, desse e de outros cursos realizados, e que contribuíram na minha formação, assim como aos funcionários dessas instituições de ensino.

Agradeço ao Sr. Jorge Saad, engenheiro da Brasil Ferrovias, pelo valioso auxílio prestado para a execução desse trabalho.

Agradeço aos meus colegas do colégio e da faculdade, de todas as turmas, mas, principalmente aos da 1º turma de logística.

Agradeço aos meus colegas de trabalho da CPFL, que me apoiaram e ajudaram durante todo o curso, e que tornaram possível que eu pudesse obter mais essa vitória, na impossibilidade de citar todos citarei os meus dois valorosos colegas de equipe Luís e Joel, trabalhar com vocês é um orgulho e uma honra.

E agradeço a todas as outras pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para esse trabalho.

O autor

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Locomotivas diesel-elétricas.....	20
Figura 2 – Vagão gôndola GDT.....	23
Figura 3 – Vagão <i>hopper</i> HFT.....	24
Figura 4 – Vagão tanque TCT.....	24
Figura 5 – Locomotiva diesel-elétrica C 30-7.....	40
Figura 6 – <i>Hopper</i> HFT	41
Figura 7 – Locomotiva <i>Dash 9</i>	65

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Classificação dos vagões.....	26
Tabela 2 Peso bruto máximo de acordo com a bitola.....	27
Tabela 3 Coeficientes de aderência.....	31
Tabela 4 Valores da constante aerodinâmica e área frontal.....	32
Tabela 5 Características do percurso ferroviário entre Santos e Pederneiras.....	38
Tabela 6 Características da locomotiva C 30-7.....	40
Tabela 7 Características do vagão HFT.....	42
Tabela 8 Velocidade X força motriz.....	43
Tabela 9 Resistência X velocidade para vagão carregado.....	45
Tabela 10 Resistência X velocidade para vagão vazio.....	46
Tabela 11 Resistência X velocidade para locomotiva.....	47
Tabela 12 Resistência aerodinâmica X velocidade do vagão.....	48
Tabela 13 Resistência aerodinâmica X velocidade da locomotiva.....	49
Tabela 14 Resistências totais de locomotiva.....	50
Tabela 15 Resistências totais dos vagões.....	51

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	X
I. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos.....	12
1.2 Justificativa.....	12
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 O sistema de transporte ferroviário.....	13
2.2 Via Permanente.....	14
2.2.1 Bitola da via.....	15
2.2.2 Comprimento dos trechos.....	15
2.2.3 Comprimento dos desvios de cruzamento.....	15
2.2.4 Capacidade de carga por eixo.....	15
2.2.5 Rampa máxima.....	15
2.2.6 Rampa máxima compensada.....	16
2.2.7 Raio mínimo de curva.....	16
2.2.8 Tempos médios de percurso.....	16
2.2.9 Gabarito da via.....	16
2.3 licenciamento.....	17
2.4 Capacidade de tráfego ferroviário.....	18
2.5 Material rodante.....	18
2.5.1 Locomotivas.....	19
2.5.1.1 Locomotivas elétricas.....	19
2.5.1.2 Locomotivas diesel-elétricas.....	19
2.5.2 Principais características das locomotivas diesel-elétricas.....	20
2.5.2.1 Potência bruta.....	20
2.5.2.2 potência nominal.....	21

2.5.2.3 Potência efetiva.....	21
2.5.2.4 Peso aderente.....	21
2.5.2.5 Velocidades mínima e máxima.....	21
2.5.2.6 Dimensões.....	22
2.5.2.7 Características dos truques.....	22
2.5.3 Vagões.....	22
2.6 Terminais.....	27
2.7 Determinação do trem-tipo.....	28
2.8 Mecânica de locomoção de veículos ferroviários.....	29
2.8.1 Velocidade de equilíbrio.....	29
2.8.2 Força tratora.....	29
2.8.3 Força tratora máxima.....	30
2.8.4 Resistência ao rolamento.....	31
2.8.5 Resistência aerodinâmica.....	32
2.8.6 Resistência de rampa.....	32
2.8.7 Resistência de curva.....	33
2.8.8 Capacidade de reiniciar o movimento em uma rampa ascendente.....	33
2.8.9 Capacidade de carga máxima dos engates.....	34
III. ESTUDO DE CASO.....	35
3.1 Considerações iniciais.	35
3.2 Modelo proposto.....	36
3.3 Caracterização da via.....	36
3.4 caracterização do material rodante.....	39
3.4.1 locomotivas.....	39
3.4.2 Vagões.....	41
3.5 Determinação do trem-tipo.....	42
3.5.1 Análise dos desvios de cruzamento e determinação inicial do número de vagões a formarem o trem.....	42

3.5.2 Cálculo da força motriz.....	43
3.5.3 Cálculo da força motriz máxima em função da aderência.....	44
3.5.4 Cálculo das resistências de vagões e locomotivas.....	44
3.5.4.1 Cálculo das resistências ao rolamento.....	44
3.5.4.1.1 Cálculo das resistências ao rolamento do vagão.....	44
3.5.4.1.2 Cálculo das resistências ao rolamento da locomotiva.....	46
3.5.4.2 Cálculo da resistência aerodinâmica de vagão e locomotiva.....	47
3.5.4.3 Cálculo das resistências de rampa.....	49
3.5.4.4 Resistências totais de vagões e locomotivas.....	50
3.5.5 Cálculo do número de locomotivas.....	51
3.5.5.1 Cálculo do número de locomotivas e vagões.....	51
3.5.5.1.1 Sentido exportação (vagões carregados, rampa de 1,8%).....	52
3.5.5.1.2 Sentido importação (vagões vazios, rampa de 2,2%).....	52
3.5.5.2 Cálculo da carga máxima nos engates.....	53
3.5.5.2.1 Sentido exportação.....	53
3.5.5.2.2 Sentido importação.....	53
3.5.5.3 Cálculo da capacidade de reiniciar o movimento na rampa ascendente....	53
3.5.5.3.1 Sentido exportação (vagões carregados, rampa de 1,8%).....	53
3.5.5.3.2 Sentido importação (vagões vazios, rampa de 2,2%.....	54
3.5.5.4 Comprimento do trem-tipo.....	54
3.5.6 Trem tipo dimensionado.....	55
3.6 Determinação da capacidade de tráfego.....	55
3.6.1 Cálculo da capacidade de tráfego.....	56
3.7 Determinação da capacidade de transporte.....	56
3.7.1 Cálculo da capacidade de transporte diária.....	56
3.7.2 Cálculo da capacidade de transporte mensal.....	57
IV. CONCLUSÕES.....	58

4.1 Resultados.....	58
4.2 Análise da capacidade de transporte.....	58
4.2.1 Análise do Trem-tipo.....	61
4.2.2 Análise dos veículos ferroviários utilizados.....	64
4.2.2.1 Locomotivas.....	64
4.2.2.2 Vagões.....	65
4.3 Considerações finais.....	65
V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

RESUMO

Atualmente as exportações de soja tem tido grande importância para a economia brasileira, entre outros produtos agrícolas, que assim como a soja necessitam de um eficiente sistema logístico para a sua comercialização. O sistema de transporte é um dos pontos mais importantes dessa logística de exportação, pois a sua adequada operação e planejamento dão sustentação ao desenvolvimento do agronegócio nacional, e também de diversos outros setores da economia.

O presente trabalho analisa um dos fluxos de exportação de soja, com origem no terminal intermodal de Pederneiras e com destino ao Porto de Santos, objetivando a determinação da capacidade de transporte desse produto pelo modal ferroviário.

São estudados vários aspectos do transporte ferroviário, todos com grande influência na capacidade do fluxo analisado.

Será formulado um modelo de estudo, que trará os valores e outras características consideradas para o sistema. Em seguida será determinado o trem-tipo adequado para atender essa demanda de transporte, de acordo com as restrições da via permanente. De posse do trem-tipo, será determinada a capacidade de trânsito da via, em trens diários, e finalmente com esses dados será calculada a capacidade de transporte de soja nesse fluxo.

Na conclusão serão apresentados e discutidos os resultados desse estudo assim como serão feitas também sugestões para o aprimoramento do sistema.

I INTRODUÇÃO

O grande sucesso da soja nas exportações brasileiras e sua perspectiva de crescimento da produção a médio e longo prazo, somados aos problemas de infra-estrutura existentes no país tornam incerto o futuro do agro-negócio brasileiro, principalmente daqueles itens que necessitam de um eficiente sistema logístico para a redução de seus custos e manutenção de sua competitividade.

Esse trabalho aborda um dos fluxos de exportação de soja, focando-se no transporte ferroviário, e está estruturado da seguinte maneira:

Introdução, nesse capítulo o leitor é apresentado ao assunto a ser discutido, assim como são apresentados os objetivos e as justificativas da realização desse estudo.

Revisão de literatura, são apresentadas as bases teóricas em que se fundamenta o estudo de caso, é feita uma rápida explanação sobre o sistema de transporte ferroviário, e do método a ser utilizado na resolução do problema em análise.

Estudo de caso, desenvolvimento do trabalho, segundo a metodologia adotada.

Conclusão, capítulo onde são realizadas a análise e discussão dos resultados obtidos no capítulo anterior.

A metodologia a ser utilizada nesse estudo será a do estudo de caso.

1.1 Objetivos

O objetivo desse estudo é realizar uma análise técnica pontual do sistema ferroviário brasileiro, baseando-se em um determinado fluxo de exportação, no caso o de transporte de soja entre o terminal intermodal de Pederneiras e o Porto de Santos.

O estudo abordará a quantificação da capacidade de transporte por esse modal e se constituirá basicamente de três fases; Caracterização do sistema de transporte do ponto de vista técnico (características da via, tipos de veículos utilizados, etc.) Determinação do trem-tipo (definição da composição ferroviária a ser utilizada para atender a demanda de transporte) Cálculo da capacidade de transporte do modal no fluxo mencionado e análise dos resultados (conclusão).

1.2 Justificativas

O transporte ferroviário tem um importante papel na manutenção da competitividade dos produtos nacionais frente aos concorrentes estrangeiros, principalmente para os produtos de baixo valor agregado que necessitam de transporte de grandes volumes para médias e longas distâncias, com um frete competitivo.

Um bom conhecimento da capacidade do sistema de transporte analisado, além de permitir um melhor aproveitamento do mesmo, pode fornecer subsídios para um planejamento de investimentos e outras ações que tornem o sistema mais eficiente viabilizando ganhos para todas as empresas inseridas nesse contexto.

A intensificação da utilização do transporte ferroviário, não só diminui os custos logísticos, pois o mesmo apresenta uma alta eficiência energética, mas também reduz os custos com manutenção de rodovias e aumenta a segurança nas mesmas pela redução do tráfego de caminhões e também traz melhoria nas condições ambientais com a redução da poluição.

II REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O sistema de transporte ferroviário

O sistema de transporte ferroviário se constitui de um conjunto de vias, denominadas de via permanente, por onde circulam os veículos ferroviários, chamados de material rodante, que trafegam pela via de acordo com determinados procedimentos operacionais adotados pelas empresas de transporte ferroviário, as normas de licenciamento, o sistema precisa contar também com terminais onde são realizadas as operações de embarque e desembarque de cargas e de passageiros ou operações de transbordo. As ferrovias caracterizam-se pela sua capacidade de mover grandes volumes de cargas, por grandes distâncias a um custo competitivo em relação ao modal rodoviário, seu principal concorrente, essa vantagem econômica deve-se principalmente ao alto rendimento energético do modal ferroviário, comparado com o rodoviário. Em contrapartida o transporte rodoviário apresenta uma maior flexibilidade de rotas devido a suas características técnicas e a maior disponibilidade de infra-estrutura, sendo ideal para atender fluxos de curtas distâncias, transporte de volumes menores, ou até mesmo como modal complementar a outro modal (intermodalidade), realizando o serviço porta a porta.

Embora o transporte ferroviário seja econômico, seu custo de implantação é alto, e o prazo de retorno dos investimentos é longo, portanto sua implantação só é viável nos trechos onde exista uma grande demanda por transporte, atendendo a necessidade da obtenção de economias de escala.

Atualmente no Brasil a rede de transporte ferroviário atende principalmente os fluxos de exportação, principalmente de minérios e produtos agrícolas, fluxos internos de transporte de combustíveis, transporte de passageiros em regiões metropolitanas, destacando-se também o crescimento da utilização desse modal no transporte de containeres.

2.2 Via Permanente

Via Permanente é a denominação dada ao conjunto de elementos constituído por duas fileiras de trilhos, uma de cada lado da via, instalados paralelamente e fixados transversalmente sobre dormentes. Os dormentes são geralmente de madeira ou concreto, e por sua vez se apóiam sobre uma camada de pedra britada, o lastro. Todos esses elementos são colocados sobre uma camada de terra compactada, sendo instalados de acordo com determinadas especificações técnicas, constituindo a via de trânsito dos trens e distribuindo as elevadas cargas por eixo dos veículos ferroviários, permitindo assim a circulação segura dos mesmos.

Os trilhos são os elementos encarregados de guiar e apoiar as rodas dos veículos ferroviários, a distância interna entre os trilhos é uma das principais características da via: a bitola da via.

A via permanente é construída de acordo com um determinado projeto que contém as diversas características técnicas da mesma. Para esse trabalho algumas das principais características dos trechos analisados devem ser conhecidas, são elas:

- Bitola da via.
- Comprimento dos trechos.
- Comprimento dos desvios de cruzamento.
- Capacidade de carga por eixo.
- Rampa máxima.
- Rampa máxima compensada.
- Raio mínimo de curva.
- Tempos médios de percurso por trecho.
- Gabarito da via.

2.2.1 Bitola da via

Como já explicado, é a distância interna entre os trilhos. No Brasil as duas bitolas mais utilizadas são a de 1,00 metro, ou métrica e a de 1,60 metros, também chamada de bitola larga, existem ainda alguns trechos que possuem as duas bitolas na mesma via, são os trechos de bitola mista. A bitola da via restringe os tipos de veículos que circulam pelas mesmas.

2.2.2 Comprimento dos trechos

São as distâncias entre dois pontos do trajeto, geralmente entre dois pátios de cruzamento, medidas em quilômetros.

2.2.3 Comprimento dos desvios de cruzamento

É o tamanho dos desvios, destinados a permitir o cruzamento de composições que trafeguem em sentidos contrários nos trechos de via singela, ou a permitir a manobra de ultrapassagem nos mesmos trechos. O comprimento útil dos desvios de cruzamento limita o comprimento dos trens que circulam em pelo menos um sentido da via.

2.2.4 Capacidade de carga por eixo

É o peso máximo em cada eixo dos veículos ferroviários que a via é capaz de suportar, variando de acordo com suas características construtivas.

2.2.5 Rampa máxima

As rampas são uma das principais características geométricas do traçado ferroviário, com influência na resistência ao deslocamento dos trens. Como o trajeto de uma ferrovia tem de transpor os inúmeros acidentes geográficos em seu caminho, para ligar os pontos de origem e destino das composições, é natural que existam curvas e rampas ascendentes (trechos de subida) ou descendentes (trechos de descida). Embora elas

sejam inevitáveis procura-se limitar a intensidade dessas rampas, pois influenciam negativamente no desempenho da ferrovia oferecendo grande resistência ao deslocamento dos trens quando ascendentes. As rampas nas ferrovias são indicadas em porcentagem, por exemplo, uma rampa de 2% indica que houve uma elevação de 2 metros em um trecho de 100 metros.

2.2.6 Rampa máxima compensada

Segundo Brina (1988b, p.96), “Nos traçados modernos tem-se empregado o que se chama *rampa compensada* para que a soma da resistência da rampa com a resistência da curva seja igual a resistência da rampa máxima do trecho, em tangente...”

2.2.7 Raio mínimo de curva

É o menor raio de uma curva utilizada no projeto geométrico da ferrovia, as curvas além de limitarem a inscrição dos truques ferroviários, limitando, assim, os tipos de veículos, também somam resistência ao deslocamento dos veículos ferroviários.

2.2.8 Tempos médios de percurso

É uma das características operacionais do trecho analisado, é o tempo gasto em média pelas composições para trafegarem entre o ponto inicial e o ponto final de um determinado trecho da via, os tempos geralmente são diferentes para cada sentido (sentido importação, do litoral para o interior ou sentido exportação, do interior para o litoral).

2.2.9 Gabarito da via

São as dimensões do vão livre da via no sentido transversal onde circularão os trens, ou seja, é a largura e a altura máxima entre determinados obstáculos e a via, um exemplo claro são as dimensões dos túneis, altura e largura. O gabarito da via limita as dimensões dos veículos que circulam na mesma.

2.3 Licenciamento

Licenciamento é o conjunto de regras e procedimentos utilizados em uma ferrovia para garantir a circulação segura dos trens. Garante que sempre exista uma distância mínima entre os trens, que deve ser a necessária para frear uma das composições, se necessário.

Segundo Brina (1988b, p.181),

“Ao conjunto de normas utilizadas para que um determinado trem seja permitido percorrer um certo trecho denominamos *licenciamento*.

A autorização dada ao maquinista direta ou indiretamente denomina-se *licença*. Esta pode efetivar-se através de uma ordem escrita, de um bastão (*staff*) ou da interpretação de um sinal. Vemos, assim, que *licenciamento* e *sinalização* são praticamente sinônimos na operação ferroviária.”

As técnicas de licenciamento influenciam na capacidade da via, pois para que um segmento de via seja liberado para a circulação, ele deve estar desocupado, ou seja, não deve haver outro trem nesse trecho. Portanto a extensão do trecho influi na capacidade da via, se for muito extenso o trem levará um tempo maior para percorrê-lo e conseqüentemente para liberar esse trecho para a circulação por outros trens, reduzindo assim a capacidade diária de circulação na via.

Basicamente os tipos de sistemas de controle de tráfego mais utilizados nas ferrovias são; o CTC (Controle de tráfego centralizado), nesse sistema é utilizada sinalização semafórica em campo, que controlam pequenos trechos de via, restritos a alguns quilômetros. Na central de controle os operadores supervisionam a circulação dos trens em painéis ou nas telas de computadores.

No ATO (*Automatic train operation*), ou operação automática de trens existe uma interação entre os computadores no centro de controle e os controles dos trens, esse sistema geralmente é utilizado nos metrô onde a densidade de tráfego é maior.

Atualmente também são utilizados, no controle de tráfego ferroviário aparelhos instalados nas locomotivas que através do GPS, sistema de posicionamento global enviam sinais para satélites que por sua vez retransmitem esses sinais ao CCO Centro de controle operacional, que utiliza esses dados na supervisão da

circulação dos trens.

2.4 Capacidade de tráfego ferroviário

A capacidade de tráfego em ferrovias tem como base a capacidade de circulação diária, que é o número máximo de trens que pode circular em uma ferrovia no período de 24 horas. Com esse dado pode-se facilmente calcular a capacidade de circulação mensal, ou anual. A capacidade de tráfego de um determinado fluxo de ferrovia é limitada pela menor capacidade dos trechos que compõem esse percurso.

A capacidade de tráfego, em trens por dia, de um trecho de ferrovia de via singela pode ser calculado de maneira aproximada através da fórmula de Colson, que é apresentada a seguir:

$$Ct = \frac{2880}{ti + tp + \theta} \cdot k$$

Ct é a capacidade de tráfego diário em trens por dia.

2880 é a constante da fórmula.

ti é o maior tempo de trânsito no sentido exportação.

tp é o maior tempo de trânsito no sentido importação.

θ é o tempo de cruzamento das composições.

K é o fator de ajuste utilizado, pois durante uma parcela do tempo a via fica indisponível para o tráfego por motivos diversos, seu valor varia entre 0 e 1.

2.5 Material rodante

O material rodante é o conjunto de veículos ferroviários de uma determinada empresa, locomotivas, vagões, carros de passageiros, etc. E podem ser divididos em dois grupos: Material motor, equipamento encarregado de executar o trabalho trator nas composições, locomotivas. Material rebocado, basicamente vagões e carros.

2.5.1 Locomotivas

As locomotivas sofreram grande evolução tecnológica ao longo do tempo, devido à necessidade de transportar maior quantidade de carga e passageiros com rapidez e segurança. Começando com as primeiras locomotivas a vapor, passando pelas locomotivas diesel-mecânicas e diesel-hidráulicas, que foram tentativas de resolver o problema da transmissão da força produzida pelo motor diesel até os eixos da locomotiva, até chegar as modernas locomotivas elétricas, ou diesel-elétricas atuais que possuem equipamentos eletrônicos cada vez mais complexos, necessitou-se de muitos anos de pesquisa e trabalho das empresas e profissionais do setor.

As principais locomotivas em uso atualmente são as locomotivas elétricas e as diesel-elétricas.

2.5.1.1 Locomotivas elétricas

Locomotivas elétricas são as locomotivas que utilizam energia elétrica captada por contatos deslizantes de uma rede elétrica existente ao longo da via, para alimentar os motores de tração elétricos localizados junto aos eixos da locomotiva.

2.5.1.2 Locomotivas diesel-elétricas

As locomotivas diesel-elétricas, (figura-1), possuem um motor diesel, que aciona um gerador elétrico que por sua vez gera a energia utilizada na alimentação dos motores de tração elétricos, localizados juntos aos eixos da locomotiva. Essas locomotivas possuem transmissão elétrica, ou seja, elas utilizam a eletricidade para levar a energia produzida pelo motor diesel até as rodas, por isso são chamadas de diesel-elétricas. O uso da transmissão elétrica permite que o motor diesel tenha sua rotação mantida constante em determinados valores, de acordo com a potência necessária nos motores de tração, o que possibilita uma maior economia de combustível.

