

**ADRIANO JOSÉ LOPES GASPAR
BIANCA GRASSI NOGUEIRA
BIANCA TAMY TAKAHASHI
FRANKLIN MITIO TANIOKA**

CENÁRIO DO TREM DE ALTA VELOCIDADE BRASILEIRO

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil

São Paulo
2012

**ADRIANO JOSÉ LOPES GASPAR
BIANCA GRASSI NOGUEIRA
BIANCA TAMY TAKAHASHI
FRANKLIN MITIO TANIOKA**

CENÁRIO DO TREM DE ALTA VELOCIDADE BRASILEIRO

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Civil

Orientadora: Prof^a. Ana Paula Larocca

São Paulo
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Gaspar, Adriano José Lopes

**Cenário do trem de alta velocidade brasileiro / A.J.L. Gaspar,
B.G. Nogueira, B.T. Takahasi, F.M. Tanioka. -- São Paulo, 2012.
54 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transporte.**

**1. Trens 2. Sistemas de transportes 3. Engenharia civil
I.Nogueira, Bianca Grassi II.Takahashi, Bianca Tamy III.Tanioka,
Franklin Mitio IV.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Transporte V.t.**

AGRADECIMENTOS

À Orientadora e Professora Ana Paula Camargo Larocca, pelo tempo dedicado e auxílio sempre que necessário.

Ao Professor Telmo Giolito Porto, pelas sugestões oferecidas e apoio prestado para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Jorge Eduardo Leal de Medeiros, pela avaliação desse trabalho e comentários feitos.

Aos nossos familiares e amigos.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, nos auxiliaram ao longo da realização desse Trabalho de Formatura.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Definições	2
1.2.1	Infraestrutura	2
1.2.2	Trem	2
1.2.3	Compatibilidade da Infraestrutura com os Trens	2
1.3	O Trem de Alta Velocidade no Mundo	3
1.3.1	China	5
1.3.2	Espanha	5
1.3.3	Japão	6
1.3.4	França	8
1.3.5	Itália	9
1.4	Situação Atual do TAV	10
1.5	Tecnologia e Parâmetros de Projeto	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivos Gerais	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	JUSTIFICATIVA	13
3.1	Importância Socioeconômica da Região	13
3.2	Oferta e Demanda Atual	14
3.2.1	Aéreo	14
3.2.2	Rodoviário	15
3.2.3	Ferroviário	16
4	METODOLOGIA	18
4.1	Refinamento do Tema	18
4.2	Comentários Sobre a Localização da Estação em São Paulo	19
4.2.1	Campo de Marte	20
4.2.2	Água Branca	21
5	LICITAÇÃO NO BRASIL	22
5.1	Concessão da Operação do Trem de Alta Velocidade	25
6	MATERIAL RODANTE	27
6.1	Tecnologia	27
6.1.1	Características Operacionais Básicas	27
6.1.2	Desempenho	28
6.1.3	Aerodinâmica	29
6.1.4	Conforto	29
6.2	Tecnologias Internacionais	29
6.2.1	Alstom	29
6.2.2	CAF – Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles	32
6.2.3	Bombardier Transportation	33
6.2.4	Siemens	36
6.2.5	Hyundai Rotem	37
6.2.6	Talgo	38
6.2.7	Hitachi	40
7	SISTEMAS DE VIA DE ALTA VELOCIDADE	42
7.1	Via com Lastro	42

7.2	Vias em Laje	43
7.3	Aparelhos de Mudança de Vias de Alta Velocidade.....	46
8	COMPARAÇÃO AMBIENTAL	48
8.1	Consumo de Energia.....	48
8.2	Emissão de CO ₂	49
8.3	Emissão de CO	50
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

RESUMO

O Trem de Alta Velocidade ligando São Paulo e Rio de Janeiro vem sendo considerado como o maior projeto de infraestrutura na história do Brasil e é tratado como prioridade máxima pelo Governo Federal, como parte dos investimentos do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento).

Este Trabalho de Formatura busca abordar um tema extremamente atual e relevante para a economia e sociedade brasileira, compondo uma alternativa de bibliografia sobre um campo de conhecimento ainda bastante inexplorado no país. O transporte ferroviário de passageiros foi preterido em relação ao transporte rodoviário no Brasil durante as últimas décadas, ocasionando na escassez de material técnico sobre o assunto, principalmente tratando sobre alta velocidade.