Esse é o tipo de locomotiva mais utilizada na tração de trens cargueiros no Brasil atualmente, e também no trecho que é analisado nesse trabalho, portanto suas características serão analisadas mais detalhadamente.



Fonte: ANTF.

Figura-1 Locomotivas diesel-elétricas.

2.5.2 Principais características das locomotivas diesel-elétricas

As principais características das locomotivas diesel-elétricas que deverão ser analisadas nesse trabalho são:

- Potência bruta.
- Potência nominal.
- Potência efetiva.
- Peso aderente.
- Velocidades mínima e máxima.
- Dimensões.
- Características dos truques.

2.5.2.1 Potência bruta

É a potência máxima do motor diesel utilizado pela locomotiva.

2.5.2.2 Potência nominal

Potência nominal, ou potência entregue ao gerador de tração é a potência bruta subtraída a potência consumida pelos sistemas auxiliares; iluminação, motores dos compressores de ar, ou dos sopradores dos motores de tração, etc. A potência nominal geralmente é a potência de placa da locomotiva.

2.5.2.3 Potência efetiva

É a potência nominal menos as perdas da transmissão elétrica, ou seja, é a parcela da potência que efetivamente se transforma em força de tração, seu valor varia de acordo com a velocidade.

2.5.2.4 Peso aderente

O peso aderente é a parcela do peso da locomotiva que se transmite aos trilhos, evitando que os eixos tratores patinem quando os motores de tração estiverem operando, possibilitando que a potência da locomotiva se transforme em trabalho de tração, ou seja, é quanto do peso da locomotiva realmente contribui com o esforço de tração da mesma. Se todos os eixos da locomotiva forem tratores, então o peso aderente é igual ao peso total da locomotiva, mas no caso de existirem eixos que não sejam tratores o peso aderente será igual ao peso total dividido pelo número total de eixos, e multiplicado pelo número de eixos tratores.

2.5.2.5 Velocidades mínima e máxima

Como os motores de tração são motores elétricos construídos para trabalharem dentro de determinados limites de tensão e corrente esses limites se refletem nas velocidades operacionais da locomotiva. A baixas rotações o torque é elevado e a corrente também. Correntes elevadas causam aquecimento nos fios que compõem os enrolamentos dos motores, a maior corrente admissível corresponde a maior temperatura que a isolamento pode suportar, que por sua vez corresponde a velocidade mínima do motor, na prática, a locomotiva trabalhará em velocidades menores que a mínima na partida.

Velocidade máxima, quando em altas rotações a tensão aplicada a esses motores elétricos é elevada, como a isolação dos motores é dimensionada para uma tensão máxima a partir da qual a isolação pode ser rompida essa tensão máxima determinará a rotação máxima do motor e conseqüentemente a velocidade da locomotiva.

2.5.2.6 Dimensões

As dimensões da locomotiva relacionam-se diretamente com o gabarito da via, ou seja, o gabarito da via restringe as dimensões máximas dos veículos que circulam por ela. Além disso, a área frontal da locomotiva é utilizada no cálculo de sua resistência aerodinâmica. Seu comprimento também é utilizado no cálculo da capacidade dos desvios de cruzamento existentes, na determinação do comprimento máximo do trem que pode utilizá-lo.

2.5.2.7 Características dos truques

Os truques são os elementos que comportam os eixos e que distribuem o peso do veículo sobre as rodas, e que por sua vez, o distribuem sobre os trilhos. Os truques ainda comportam os motores de tração e outros elementos. A quantidade de eixos acondicionados em cada truque, geralmente dois ou três, e que geralmente são conhecidos pelas respectivas designações de truques "B" e "C", basicamente restringem os raios mínimos de curva em que esses veículos podem transitar.

2.5.3 Vagões

Vagões são os veículos ferroviários utilizados na realização do transporte de cargas, atualmente existem diversos tipos de vagões com características específicas para atender as diversas necessidades dos produtos a serem transportados, com segurança e economia.

Os principais tipos de vagões são:

Vagões fechados, são vagões destinados ao transporte de produtos protegidos, como; carga geral, ensacados, produtos acondicionados em *pallets*, etc.

Gôndolas, (figura-2), são destinadas ao transporte de granéis,

como; minério de ferro, bauxita, carvão, areia e outros produtos que não necessitem de proteção contra o tempo.



Fonte: ANTF.

Figura-2 vagão gôndola GDT, para descarga em girador de vagão.

Hopper, (figura-3), é um vagão construído de forma a facilitar a descarga do produto através da gravidade, é utilizado no transporte de grãos agrícolas, como; soja, milho, açúcar e também no transporte de outros produtos, como fertilizantes.

O carregamento do vagão é feito por escotilhas no teto, e a descarga é feita através da gravidade quando são abertas as bocas de descarga no piso do vagão.



Fonte: ANTF.

Figura-3 vagão *hopper* HFT.

Vagões tanque, (figura-4), são os vagões destinados ao transporte de grânéis líquidos, como; petróleo bruto, derivados de petróleo, álcoois, óleos vegetais, etc. Um caso específico é o vagão subtipo "P" destinado ao transporte de cimento a granel.



Fonte: ANTF.

Figura-4 vagão tanque TCT.

Plataformas, destinam-se ao transporte de veículos, toras de madeira, containeres, produtos siderúrgicos, etc.

Os vagões são classificados de acordo com uma codificação estabelecida pela ABNT e que se constitui basicamente em um conjunto de três letras seguidas de sete dígitos, onde:

A primeira letra indica o tipo do vagão.

A segunda letra indica o subtipo do vagão.

A terceira letra indica o peso bruto máximo do vagão e a bitola.

O primeiro dígito indica a qual ferrovia o vagão pertence, se o primeiro dígito for zero o vagão é particular.

Os cinco dígitos seguintes são o número do vagão.

O último dígito é o dígito verificador.

Na tabela 1 é apresentada a classificação para os vagões mais utilizados de acordo com as duas primeiras letras, na tabela 2 são apresentadas as letras que indicam o peso bruto máximo de acordo com a bitola.

Tabela 1 - Classificação dos vagões

1º letra	2º letra	Descrição
F	R	Fechado convencional com revestimento.
F	S	Fechado convencional sem revestimento.
F	H	Fechado com escotilhas, tremonhas no assoalho e portas <i>plug</i> .
F	L	Fechado com laterais corrediças (<i>all door</i>).
G	D	Gôndola para descarga em <i>car-dumpers</i> ou giradores de vagão.
G	H	Gôndola com bordas tombantes e fundo em forma de lombo de camelo.
G	P	Gôndola com bordas fixas e portas laterais.
G	F	Gôndola com bordas fixas e fundo móvel (<i>drop-bottom</i>).
G	T	Gôndola com bordas tombantes.
P	M	Plataforma com piso de madeira.
P	E	Plataforma com piso de metálico.
P	D	Plataforma com assoalho metálico com dispositivos para containeres.
P	C	Plataforma para containeres.
T	C	Tanque convencional.
T	S	Tanque com serpentinas de aquecimento.
T	P	Tanque para produtos pulverulentos (em pó).
T	F	Tanque para fertilizantes.
T	A	Tanque para ácidos ou líquidos corrosivos.
T	G	Tanque para gás liquefeito de petróleo.
H	F	<i>Hopper</i> fechado convencional.
H	P	<i>Hopper</i> com proteção anticorrosiva.
H	E	<i>Hopper</i> tanque com proteção anticorrosiva.
H	T	<i>Hopper</i> tanque convencional.
H	A	<i>Hopper</i> aberto.

Fonte: Tratado de estradas de ferro.

Tabela 2 - Peso bruto máximo de acordo com a bitola.

Letra bitola métrica.	Letra bitola larga.	Peso bruto máximo.
B	P	47.000 Kgf.
C	Q	64.000 Kgf.
D	R	80.000 Kgf.
E	S	100.000 Kgf.
F	T	119.000 Kgf.
G	U	130.000 Kgf.

Fonte: Tratado de estradas de ferro.

2.6 Terminais

Terminais são os locais que, por possuírem infra-estrutura adequada, permitem que sejam executadas operações de transbordo, (carga e descarga) entre veículos de um mesmo modal, ou de modais diversos, além de outras operações, como armazenagem e manuseio dos produtos, caso necessário. No contexto do transporte ferroviário os terminais são de grande importância, pois neles é feito o transbordo ou a consolidação de carga, que chega através de outros modais, complementares ao ferroviário.

Algumas vezes a carga possui diversas origens, como no caso de grãos agrícolas, a carga portanto, pode ser carregada diretamente nos vagões, ou ser armazenada para carregamento posterior caso não haja disponibilidade imediata de vagões para carregamento. No ponto de destino do transporte ferroviário também será necessário um terminal onde a carga será descarregada, encaminhada a instalações localizadas junto ao terminal para ser processada, armazenada ou carregada em outro meio de transporte que pode ser, por exemplo, veículos rodoviários destinados a distribuição dos produtos, ou, no caso de um terminal portuário, embarcações com destino a outros portos.

Como fazem parte de uma cadeia seu desempenho influi no desempenho de todo o sistema de transporte, sendo necessário um correto dimensionamento, ou avaliação de sua capacidade de movimentação de cargas (carga e descarga), capacidade de armazenagem, e capacidade de recebimento de veículos dos diversos modais. Devem ser avaliados também quais os tipos de carga ele pode movimentar de acordo com suas características.

2.7 Determinação do trem-tipo

O trem tipo deve ser considerado como o trem, (número e tipo de vagões e locomotivas), dimensionado para atender a determinado fluxo de transporte, em função de determinadas restrições técnicas e que traga o melhor resultado econômico.

Os principais fatores a serem analisados na determinação do trem-tipo são:

- Potência do conjunto de locomotivas.
- Características geométricas do traçado.
- Resistências apresentadas pelo conjunto de vagões e locomotivas.
- Capacidade de reiniciar o movimento no trecho crítico.
- Capacidade de carga nos engates.
- Comprimento dos desvios de cruzamento.

Quanto aos primeiros três itens citados, o dimensionamento do trem-tipo a operar em determinado trecho deve ser realizado de acordo com a capacidade de tração das locomotivas utilizadas, capacidade esta que depende basicamente das características geométricas do traçado ferroviário, principalmente da magnitude dos greides ascendentes que somam grande resistência aos veículos e conseqüentemente demandam maior esforço por parte das locomotivas.

Outro ponto que deve ser verificado é a capacidade de reiniciar o movimento na rampa máxima (trecho crítico), pois mesmo que o trem em movimento seja capaz de vencer o trecho crítico deve-se calcular se ele é capaz de retomar a marcha sem que seja necessário fracionar a composição ou utilizar locomotivas de auxílio.

Deve-se também atentar para que a capacidade de carga máxima dos engates não seja ultrapassada, pois os engates entre o primeiro vagão e a última locomotiva têm de suportar todos os esforços da composição, restringindo os esforços até o limite admissível, estar-se-á evitando assim a quebra dos mesmos e os conseqüentes transtornos para a operação ferroviária.