Foram analisados os aspectos gerais deste modal de transporte inédito no Brasil e o modelo de licitação da primeira etapa do processo, que envolve a escolha da tecnologia e operação do Trem de Alta Velocidade, e apresentadas alternativas de tecnologias existentes hoje no mundo que podem ser adotadas no país e as características de projeto exigidas pelo TAV.

O desenvolvimento da minuta do edital de licitação foi sendo realizado concomitantemente com este trabalho, de forma que foi possível a participação do grupo em duas audiências públicas cujo objetivo era a coleta de sugestões para o aperfeiçoamento do edital. Até o fim deste trabalho, o edital definitivo ainda não havia sido divulgado pelo poder público.

Palavras-Chave: Trem de alta velocidade; sistemas de transportes; engenharia civil

ABSTRACT

The High Speed Rail connecting São Paulo to Rio de Janeiro has been considered the biggest infrastructural project in the history of Brazil and it is being treated as maximum priority by the Federal Government, as part of the investments of the PAC (Developing Acceleration Program).

This Graduation Paper intends to focus on a subject which is extremely current and relevant for the Brazilian society and economy, composing an alternative of bibliography about a still unexplored field of knowledge in this country. The rail transportation of passengers has been deprecated by the highways in the last decades, causing the lack of technical material about the topic, especially when it comes to the high speed.

The general aspects of this new modal of transportation in Brazil were analyzed, as well as the model of the first part of the bidding, which involves the choice of the technology and the operation of the High Speed Rail. It was then presented the alternatives of existing technologies in the world that can be adopted by the country and the project parameters required by the TGV.

The bid edict draft has been being developed concomitantly with this paper so that the group could have the chance to participate on two public audiences, which were intended to gather suggestions for the improvement of the edict. Until the end of this work, the definitive edict had not been released by the government.

Key-words: High speed rail; transports systems; civil engineering

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Traçado Referencial	1
Figura 2 - Linhas de Alta Velocidade em Operação na Europa.....	4
Figura 3 - Linhas de Alta Velocidade em Operação na Ásia	4
Figura 4 - Linhas de Alta Velocidade operando na Espanha	6
Figura 5 - Trem de Alta Velocidade no Japão	7
Figura 6 - Malha de Alta Velocidade no Japão.....	7
Figura 7 - Mapa do Serviço Ferroviário de Transporte de Passageiros na França, Incluindo TGV Internacionais	8
Figura 8 - Mapa da Rede Ferroviária de Alta Velocidade na Itália	9
Figura 9 - Cronologia do Trem-Bala	10
Figura 10 - Visão Geral de Viagem Histórica nos Corredores.....	16
Figura 11 – Campo de Marte.....	20
Figura 12 – Água Branca	21
Figura 13 - Linha do Tempo da Licitação do TAV Brasileiro	22
Figura 14 - Evolução do Custo de Obra ao Longo do Tempo	23
Figura 15 – Pendolino	30
Figura 16 – Euroduplex	31
Figura 17 – AVG.....	31
Figura 18 - ATPRD s-120	32
Figura 19 – Oáris.....	33
Figura 20 – Zefiro	34
Figura 21 - AVE S-102	35
Figura 22 - Bombardier X2000	36
Figura 23 - ICE3.....	37
Figura 24 - Hyundai Rotem KTX	38
Figura 25 - Composição do trem T350.....	38
Figura 26 - Talgo T350.....	39
Figura 27 - Disposição dos Assentos no Trem AVRIL	39
Figura 28 - Talgo AVRIL.....	40
Figura 29 - Shinkansen série 800.....	41
Figura 30 - Hitachi Classe 395	41
Figura 31 – Elementos de Via Permanente com Lastro	42
Figura 32 - Dano a Superfície do Rolamento	43
Figura 33 – Classificação de Sistemas de Via em Laje.....	44
Figura 34 – Placa na Estação de Rheda-Westfalia	45
Figura 35 – Via em Laje da Bögl em Nurembergue – Ingolstadt NBS.....	46
Figura 36 – AMV em Via em Laje.....	47
Figura 37 – Consumo de Energia por Modal de Transportes.....	49
Figura 38 – Fatores de Emissão de CO ₂ por lkm (2000 e 2010).....	50
Figura 39 – Emissão de CO por Modal de Transportes	51

LISTA DE TABELAS

Cobrança de Pedágios nas Rodovias (Abril de 2012).....	15
Classificação de Sistemas de Via em Laje.....	44
Resumo de Via em Laje.....	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O transporte ferroviário não tem sido muito explorado no Brasil, apesar de sua grande extensão que propiciaria o uso desse sistema de transporte em larga escala. Um dos planos do governo federal é mudar esta situação a partir da implantação de trens de alta velocidade em diferentes regiões do território nacional. As rotas até agora consideradas foram as seguintes:

- Campinas-São Paulo-Rio de Janeiro;
- Curitiba-Belo Horizonte;
- Brasília-Goiânia; e
- Campinas-Triângulo Mineiro.