A capacidade dos desvios de cruzamento também é fator decisivo na determinação do trem-tipo, pois como explicado anteriormente limita a quantidade de vagões e locomotivas do trem a circular no trecho.

2.8 Mecânica de locomoção de veículos ferroviários

Os cálculos utilizados na determinação do trem-tipo e que serão apresentados a seguir, foram obtidos de Setti (2001). Esses cálculos consistem basicamente em determinar as resistências que atuam sobre os veículos de um trem no trecho crítico e a potência desenvolvida pelas locomotivas nesse trecho, sendo que: a força motriz, ou força tratora deve ser no mínimo igual às somas das resistências apresentadas pelo conjunto de locomotivas e vagões. Quando isso acontece o trem está na velocidade de equilíbrio, se a força motriz é menor ele está desacelerando, e se a força motriz for maior o trem estará acelerando.

2.8.1 Velocidade de equilíbrio

Velocidade de equilíbrio é aquela em que a resistência total se iguala a força tratora, para a determinação da velocidade de equilíbrio devemos considerar então que:

$$F_t = R_t$$

F_t = força tratora.

R_t = Resistência total.

A fórmula também pode ser escrita da seguinte forma:

$$F_t \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

F_t = força tratora.

nL = Número de locomotivas.

RTL = Resistência total de locomotiva.

nV = Número de vagões.

RTV = Resistência total dos vagões.

2.8.2 Força tratora

Força tratora desenvolvida pelas locomotivas depende de sua velocidade e é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$F_t = 2685 \cdot \eta \cdot \frac{P}{V}$$

F_t = Força tratora em *Newtons* (N) = Kg . m/s²

2685 = constante utilizada para a conversão de unidades, da potência em *horse power* (HP) e velocidade em Km/h, para *Newtons* (N) em $\text{Kg} \cdot \text{m/s}^2$ ($745,7 \text{ watts} \times 3,6 \text{ km/h}$).

P = Potência da locomotiva em *horse power* (HP), $1\text{HP} = 745,7 \text{ watts}$

V = Velocidade em quilômetros por hora, $3,6 \text{ km/h} = 1 \text{ m/s}$.

η = Rendimento da transmissão elétrica, considerado de (0,81), valor típico.

Podemos então, calcular a força tratora através da fórmula:

$$Ft = 2175 \cdot \frac{P}{V}$$

2.8.3 Força tratora máxima

A força tratora máxima em função da aderência pode ser calculada através da fórmula:

$$Ft_{m\acute{a}x} = f \cdot Td$$

$Ft_{m\acute{a}x}$ = Força tratora máxima.

f = coeficiente de aderência.

Td = peso aderente (N).

Na tabela 3 apresentamos alguns valores comuns do coeficiente de aderência f .

Tabela 3 - coeficientes de aderência.

Condições do trilho.	Coeficientes de aderência.
Totalmente seco e limpo.	0,33
Lavado pela chuva.	0,33
Seco e limpo.	0,22
Seco.	0,20
Molhado pela chuva.	0,14
Úmido de orvalho.	0,125
Úmido e sujo.	0,11
Sujo com óleo.	0,10

Fonte: Setti (2001).

2.8.4 Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento é aquela que ocorre quando do deslocamento dos veículos ferroviários, devido ao atrito entre as rodas e os frisos das rodas e os trilhos, do atrito entre os eixos e os mancais ou rolamentos e a deformação da roda e do trilho. A resistência ao rolamento pode ser calculada através da fórmula abaixo:

$$Rr = \left(c_1 + \frac{c_2 \cdot x}{G} + c_3 \cdot v \right) \cdot G$$

Rr = Resistência ao rolamento em (N).

c_1 = constante que considera a deformação que ocorre entre a roda e o trilho, cujo valor é 0,65.

c_2 = constante que considera o atrito nos mancais dos eixos, cujo valor é 125.

c_3 = constante que considera o atrito entre os frisos das rodas e os trilhos, cujos valores adotados são de: 0,009 para carros e locomotivas, e de 0,013 para vagões de carga.

x = número de eixos do veículo ferroviário considerado.

v = velocidade considerada do veículo em (Km/h).

G = peso do veículo em (KN).

2.8.5 Resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica é aquela oferecida pelo ar quando os veículos ferroviários em movimento atravessam a camada de ar existente em seu caminho, depende de diversos fatores, como a velocidade, área frontal e aerodinâmica dos veículos, posição do veículo no comboio, direção do vento, etc. Nesse trabalho será utilizada uma fórmula que dá o valor aproximado da resistência aerodinâmica, e que não considera a existência de vento. Embora a resistência aerodinâmica seja maior para a primeira locomotiva que compõe o trem, a mesma fórmula será utilizada para todas as locomotivas da composição, visto que a resistência aerodinâmica não é a principal resistência que compõe o conjunto de resistências de um trem. A fórmula é:

$$Ra = ca \cdot A \cdot V^2$$

Ra = Resistência aerodinâmica (N).

ca = Constante aerodinâmica.

A = Área frontal do veículo em metros quadrados.

V = Velocidade do veículo em Km/h

Os valores da constante aerodinâmica são dados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores da constante aerodinâmica e área frontal.

Veículo ferroviário.	Área frontal (m ²)	Constante aerodinâmica
Locomotiva aerodinâmica.	9-11	0,031
Locomotiva normal.	9-11	0,046
Vagão de carga.	7,5-8,5	0,009
Carro de passageiros.	10-11	0,006

Fonte: Setti (2001).

2.8.6 Resistência de rampa

A resistência de rampa é aquela que atua nas composições devido à ação da gravidade sobre os veículos, quando a rampa é ascendente a ação da gravidade adiciona peso aos veículos e, portanto resistência ao movimento. Nas rampas descendentes

a ação da gravidade também adiciona peso aos veículos, mas dessa vez no sentido do movimento, o que tende a aumentar a velocidade, necessitando assim de um sistema de freios eficiente para manter a velocidade do trem dentro dos limites operacionais. A fórmula utilizada para o cálculo da resistência de rampa é:

$$Rg = 10 \cdot G \cdot i$$

Rg = Resistência de rampa em (N).

10 constante da fórmula.

G = peso do veículo ferroviário em (KN).

i = valor da rampa em (%).

2.8.7 Resistência de curva

A resistência de curva se dá principalmente devido ao atrito dos frisos das rodas com os trilhos e ao arraste das rodas externas à curva, e ao aumento da força peso devido a existência de forças centrífugas nas curvas onde a superelevação existente não compensa adequadamente essa força. A resistência de curva é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$Rc = 698 \cdot \frac{G}{r}$$

Rc = Resistência de curva em (N).

698 = Constante da fórmula.

G = peso do veículo ferroviário em (KN).

r = Raio da curva em (m).

2.8.8 Capacidade de reiniciar o movimento em uma rampa ascendente

Quando um trem parado em uma rampa ascendente tenta retomar a marcha a força motriz que pode ser utilizada efetivamente é limitada pela aderência, essa força deve ser maior que a soma das resistências do trem nesse trecho, caso contrário ele ficará impossibilitado de prosseguir, caso não se some capacidade adicional de tração (outras locomotivas), ou se fracione a composição.

$$Ft_{máx} \leq nL \cdot f \cdot Td$$

$Ft_{máx}$ = Força tratora máxima.

nL = Número de locomotivas.

f = Coeficiente de aderência.

Td = Peso aderente da locomotiva.

2.8.9 Capacidade de carga máxima dos engates

O primeiro engate existente entre o primeiro vagão e a última locomotiva suporta toda a força gerada pela resistência da composição, se essa força for maior que a resistência mecânica do engate então esse se romperá, para que isso não ocorra devemos limitar a carga máxima nos engates ao seu limite que geralmente é de 1500 KN.

A capacidade máxima dos engates pode ser calculada pela fórmula:

$$Fe_{máx} \geq nV \cdot RTV$$

$Fe_{máx}$ = Força máxima no engate.

nV = Número de vagões.

RTV = Resistência total do vagão.

III ESTUDO DE CASO

3.1 Considerações iniciais

A determinação da capacidade de transporte de soja no trecho entre Pederneiras e o Porto de Santos, não é basicamente um simples cálculo matemático, pois se deve levar em consideração que existem diversas variáveis a serem avaliadas.

Nesse caso só considerar-se-ão as variáveis que tenham impacto sobre a capacidade de transporte ferroviário, que é o objeto desse estudo, entre elas, pode-se destacar a velocidade média e o tamanho dos trens, que podem variar, confronto entre fluxos diferentes, pois entre Pederneiras e Santos também circulam trens atendendo a outras cargas, ou com outras origens ou destinos. A própria disponibilidade de recursos a serem alocados pelas empresas podem variar de acordo com suas possibilidades, devido a outros compromissos assumidos anteriormente, ou outros fatores.

Para facilitar esse trabalho será preciso se basear em um modelo, sobre o qual será realizado o estudo, no caso de se verificar posteriormente que as condições aqui consideradas se alteraram, essas alterações devem ser consideradas na revisão dos cálculos, para que se chegue ao valor mais próximo possível do factível.

3.2 Modelo proposto

Iniciar-se-á a elaboração desse estudo pela formulação de um modelo que contenha os pressupostos, no qual o mesmo se baseará, o modelo deve considerar as condições existentes, e que o tornem o mais próximo possível da realidade, utilizando dados referentes às condições e valores médios existentes.

Considerar-se-á que o trem parte de Pederneiras com destino a Santos carregado com soja, na estação de Santos ele deixa os vagões carregados e as locomotivas retornam com os vagões vazios. Chegando novamente em Pederneiras são deixados os vagões vazios para serem novamente carregados, enquanto as locomotivas são engatadas aos vagões carregados que aguardavam estacionados no pátio, para seguirem com destino a Santos.

Primeiramente determina-se o trem-tipo, sendo que considera-se o trem-tipo como o trem dimensionado para circular entre origem e destino, atendendo a uma demanda de transporte e que atende também a determinados requisitos de ordem técnica, sendo composto por um determinado modelo e número de locomotivas que tracionam um determinado número de vagões. De posse do trem-tipo pode-se calcular a capacidade de carga para um único trem em toneladas úteis, (TU).

Com os valores de tempo de percurso nos diversos trechos a serem percorridos pelos trens, pode-se calcular a capacidade teórica da linha através da fórmula de Colson em trens diários, que multiplicada pela quantidade de toneladas úteis transportada por cada trem nos dará a capacidade diária de transporte da linha.

É importante observar-se que nesse estudo não será considerada a existência de fluxos conflitantes com o fluxo analisado.

Durante os estudos que compõem esse trabalho serão arbitrados valores para os dados que não puderam ser devidamente levantados, pois alguns dados são de difícil mensuração, possuem grande variabilidade, ou não puderam ser encontrados, nesse caso será utilizado o máximo de bom senso possível para que o resultado final fique com a maior correspondência possível com a realidade.

3.3 Caracterização da via

O percurso entre Santos e Pederneiras possui 486 quilômetros de extensão, entre o pátio localizado no terminal de Pederneiras, e a estação de Perequê em Santos. Entre esses dois pontos existem diversos pátios utilizados nas manobras de cruzamento de trens. Na tabela 5 são apresentadas as características do trecho analisado, com o comprimento útil dos desvios de cruzamento, e as designações das estações. Outras características são:

Bitola da via, é a bitola larga, de 1,60 metros.

Capacidade de carga por eixo: a capacidade máxima de carga por eixo é de 30 toneladas.

Rampa máxima: foram consideradas as rampas máximas de 1,8% no sentido exportação, e de 2,2 % no sentido importação, ambas em trecho sem curva.

Rampa máxima compensada; não foram consideradas, pois a rampa máxima já caracteriza o trecho crítico.

Raio mínimo de curva: não foram consideradas, pois a rampa máxima já caracteriza o trecho crítico para o cálculo das resistências. Também não precisam ser consideradas com relação a inscrição dos truques dos veículos ferroviários a trafegarem por elas, pois os veículos considerados já são de uso nesse percurso.

Tempos médios de percurso por trecho: serão calculados de acordo com uma velocidade média adotada para a determinação do tempo necessário para se percorrer cada trecho. Embora nos trechos críticos a velocidade dos trens seja baixa, na maior parte do trajeto o que determina a velocidade máxima são as condições da via, e dos veículos que circulam por ela, pois como as locomotivas são dimensionadas para vencerem o trecho crítico na maior parte do tempo elas possuem sobra de potência.

Gabarito da via, como os veículos estudados já são de uso no trecho não será necessário considerá-lo.

Tabela 5 - Características do percurso ferroviário entre Santos e Pederneiras.

Estação.	Perequê a Pederneiras.	Comprimento aproximado dos trechos em kilometros	Comprimento útil dos desvios de cruzamento em metros	
ZPG	PEREQUE	ZPG-ZEV 60 kilometros	1.017	
ZGM	GLADSON MORAES		1.237	
ZPT	PARATINGA VIA 1		5.000	
ZXW	PAI MATIAS		752	
ZEZ	ENG. FERRAZ		971	
ZEV	EVANGELISTA DE SOUZA		1.337	
ZEJ	ENG. MARSILAC	ZEV-ZKE 81 kilometros	1.450	
ZEM	EMBU-GUAÇU		2.327	
ZWI	ALDEINHA		1.560	
ZKW	CALCAIA DO ALTO		1.448	
ZKE	CANGUERA		3.000	
ZCX	CAPRICÓRNIO	ZKE-ZBV 94 kilometros	1.204	
ZER	ENG. ACRISIO P. CRUZ		1.177,7	
ZXP	PIRAPITINGUI		1.622	
ZYU	ITU NOVO		1.415	
ZXI	PIMENTA		1.606,3	
ZVK	VIRACOPOS		1.273	
ZBV	BOA VISTA VELHA		5.180	
ZHO	HORTOLÂNDIA		2.200	
ZSU	SUMARÉ	2.122		
ZAC	AMERICANA	ZBV-ZRX 80 kilometros	798	
ZTT	TATU		750	
ZLI	LIMEIRA		1.467	
ZCD	CORDEIRÓPOLIS		737	
ZRX	RIO CLARO NOVO		1.734	
ZQX	CAMAQUÃ		2.235	
ZOX	GRAUNA		2.348	
ZIQ	ITIRAPINA	ZRX-ZIQ 43 kilometros	532	
ZFH	CAMPO ALEGRE		519	
ZBO	BROTAS		509	
ZTR	TORRINHA		ZIQ-ZPD 128 kilometros	531
ZDK	DOIS CÓRREGOS			766
ZJU	JAHU			613
ZPD	PEDERNEIRAS			832

3.4 Caracterização do material rodante

O material rodante a ser utilizado será o material já em uso na ferrovia operadora de transporte ferroviário no fluxo em estudo.

3.4.1 Locomotivas

O modelo de locomotiva a ser utilizada, será a locomotiva C 30-7, (figura-5), de 3.000 hp de potência nominal, pois é a principal locomotiva utilizada pela ferrovia detentora da concessão do trecho analisado, o número de locomotivas a ser utilizado em cada trem será calculado de acordo a soma das resistências apresentada pelo trem no trecho crítico.

Nos cálculos dos pesos dos veículos, (vagões e locomotivas), a aceleração da gravidade considerada foi de $9,8 \text{ m/s}^2$.

A resistência máxima dos engates a ser adotada, tanto para locomotivas, quanto vagões será de 1.200 KN; outros dados da locomotiva C 30-7 estão na tabela 6.



Fonte: ANTF

Figura-5 Locomotiva diesel-elétrica C 30-7.

Tabela 6 -Características da locomotiva C 30-7.

Potência bruta:	3350 HP.
Potência nominal:	3000 HP.
Esforço de tração contínuo, (a 14,5 Km/h):	43.600 Kgf.
Peso aderente:	1764 KN.
Velocidade mínima:	11,2 Km/h. Obs.1
Velocidade máxima:	112 Km/h.
Características dos truques:	C-C. Obs.2
Dimensões da locomotiva:	
Altura:	4600 mm.
Largura:	3023 mm.
Comprimento:	20.500 mm.
Área frontal:	13,9058 m ²

Obs. 1 Calculada pelo autor, considerando um coeficiente de aderência de 0,33%.

Obs. 2 Todos os eixos são motrizes.

3.4.2 Vagões

Embora para esse tipo de serviço sejam utilizados vagões graneleiros do tipo *hopper* fechado, HF, ou fechado subtipo *hopper*, FH, de diversos modelos, para facilitar o cálculo das resistências dos vagões consideraremos que toda a composição é composta por vagões tipo HFT, (figura-6), de aço de um único modelo. Na prática poderão ser utilizados diversos modelos de vagões, pois suas resistências não serão tão diferentes, e a lotação da composição será fechada em toneladas brutas. Os dados referentes ao vagão HFT são apresentados na tabela 7. Na determinação do número de vagões será escolhido um valor de acordo com a capacidade dos desvios de cruzamento existentes, sendo posteriormente verificada sua viabilidade, sendo o número então adequado as restrições existentes.



Fonte: Revista ferroviária

Figura - 6 *Hopper* HFT.

Tabela 7 - Características do vagão HFT.

Peso do vagão vazio:	240,1 KN.
Peso do Vagão carregado, (projeto):	1274 KN.
Peso do Vagão carregado, (adotado pela ferrovia):	1058,4KN.
Comprimento:	18.072 mm.
Área frontal:	13,6009 m ² .

3.5 Determinação do trem-tipo

3.5.1 Análise dos desvios de cruzamento e determinação inicial do número de vagões a formarem o trem

Analisando-se os comprimentos dos desvios de cruzamento do trecho entre Santos e Pederneiras, pode-se verificar que as maiores restrições quanto ao comprimento útil dos desvios se encontra no trecho entre Pederneiras e Itirapina. Nesse trecho os desvios são relativamente curtos, em sua maioria na faixa de 500 metros, Pederneiras possui um desvio de cruzamento com 832 metros de comprimento útil, e trata-se do local onde serão formados os trens.

Em Itirapina, o desvio de cruzamento tem apenas 532 metros, mas nesse local por ser um entroncamento, (local onde as linhas formam um Y) as manobras de cruzamento são facilitadas pela possibilidade de se recuar, avançar ou reter uma das composições em uma das pontas do Y enquanto o outro trem circula entre as outras duas pontas, não havendo, portanto restrição quanto ao comprimento do trem.

Considerando-se que o desvio existente em Dois Córregos com 766 metros de comprimento útil é o maior existente entre Pederneiras e Itirapina, e está situado a cerca de 50 quilômetros de Pederneiras, posição estratégica, pois divide o trecho em dois permitindo a circulação de mais trens, aumentando assim a capacidade da via, esse será o desvio considerado na determinação do comprimento máximo do trem-tipo.

Como esse desvio possui 766 metros e considerando-se que os vagões analisados possuem 18,07 metros, dividindo-se um pelo outro encontramos o valor de 42,39 que representa a capacidade máxima de vagões no desvio, como são também necessárias locomotivas para formar o trem consideraremos o número de 40 vagões para

iniciar os cálculos do trem tipo, e depois de calculada a quantidade de locomotivas necessárias somar-se-á ou subtrair-se-á mais vagões.

3.5.2 Cálculo da força motriz

A força motriz desenvolvida pelas locomotivas C 30-7 varia de acordo com sua velocidade, e será calculadas para as velocidades de 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60 km/h, de acordo com a fórmula apresentada no capítulo 1 desse estudo, no item 2.8.2.

$$Ft = 2175 \cdot \frac{P}{V}$$

Para a velocidade de 11,2 km/h e 3000 HP de potência nominal.

$$Ft = 2175 \cdot \frac{P}{V}$$

$$Ft = 2175 \cdot \frac{3000}{10}$$

$$Ft = 2175 \cdot 300$$

$$Ft = 652500 \text{ N.}$$

Na tabela 8 constam as forças motrizes calculadas para as velocidades adotadas.

Tabela 8 - Velocidades X Força motriz.

Velocidades (km/h)	Força motriz (N)
10	652500
15	435000
20	326250
30	217500
40	163125
50	130500
60	108750

3.5.3 Cálculo da força motriz máxima em função da aderência

A força motriz máxima em função da aderência deve ser calculada pela fórmula apresentada no item 2.8.3 do capítulo 1, o coeficiente de aderência f a ser utilizado nesse caso será o de 0,25, embora o valor de 0,22 seja o valor geralmente adotado nesse tipo de cálculo podemos considerar um outro valor pois a locomotiva adotada possui dispositivos que monitoram as rodas controlando a patinação das mesmas através do aumento da aderência. O peso aderente da locomotiva C 30-7 é de 1764000 N.

$$Ft_{máx} = f \cdot Td$$

$$Ft_{máx} = 0,25 \cdot 1764000$$

$$Ft_{máx} = 441000 \text{ N}$$

Com esse valor de força motriz a velocidade será de:

$$Ft = 2175 \cdot \frac{P}{V}$$

$$441000 = 2175 \cdot \frac{3000}{V}$$

$$441000 = \frac{6525000}{V}$$

$$V = 14,8 \text{ Km/h}$$

3.5.4 Cálculo das resistências de vagões e locomotivas

3.5.4.1 Cálculo das resistências ao rolamento

O cálculo das resistências ao rolamento será efetuado conforme a fórmula apresentada no item 2.8.4 do capítulo 1, para as velocidades de 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60 km/h.

3.5.4.1.1 Cálculo das resistências ao rolamento do vagão

Cálculo da resistência do vagão carregado para a velocidade de 10 Km/h.

$$Rr = \left(c_1 + \frac{c_2 \cdot x}{G} + c_3 \cdot v \right) \cdot G$$

$$c_1 = 0,65.$$

$$c_2 = 125.$$

$$c_3 = 0,013.$$

$G = 1058,4$ KN, vagão carregado.