Neste sentido, desenvolveu-se o projeto TAV Brasil, que consiste em uma linha de trem de alta velocidade ligando as cidades de Campinas, São Paulo e Rio de Janeiro. O estudo de viabilidade realizado pelas empresas Halcrow Group Ltda. e Sinergia Estudos e Projetos Ltda., propôs um traçado de aproximadamente 511km de extensão e 11 estações, sendo 8 obrigatórias – Campinas, Aeroporto de Viracopos, São Paulo (Campo de Marte), Aeroporto de Guarulhos, São José dos Campos, Volta Redonda / Barra Mansa, Aeroporto do Galeão e Rio de Janeiro (Estação Barão de Mauá) – e 3 opcionais – Jundiaí, Aparecida e Resende. (Figura 1)



Figura 1 – Traçado Referencial

Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia (Volume 2 - Estudos do Traçado)

Ainda não se sabe a tecnologia que será utilizada, porém espera-se que em sua operação o trem chegue a velocidades de 300km/h e que o tempo de uma viagem expressa (sem paradas) entre as capitais São Paulo e Rio de Janeiro seja de

aproximadamente 93min. (Relatório Halcrow/Sinergia Volume 4 – Operação e Tecnologia – Parte 1)

1.2 Definições

O conceito de Trem de Alta Velocidade ou Trilho de Alta Velocidade varia conforme os critérios utilizados pelas organizações operadoras do sistema ferroviário de transporte de cada região, podendo inclusive ter mais de uma definição em determinados locais. De modo geral, pode-se defini-lo genericamente como um meio de transporte ferroviário que opera com velocidades maiores que os sistemas convencionais.

Segundo a International Union of Railways (2010), a alta velocidade é uma combinação de todos os elementos que constituem o sistema: infraestrutura, trem e condições de operação.

1.2.1 Infraestrutura

- Construída especialmente para viagens de Alta Velocidade (para velocidades maiores ou iguais a 250km/h); e
- Adaptada especialmente para viagens de Alta Velocidade (para velocidades da ordem de 200km/h ou dependente de restrições topográficas e metropolitanas, podendo ter sua velocidade reduzida).

1.2.2 Trem

A tecnologia dos Trens de Alta Velocidade deve ser projetada para proporcionar viagens seguras e ininterruptas:

- Em velocidade de no mínimo 250km/h nas linhas especialmente construídas, podendo possibilitar velocidades maiores que 300km/h em condições apropriadas;
- Em velocidade da ordem de 200km/h nas linhas existentes que sofreram adaptações; e
- Na maior velocidade possível em outras linhas.

1.2.3 Compatibilidade da Infraestrutura com os Trens

Sistemas de Trem de Alta Velocidade pressupõem excelente compatibilidade entre as características da infraestrutura e a dos trens para que sejam atingidos os desejados níveis de desempenho, qualidade de serviço, segurança e custo.

Outra definição existente é a do U.S. Department of Transportation (2011), que o define como qualquer tipo de transporte terrestre não-rodoviário sobre trilhos ou

guias eletromagnéticas que atinja e sustente uma velocidade de mais de 200km/h. Operações de transporte rápido para áreas urbanas não conectadas com o sistema geral de trilhos não são consideradas na definição.

No mesmo país (EUA), a Federal Railroad Administration (2009) utiliza o mesmo critério, porém considerando a velocidade de operação de aproximadamente 180km/h.

1.3 O Trem de Alta Velocidade no Mundo

Em geral, a disseminação do Trem de Alta Velocidade no mundo se iniciou entre as décadas de 50 e 60 devido à grande demanda por transporte entre grandes centros urbanos, aos elevados preços do petróleo, à saturação do sistema rodoviário e à crescente preocupação por questões ambientais, entre outros fatores.