$x = 4$ eixos.

$$Rr = \left(0,65 + \frac{125 \cdot 4}{1058,4} + 0,013 \cdot 10 \right) \cdot 1058,4$$

$$Rr = (0,65 + 0,4724 + 0,13) \cdot 1058,4$$

$$Rr = 1325,54 \text{ N}$$

Os outros valores de resistência ao rolamento calculados para as demais velocidades constam da tabela 9.

Tabela 9 - Resistência X velocidade, para vagão carregado.

Velocidade (Km/h)	Resistência ao rolamento (N).
10	1325,54
15	1394,34
20	1463,13
30	1600,72
40	1738,32
50	1875,91
60	2013,50

Cálculo da resistência do vagão vazio para a velocidade de 10 Km/h.

$$Rr = \left(c_1 + \frac{c_2 \cdot x}{G} + c_3 \cdot v \right) \cdot G$$

$$c_1 = 0,65.$$

$$c_2 = 125.$$

$$c_3 = 0,013.$$

$G = 24014$ KN, vagão vazio.

$x = 4$ eixos.

$$Rr = \left(0,65 + \frac{125 \cdot 4}{240,1} + 0,013 \cdot 10 \right) \cdot 240,1$$

$$Rr = (0,65 + 2,0824 + 0,13) \cdot 240,1$$

$$Rr = 687,26 \text{ N}$$

Os outros valores de resistência ao rolamento calculados para as demais velocidades constam da tabela 10.

Tabela 10 - Resistência X velocidade, para vagão vazio.

Velocidade (Km/h)	Resistência ao rolamento (N).
10	687,26
15	702,87
20	718,47
30	749,69
40	780,90
50	812,11
60	843,33

3.5.4.1.2 Cálculo das resistências ao rolamento da locomotiva

Cálculo da resistência ao rolamento da locomotiva a 10 Km/h.

$$Rr = \left(c_1 + \frac{c_2 \cdot x}{G} + c_3 \cdot v \right) \cdot G$$

$$c_1 = 0,65.$$

$$c_2 = 125.$$

$$c_3 = 0,009.$$

$$G = 1764 \text{ KN.}$$

$$x = 6 \text{ eixos.}$$

$$Rr = \left(0,65 + \frac{125 \cdot 6}{1764} + 0,009 \cdot 10 \right) \cdot 1764$$

$$Rr = (0,65 + 0,42517 + 0,009) \cdot 1764$$

$$Rr = 1912,47 \text{ N}$$

Os outros valores de resistência ao rolamento calculados para as demais velocidades constam da tabela 11.

Tabela 11 - Resistência X velocidade, para locomotiva.

Velocidade (Km/h)	Resistência ao rolamento (N).
10	2055,36
15	2134,74
20	2214,12
30	2372,88
40	2531,64
50	2690,40
60	2849,16

3.5.4.2 Cálculo da resistência aerodinâmica de vagão e locomotiva

O cálculo das resistências aerodinâmicas serão efetuados conforme a fórmula apresentada no item 2.8.5 do capítulo 1, para as velocidades de 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60 km/h.

Cálculo da resistência aerodinâmica do vagão para a velocidade de 10 Km/h.

$$Ra = ca \cdot A \cdot V^2$$

$$ca = 0,009.$$

$$A = 13,6009.$$

$$Ra = 0,009 \cdot 13,009 \cdot 10^2$$

$$Ra = 0,11708 \cdot 100$$

$$Ra = 11,708 \text{ N.}$$

Os outros valores de resistência aerodinâmica calculados para as demais velocidades constam da tabela 12.

Tabela 12 - Resistência aerodinâmica X velocidade do vagão.

Velocidade (Km/h)	Resistência aerodinâmica (N).
10	11,708
15	26,343
20	46,832
30	105,372
40	187,328
50	297,700
60	421,488

Cálculo da resistência aerodinâmica da locomotiva para a velocidade de 10 Km/h.

$$Ra = ca \cdot A \cdot V^2$$

$$ca = 0,046.$$

$$A = 13,9058.$$

$$Ra = 0,046 \cdot 13,9058 \cdot 10^2$$

$$Ra = 0,6397 \cdot 100$$

$$Ra = 63,97 \text{ N.}$$

Os outros valores de resistência aerodinâmica calculados para as demais velocidades constam da tabela 13.

Tabela 13 - Resistência aerodinâmica X velocidade da locomotiva.

Velocidade (Km/h)	Resistência aerodinâmica (N).
10	63,97
15	143,93
20	255,88
30	575,73
40	1023,52
50	1599,25
60	2302,92

3.5.4.3 Cálculo das resistências de rampa

As resistências de rampa serão calculadas para locomotivas e vagões de acordo com as fórmulas apresentadas no item 2.8.6 do capítulo 1 e serão calculadas para as rampas adotadas de 1,8 % no sentido exportação e 2,2 % no sentido importação.

Resistência de rampa para locomotiva na rampa de 1,8 %.

$$R_g = 10 \cdot G \cdot i$$

$$G = 1764 \text{ KN.}$$

$$i = 1,8\%.$$

$$R_g = 10 \cdot 1764 \cdot 1,8$$

$$R_g = 31752 \text{ N.}$$

Resistência de rampa para locomotiva na rampa de 2,2 %.

$$R_g = 10 \cdot G \cdot i$$

$$G = 1764 \text{ KN.}$$

$$i = 2,2\%.$$

$$R_g = 10 \cdot 1764 \cdot 2,2$$

$$R_g = 38808 \text{ N.}$$

Resistência de rampa para vagão na rampa de 1,8 %.

$$R_g = 10 \cdot G \cdot i$$

$$G = 1048,4 \text{ KN vagão carregado.}$$

$$i = 1,8\%$$

$$Rg = 10 \cdot 1058,4 \cdot 1,8$$

$$Rg = 19051,2 \text{ N.}$$

Resistência de rampa para vagão na rampa de 2,2 %.

$$Rg = 10 \cdot G \cdot i$$

$$G = 240,1 \text{ KN vagão vazio.}$$

$$i = 2,2 \%$$

$$Rg = 10 \cdot 240,1 \cdot 2,2$$

$$Rg = 5282,2 \text{ N.}$$

3.5.4.4 Resistências totais de vagões e locomotivas

As resistências totais de locomotivas e vagões tanto no sentido exportação, quanto no sentido importação são dadas na tabela 14 para locomotivas e na tabela 15 para vagões.

Tabela 14 - Resistências totais de locomotivas.

Velocidade	R_r	R_a	$R_{g-1,8}$	$R_{g-2,2}$	RT exportação.	RT importação.
10	2055,36	63,97	31752	38808	33871,33	40927,33
15	2134,74	143,93	31752	38808	34030,67	41086,67
20	2214,12	255,88	31752	38808	34222,00	41278,00
30	2372,88	575,73	31752	38808	34700,61	41756,61
40	2531,64	1023,52	31752	38808	35307,16	42363,16
50	2690,40	1599,25	31752	38808	36041,65	43097,65
60	2849,16	2302,92	31752	38808	36904,08	43960,08

Tabela 15 - Resistências totais dos vagões.

Velo- cidade	<i>Rr</i> <i>Vazio</i>	<i>Rr</i> <i>Carregado.</i>	<i>Ra</i>	<i>Rg-1,8</i>	<i>Rg-2,2</i>	RT exportação.	RT importação.
10	687,26	1325,54	11,708	19051,2	5282,2	20388,45	5981,17
15	702,87	1394,34	26,343	19051,2	5282,2	20471,88	6011,41
20	718,47	1463,13	46,832	19051,2	5282,2	20561,16	6047,50
30	749,69	1600,72	105,372	19051,2	5282,2	20757,29	6137,26
40	780,90	1738,32	187,328	19051,2	5282,2	20976,85	6250,43
50	812,11	1875,91	297,700	19051,2	5282,2	21224,81	6392,01
60	843,33	2013,50	421,488	19051,2	5282,2	21486,19	6547,02

3.5.5 Cálculo do número de locomotivas

A quantidade de locomotivas necessárias para tracionar os 40 vagões, que estimou-se inicialmente para formar o trem-tipo, deve ser calculada através da fórmula mostrada no item 2.8.1 do capítulo 1. Ou seja igualando-se a força motriz desenvolvida por uma locomotiva em determinada velocidade ao conjunto de resistências apresentadas pelo conjunto dos vagões e da locomotiva na mesma velocidade, no trecho crítico.

Pode-se também calcular a quantidade de locomotivas para que o trem possa vencer o trecho crítico na velocidade mínima de 11,2 Km/h, mas no caso analisado será calculada a quantidade de locomotivas para a velocidade de 15 Km/h, pois deseja-se que haja sobra de potência para esse trecho, levando em consideração que o coeficiente de aderência varia de acordo com as condições dos trilhos.

3.5.5.1 Cálculo do número de locomotivas e vagões

A força tratora máxima pela aderência é de 441000 N, na velocidade de 14,8 Km/h. Considerando um coeficiente de aderência de 0,25, como a força tratora máxima na velocidade de 15 Km/h é de 435000 N, ela não supera o limite da força tratora máxima dada pelo peso aderente, podendo ser utilizada nos cálculos abaixo.

3.5.5.1.1 Sentido exportação (vagões carregados, rampa de 1,8%)

$$F_t \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$F_t = 435000 \text{ N}$$

nL = Número de locomotivas.

$$RTL = 34030,67.$$

$$nV = 40.$$

$RTV = 20471,88$ vagões carregados.

$$435000 \cdot nL = nL \cdot 34030,67 + 40 \cdot 20471,88$$

$$nL = \frac{818875,2}{435000 - 34030,67} = \frac{818875,2}{400969,33} = 2,04.$$

Como o número de locomotivas calculado é muito próximo de dois, o número de vagões será ajustado para a capacidade de duas locomotivas.

$$F_t \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$435000 \cdot 2 = 2 \cdot 34030,67 + nV \cdot 20471,88$$

$$nV = \frac{801938,66}{20471,88} = 39,17.$$

$nV = 39$ vagões.

3.5.5.1.2 Sentido importação (vagões vazios, rampa de 2,2%)

$$F_t \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$F_t = 435000 \text{ N}$$

nL = Número de locomotivas.

$$RTL = 41086,67.$$

$$nV = 39.$$

$RTV = 6011,41$ vagões vazios.

$$435000 \cdot nL = 2 \cdot 41086,67 + 39 \cdot 6011,41$$

$$nL = \frac{82173,34 + 234444,99}{435000} = \frac{316618,33}{435000} = 0,72$$

Como o número de locomotivas calculado é menor que um, embora as duas locomotivas iniciais tenham de retornar só uma será necessária para tracionar a composição. A segunda locomotiva poderá ser rebocada junto com os vagões.

3.5.5.2 Cálculo da carga máxima nos engates

3.5.5.2.1 Sentido exportação

Considerando-se 1200 KN como a capacidade máxima dos engates é necessário verificar se as resistências totais dos vagões não superam esse limite.

$$Fe_{máx} \geq nV \cdot RTV$$

$$1200000 \geq 39 \cdot 20471,88$$

$$1200000 \geq 798403,32$$

O número de vagões considerado atende a restrição.

3.5.5.2.2 Sentido importação

$$Fe_{máx} \geq nV \cdot RTV$$

$$1200000 \geq 39 \cdot 6011,41$$

$$1200000 \geq 234444,99$$

O número de vagões considerado atende a restrição não ultrapassando a capacidade de carga máxima dos engates, nos dois sentidos.

3.5.5.3 Cálculo da capacidade de reiniciar o movimento na rampa ascendente

3.5.5.3.1 Sentido exportação (vagões carregados, rampa de 1,8%)

$$Ft_{máx} \leq nL \cdot f \cdot Td$$

$$Ft_{máx} \leq 2 \cdot 0,25 \cdot 1764000$$

$$Ft_{máx} \leq 882000 \text{ N}$$

$Ft = R$. Total do trem ($RT.t$)

$$Ft \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$RT.t = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$RTt = 2 \cdot 34030,67 + 39 \cdot 20471,88$$

$$RTt = 866464,66 \text{ N}$$

Como a resistência total não é superior a força motriz máxima calculada pela aderência, então o trem atende a restrição de reiniciar o movimento na rampa máxima.

3.5.5.3.2 Sentido importação (vagões vazios, rampa de 2,2%)

$$Ft_{máx} \leq nL \cdot f \cdot Td$$

$$Ft_{máx} \leq 2 \cdot 0,25 \cdot 1764000$$

$$Ft_{máx} \leq 882000 \text{ N}$$

$$Ft = R. \text{ Total do trem } (RT.t)$$

$$Ft \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$RT.t = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$RTt = 2 \cdot 41086,67 + 39 \cdot 6011,41$$

$$RTt = 316618,33 \text{ N}$$

Como a resistência total não é superior a força motriz máxima calculada pela aderência, então o trem atende a restrição de reiniciar o movimento na rampa máxima.

3.5.5.4 Comprimento do trem-tipo

O comprimento do trem-tipo deve ser determinado para que se possa saber quais os desvios de cruzamento que poderão ser utilizados pelo mesmo. O trem calculado possui 39 vagões de 18,07 metros e duas locomotivas de 20,50 metros, o que totaliza 745,73 metros.

Todos os desvios de cruzamento com menos de 745,73 metros de comprimento útil não poderão ser utilizados para acomodar esse trem nas manobras de cruzamento, nesses locais esse trem deverá ter preferência de passagem. As estações que constam da Tabela 5 e que não comportam o trem-tipo calculado são as de: Cordeirópolis (737 metros), Itirapina (532 metros), Campo Alegre (519 metros), Brotas (509 metros), Torrinha (531 metros) e Jaú (613 metros). Desse conjunto o pátio de Itirapina será excluído dessa restrição, pois se trata de um entroncamento, que como explicado anteriormente, possibilita as manobras de cruzamento dos trens sem problemas quanto ao comprimento.

3.5.6 Trem tipo dimensionado

O trem-tipo dimensionado nos itens anteriores compõe-se de:

No sentido exportação duas locomotivas C 30-7 para tração, 39 vagões HFT, transportando 3256,5 toneladas úteis (TU) e 4212 toneladas brutas (TB).

No sentido importação duas locomotivas C 30-7, sendo uma para tração e a outra rebocada, 39 vagões HFT, com 955,5 toneladas brutas (TB).

Nos dois sentidos o trem-tipo possui 745,73 metros de comprimento.

3.6 Determinação da capacidade de tráfego

A determinação da capacidade de tráfego para o fluxo considerado será realizada de acordo com a fórmula de Colson, que conta do item 2.4 desse trabalho.

O trecho compreendido entre Itirapina e Dois Córregos com 50 quilômetros será considerado como o trecho crítico na determinação da capacidade de transporte entre Santos e Pederneiras, pois nesse trecho não será possível o cruzamento dos trens dimensionados para atender o transporte de soja nesse fluxo.

Como não foi possível obter os tempos exatos de percurso nesse trecho, será considerada, para efeito de cálculo, uma velocidade média de 25 Km/h nesse trecho no sentido exportação e 30 Km/h no sentido importação, para o cálculo dos tempos de percurso.

Tempo se percurso sentido exportação (ti).

$$\Delta T = \frac{\Delta S}{VM}$$

$$\Delta T = \frac{50}{25} = 2 \text{ horas} = 120 \text{ minutos.}$$

Tempo se percurso sentido importação (tp).

$$\Delta T = \frac{\Delta S}{VM}$$

$$\Delta T = \frac{50}{30} = 1,67 \text{ horas} = 100 \text{ minutos.}$$

3.6.1 Cálculo da capacidade de tráfego

$$Ct = \frac{2880}{ti + tp + \theta} \cdot k$$

Ct é a capacidade de tráfego diário em trens por dia.

2880 é a constante da fórmula.

ti é o maior tempo de transito no sentido exportação (120).

tp é o maior tempo de transito no sentido importação (100).

θ é o tempo de cruzamento das composições, será considerado para efeito de cálculo 20 minutos.

K é o fator de ajuste utilizado, será considerado um fator de ajuste de 0,80.

$$Ct = \frac{2880}{120 + 100 + 20} \cdot 0,8$$

$$Ct = \frac{2880}{240} \cdot 0,8$$

$$Ct = 9,6 \text{ trens / dia.}$$

3.7 Determinação da capacidade de transporte

Como a quantidade de trens a circularem diariamente nesse trecho inclui um conjunto de trens retornando vazios, a metade, e mesmo que existisse carga de retorno ela não seria analisada, pois o objetivo desse trabalho que é determinar a capacidade de transporte de soja de Pederneiras até o Porto de Santos. Deve-se considerar o valor de 4,8 trens / dia, referentes à metade da capacidade de tráfego diária no cálculo da capacidade diária e mensal de transporte de soja, em toneladas.

3.7.1 Cálculo da capacidade de transporte diária

A capacidade de transporte diária (CTD) será igual à capacidade de tráfego diária ($Ct = 4,8$) multiplicada pela capacidade de transporte de cada trem (TU).

$$CTD = Ct \cdot TU$$

$$CTD = 4,8 \cdot 3256,5$$

$$CTD = 15631,2 \text{ Toneladas diárias.}$$

3.7.2 Cálculo da capacidade de transporte mensal

A capacidade de transporte mensal (*CTM*) será igual à capacidade de transporte diária (*CTD*) multiplicado pelos dias de operação mensal da ferrovia (serão considerados 30 dias trabalhados).

$$CTM = CTD \cdot 30$$

$$CTM = 15631,2 \cdot 30$$

$$CTM = 468936 \text{ Toneladas mensais.}$$

IV CONCLUSÃO

4.1 Resultados

Os resultados obtidos no estudo de caso indicam que é possível transportar 468.936 toneladas mensais de soja, de Pederneiras até Santos, utilizando um trem composto por duas locomotivas C 30-7 e 39 vagões HFT, transportando aproximadamente 3.250 toneladas úteis. Para um trem dessa capacidade de carga transportar esse volume mensal de carga, seriam necessárias aproximadamente 145 viagens mensais.

4.2 Análise da capacidade de transporte

Pode-se dizer que a capacidade de transporte depende diretamente da quantidade de trens que a linha comporta e da capacidade de carga dos trens, ou seja, para aumentar a capacidade de transporte existem três alternativas. A primeira é aumentar a capacidade dos trens (tamanho e peso). A segunda é aumentar a capacidade da linha (número de trens/dia). E por último, pode-se aumentar a produtividade dos trens, (velocidade), o que conseqüentemente permitiria aumentar a frequência dos trens.

Além de ser um grande volume de carga a ser transportado, os grãos agrícolas, apresentam um outro problema logístico, que é a sazonalidade das safras, como não há capacidade de armazenagem suficiente disponível, as empresas de transporte tem de se estruturar de modo a escoar uma grande quantidade de produtos em um pequeno

intervalo de tempo. Isso causa dois outros problemas. Primeiramente, o produtor não pode esperar que seus produtos atinjam um melhor preço no mercado, tendo de vendê-los na época da safra quando a cotação geralmente é menor. E as empresas de transporte têm de realizar grandes investimentos em equipamentos de transporte, que podem ficar ociosos a maior parte do ano, o que aumenta seus custos.

Se apenas para estimar-se a quantidade de material rodante a ser alocado na operação analisada considerou-se que o trem se desloca a uma velocidade média de 25 Km/h; a essa velocidade, tempo o ciclo de trem duraria em média aproximadamente 39 horas. Considerando as paradas necessárias e o tempo gasto nos terminais pode-se considerar o valor de 48 horas. Levando em consideração uma taxa de indisponibilidade de locomotivas e vagões da ordem de 15%. Considerando também que a frequência de trens é de 9,8 trens / dia, (imposta pelo trecho), e um tempo de retenção dos vagões em terminais da ordem de 12 horas.

A quantidade de locomotivas necessárias seria de:

$$NL = \frac{NLT \cdot NTM}{VMT} \cdot (1 + TI)$$

NL = Número de locomotivas.

NLT = Número de locomotivas por trem, (2).

NTM = Número de trens mensais, (145).

TI = Taxa de indisponibilidade de locomotivas, (15%).

VMT = Viagens mensais por trem, (tempo disponível, 30dias, dividido pelo tempo de ciclo 2 dias, o que é igual a 15).

$$NL = \frac{2 \cdot 145}{15} \cdot (1 + 0,15)$$

$NL = 22,23 \cong 23$ locomotivas.

A quantidade de vagões necessária seria de:

$$NV = \frac{NVT \cdot NTM}{VMT} \cdot (1 + TI)$$

NV = Número de vagões.

NVT = Número de vagões por trem, (39).

NTM = Número de trens mensais, (145).

TI = Taxa de indisponibilidade de vagões, (15%).

VMT = Viagens mensais por trem, (tempo disponível, 30dias, dividido pelo tempo de ciclo

dos vagões 2,5 dias, o que é igual a 12).

$$NV = \frac{39 \cdot 145}{12} \cdot (1 + 0,15)$$

$$NV = 541,9 \cong 542 \text{ vagões.}$$

Se a mesma quantidade de produtos do complexo soja puderem ser transportados ao longo do ano, e não em três ou quatro meses, a quantidade de material rodante a ser alocada seria menor, além disso melhorando a produtividade dos trens, (velocidade média) também reduziríamos a necessidade de equipamentos de transporte, que poderiam ser alocados para atender a outras demandas de transporte eventualmente existentes.

O fato é que a produção agrícola cresce a cada ano, e que não só as empresas encarregadas do transporte devem estar preparadas para esse crescimento, mas também os produtores, que devem investir em armazenagem. E, principalmente, as grandes empresas exportadoras que devem investir mais em armazenagem e transporte.

Na prática uma melhor produtividade dos equipamentos de transporte pode ser obtida através do aumento da velocidade média dos trens, (melhoria das condições da via permanente, como a diminuição das rampas mais severas, aumento dos raios de curva nas curvas de pequeno raio, obras para diminuir a quantidade de passagens de nível, ou melhoria das existentes, contenção das invasões da faixa de domínio da ferrovia, etc.).

Outro ponto que merece atenção é a diminuição da indisponibilidade do material rodante, através de manutenção preventiva evitando-se quebras, e acidentes que podem paralisar a operação ferroviária.

A utilização de equipamentos de transbordo mais modernos, e que levem um menor tempo para a carga e a descarga dos veículos, assim também como procedimentos operacionais otimizados, e um *layout* adequado dos terminais, também podem diminuir os tempos de retenção dos equipamentos de transporte nos terminais, aumentando a produtividade dos equipamentos de transporte assim como a capacidade do sistema.

4.2.1 Análise do Trem-tipo

No fluxo analisado, um dos limitadores da capacidade de transporte do trecho foi a impossibilidade de se formarem trens maiores devido ao pequeno comprimento útil dos desvios de cruzamento existentes entre Itirapina e Pederneiras, embora de Itirapina até Santos os pátios permitam a circulação de trens maiores, o que é até certo ponto compreensível, pois essa é a linha de maior densidade de circulação de cargas, atendendo ao fluxo de exportação de soja embarcada nos terminais do Alto Taquari e Alto Araguaia, com destino ao Porto de Santos. Mesmo que o trem seja composto em Pederneiras por duas locomotivas e 39 vagões, ele pode ser reformulado em outra estação, a partir de Itirapina, para um trem maior, de forma a não comprometer a capacidade de transporte naquela linha.

Pela capacidade de carga máxima dos engates podemos perceber que o trem-tipo pode ser facilmente alterado para três locomotivas e 58 vagões no sentido exportação.

Verificação da capacidade dos engates:

$$Fe_{m\acute{a}x} \geq nV \cdot RTV$$

$$1200000 \geq nV \cdot 20471,88$$

$$\frac{1200000}{20471,88} \geq nV$$

$nV = 58,6 \cong 58$ vagões, limite máximo de carga dos engates.

Um trem com 58 vagões atende a restrição da capacidade de carga máxima dos engates.

Dimensionamento do número de locomotivas.

$$Ft \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$435000 \cdot nL = nL \cdot 34030,67 + 58 \cdot 20471,88$$

$$nL = \frac{1187369}{435000 - 34030,67} = 2,96.$$

$nL = 3$ locomotivas.

Determinação da capacidade de reiniciar o movimento na rampa

máxima.

$$Ft_{máx} \leq nL \cdot f \cdot Td$$

$$Ft_{máx} \leq 3 \cdot 0,25 \cdot 1764000$$

$$Ft_{máx} \leq 1323000 \text{ N}$$

$$Ft = R \cdot \text{Total do trem } (RT.t)$$

$$Ft \cdot nL = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$RT.t = nL \cdot RTL + nV \cdot RTV$$

$$RTt = 3 \cdot 34030,67 + 58 \cdot 20471,88$$

$$RTt = 1289461,1 \text{ N.}$$

Como a resistência total não é superior a força motriz máxima calculada pela aderência, então o trem atende a restrição de reiniciar o movimento na rampa máxima.

O comprimento desse trem seria de 1.109,56 metros, $(18,07 \times 58 + 3 \times 20,5)$, com essa dimensão esse trem caberia na maioria dos pátios de cruzamento entre Itirapina e Santos, e a capacidade de cada trem em toneladas seria elevada para 4.843 TU.

Se o pátio de Dois Córregos comportasse um trem desse tamanho, e se os tempos de percurso ainda fossem os mesmos, a capacidade de transporte seria então de:

A capacidade de transporte diária (*CTD*) será igual à capacidade de tráfego diária ($Ct = 4,8$) multiplicada pela capacidade de transporte de cada trem (*TU*).

$$CTD = Ct \cdot TU$$

$$CTD = 4,8 \cdot 4843$$

$$CTD = 23246,4 \text{ Toneladas diárias.}$$

A capacidade de transporte mensal (*CTM*) será igual à capacidade de transporte diária (*CTD*) multiplicado pelos dias de operação mensal da ferrovia (serão considerados 30 dias trabalhados).

$$CTM = CTD \cdot 30$$

$$CTM = 23246,4 \cdot 30.$$

$$CTM = 697392 \text{ Toneladas mensais.}$$

Com esses resultados pode-se perceber que o aumento do tamanho

do trem aumenta a capacidade da via, embora se deva atentar para que as velocidades médias não caiam. No caso a capacidade aumentou em 228.456 TU.

Para aumentar-se o tamanho do trem-tipo e elevar a capacidade de transporte da via, deve-se analisar a capacidade dos desvios de cruzamento, aumentando o tamanho dos desvios menores, o que pode ser uma solução de custo relativamente baixo, e com bons resultados para a capacidade de transporte, principalmente das linhas que já estejam no limite de sua capacidade.

A diminuição das distâncias entre os pátios de cruzamento também pode contribuir para o aumento da capacidade da linha pela diminuição dos tempos de percurso nos trechos entre os pátios.

O trem-tipo calculado nesse trabalho é um trem de tração convencional, (locomotivas na frente rebocando os vagões), mas há outros arranjos de tração que devem ser analisados na determinação do trem-tipo a ser utilizado, de modo a trazer o melhor resultado econômico.

Um desses arranjos é o chamado auxílio pela cauda, ou *helper*, que consiste basicamente em colocar uma outra locomotiva na cauda do trem para empurrar a composição, auxiliando-a a vencer os trechos críticos. Nesse caso, geralmente, a sincronia das locomotivas é garantida através da comunicação entre os maquinistas pelo rádio.

Outro arranjo a ser analisado é a chamada tração distribuída, que consiste basicamente em colocar as locomotivas distribuídas ao longo do trem, formando seções, onde não é superada a capacidade de carga máxima dos engates, o que ocorreria se fosse utilizada a tração convencional. A sincronia da operação das locomotivas é feita com o auxílio de rádio, ou com a utilização de controle remoto a partir da locomotiva líder, nas locomotivas que possuam esse equipamento. Esse sistema permite formar trens longos e com grande capacidade de carga, e é muito utilizado nos trens de minérios da Companhia Vale do Rio Doce.

4.2.2 Análise dos veículos ferroviários utilizados

4.2.2.1 Locomotivas

As locomotivas utilizadas nesse estudo, como já citado anteriormente, são as locomotivas C 30-7 de 3000 HP de potência nominal. Essas locomotivas têm sido importadas dos Estados Unidos, já usadas, e são reformadas e adaptadas para rodar nas ferrovias brasileiras. As operadoras têm optado por essa alternativa, em detrimento da compra de locomotivas novas e mais modernas, pelo fato da primeira alternativa ser a de menor custo, possibilitando as operadoras atenderem a crescente demanda por transporte com menores investimentos iniciais.

Embora, em um primeiro momento, essas locomotivas atendam as necessidades urgentes, logo será necessário adquirir locomotivas novas, (ou até mesmo usadas, só que mais modernas, e relativamente mais novas), mais econômicas, mais confiáveis do ponto de vista operacional, (sujeitas a menos quebras), e que incorporem os avanços tecnológicos que permitam uma maior produtividade e segurança na operação.

Uma das características que permitem um melhor rendimento da locomotiva é o controle eletrônico da aderência, (patinação), se a locomotiva manter o coeficiente de aderência sempre alto, isso trará um melhor aproveitamento da potência da locomotiva.

Atualmente, uma das locomotivas mais usadas pelas ferrovias americanas é a locomotiva *Dash 9*, (figura-7). Essa locomotiva também faz parte da frota da operadora do trecho que é objeto desse trabalho, e seu uso deve ser estudado no trecho analisado, por tratar-se de uma locomotiva mais potente e mais moderna.



Fonte: ANTF

Figura – 7 Locomotiva *Dash 9*.

4.2.2.2 Vagões

Embora nesse estudo tenha-se considerado apenas um modelo de vagão, o *hopper* HFT de aço, existem diversos modelos de vagões que podem ser utilizados para atender a essa demanda de transporte, sendo que nem todos os vagões, têm a mesma capacidade de carga do vagão escolhido para os cálculos. Pode-se, portanto, formar trens que atinjam o limite de comprimento do trem-tipo antes do limite de peso, nesse caso a capacidade de transporte será menor que a calculada. Do mesmo modo, se os vagões utilizados possuírem uma tara menor, como os vagões de alumínio, (figura-3), a capacidade de carga poderá ser elevada, mas deve-se respeitar ainda assim o limite de comprimento dos pátios de cruzamento.

4.3 Considerações finais

Em função do exposto anteriormente pode-se concluir que as variáveis com impacto na capacidade de transporte ferroviário são muitas, sendo de fundamental importância um estudo detalhado do caso em questão. Os profissionais

encarregados de dimensionar a capacidade de transporte em determinado fluxo devem utilizar muito bom senso na análise dos diversos detalhes pertinentes ao caso, não se esquecendo que fatores de natureza externa também podem alterar os resultados.

Para que se possa determinar a capacidade de uma linha com razoável precisão é necessário formular um bom modelo de estudo, que reflita a realidade, possibilitando que a empresa faça seu planejamento sobre bases sólidas, minimizando os riscos de prejuízos para a própria empresa e para seus clientes.

Esforços devem ser direcionados no sentido de aumentar a velocidade operacional dos trens, com o objetivo de aumentar a capacidade de transporte, assim como a produtividade do material rodante.

Não se deve esquecer que a cada momento surgem inovações tecnológicas, que são incorporadas aos processos, alterando os mesmos. Melhorias nos processos de licenciamento e supervisão de trens podem, além de aumentar a capacidade de transporte, resultar em maior segurança no transporte ferroviário.

Acredita-se que as ferrovias brasileiras terão que aumentar a sua participação na matriz de transportes, assumindo um importante papel na logística nacional, principalmente na logística de exportação, contribuindo para a competitividade dos produtos nacionais no mercado externo.

V REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BICCA, Antonio José. **Metodologia para estudo de pré-viabilidade de um projeto ferroviário**.2001.128f. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.
- BRANCO, José Castelo e Ronaldo Ferreira, editores, e outros.**Tratado de Estradas de Ferro Volume I - Material Rodante**.Rio de Janeiro, R.J. 2000.
- BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de ferro volume II**. Rio de Janeiro. LTC, Livros técnicos e científicos editora.1988.
- GUERREIRO, Érico Daniel Ricardi. **Tecnologia dos Transportes - Notas de aula**. FATEC. Botucatu. 2004.
- Revista Ferroviária**. Junho de 2004.p 20.fotografia.(figura 6).
- Site da Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. ANTF: www.antf.com.br, acessado em abril de 2005.fotografias. (figuras;1,2,3,4,5 e 7).
- SETTI, José Reinaldo A. **Apostila da Disciplina de Locomoção veicular e operação de terminais**. EESC-USP, São Carlos. 2001.