O ponto de partida foi a construção do Shinkansen no Japão, criado para atender a região de elevada densidade populacional entre Tóquio e Osaka nos anos 50, quando contava com as rodovias e ferrovias ligando as duas cidades completamente congestionadas. Em outubro de 1964, foi finalizada a construção da primeira moderna ferrovia de alta velocidade no mundo, bem a tempo dos Jogos Olímpicos de Tóquio. Três anos depois, o sistema Shinkansen já havia sido utilizado por mais de 100 milhões de passageiros e sua malha havia crescido para 2.387,7km.

Tal sucesso levou a Europa a direcionar investimentos para o sistema ferroviário, tendo-se constatado que as viagens de trem tornam-se mais competitivas em áreas de grande densidade populacional ou onde o custo do combustível é elevado, devido à maior eficiência deste sistema quando comparado com automóveis convencionais.

Os países que contam com as maiores malhas ferroviárias de alta velocidade atualmente são, na ordem:

- China;
- Espanha;
- Japão;
- França; e
- Itália.

As Figuras 2 e 3, mostradas adiante, ilustram as redes ferroviárias com velocidades superiores a 200 km/h (cores diversas) e inferiores a 200 km/h (cinza) existentes na Europa e na Ásia, podendo-se observar que nesses continentes a presença desses sistemas de transporte é intenso.

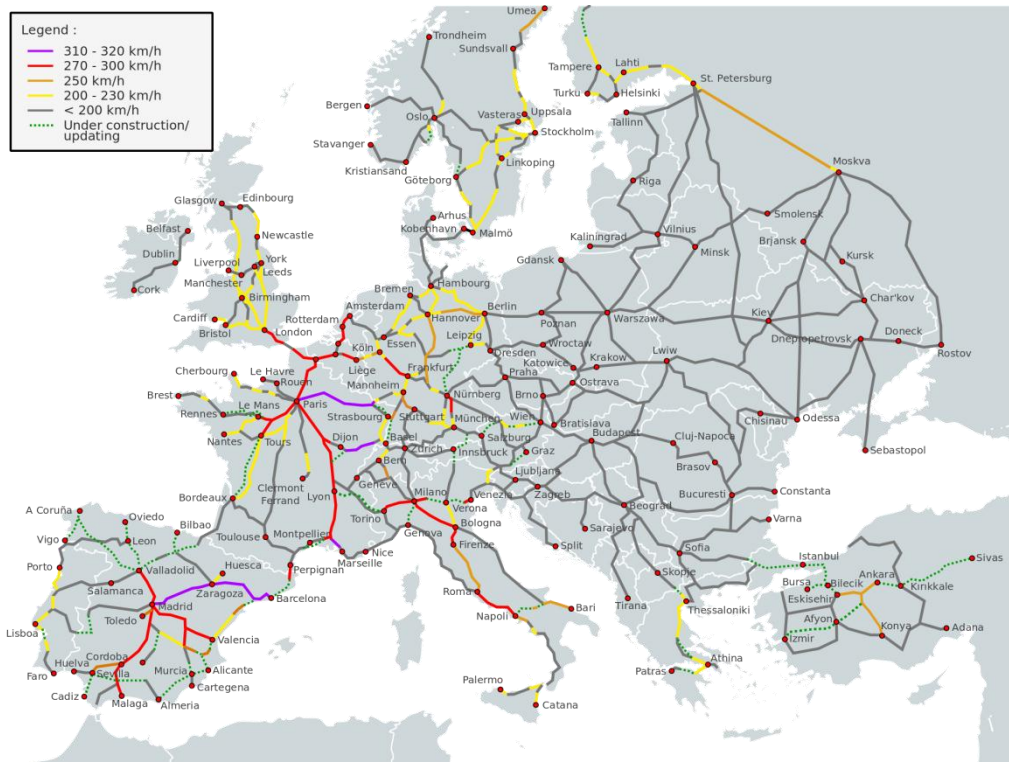


Figura 2 - Linhas de Alta Velocidade em Operação na Europa
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia

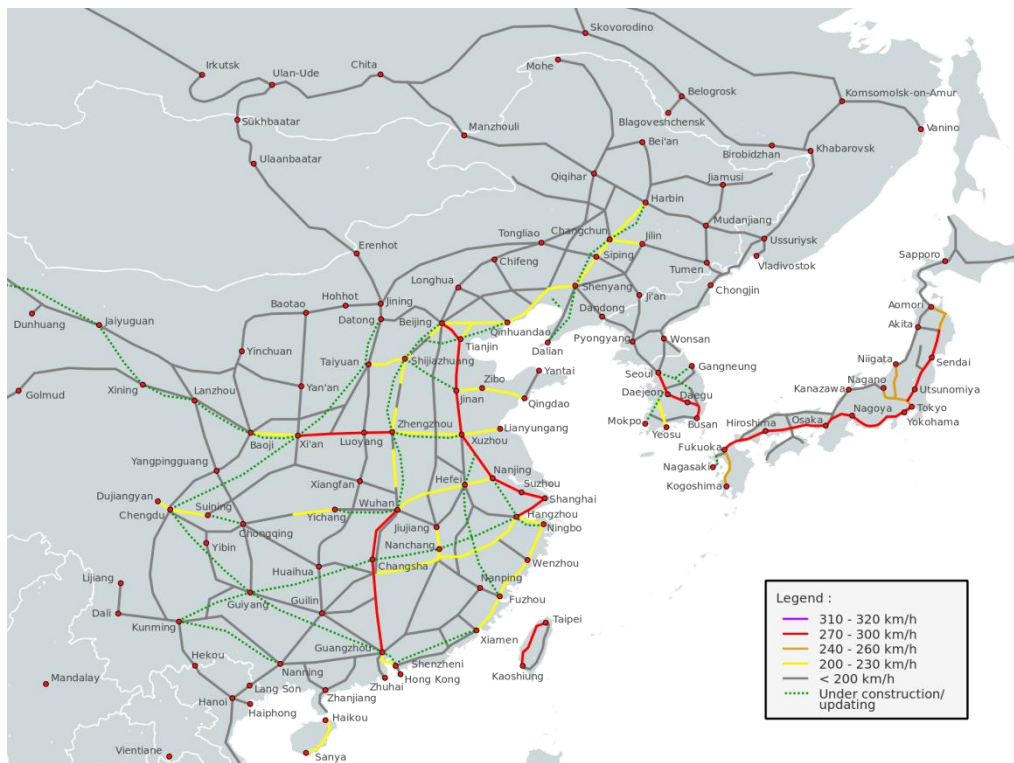


Figura 3 - Linhas de Alta Velocidade em Operação na Ásia
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia

1.3.1 China

A China conta atualmente com a maior malha de ferrovias de alta velocidade do mundo, com aproximadamente 8.500km de extensão. O atual processo de desenvolvimento econômico pelo qual passa o país possibilita grandes investimentos no setor ferroviário e, até o ano de 2025, o país planeja contar com mais de 30.000km de malha, abrangendo toda a parte leste do país.

Em 2009 foi inaugurada a linha de trem de alta velocidade mais rápida do mundo, unindo as cidades de Wuhan (centro) e Guangzhou (sul) em um percurso de 3 horas com uma velocidade média de 350km/h. Os trabalhos em uma segunda fase, que unirão Pequim com Guangzhou na mesma velocidade, foram iniciados em 2005.

A China aposta no transporte ferroviário em concorrência com o transporte aéreo, muito em razão da sua densidade populacional elevada. Algumas das linhas/trechos implantadas são mais vantajosas aos viajantes em todos os aspectos, como por exemplo, o percurso entre Pequim e Jinan. Neste trecho, a tarifa da viagem de trem é 18% mais barata que a viagem de avião e o tempo de percurso 30% menor.

1.3.2 Espanha

A primeira linha espanhola de alta velocidade, entre Madri e Sevilha, só começou a ser construída em 1988, sendo inaugurada em 1992. Essa linha suporta seis milhões de passageiros e possui 471km, percorridos em duas horas e vinte minutos.

O trem AVE Velaro Madrid-Barcelona de alta velocidade é um dos serviços ferroviários de longa distância mais rápidos do mundo, atingindo velocidades de 300km/h, fazendo um percurso de 630km em 2 horas e 38 minutos.

Essa linha foi projetada para se diminuir o tráfego aéreo na rota Barcelona-Madri, sendo que atualmente 80% dos viajantes usam o trem. (Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 4 – Parte 2).

A Espanha atualmente trabalha na expansão de sua malha ferroviária, pretendendo-se tornar a maior da Europa nos próximos anos. O objetivo é conectar todas as suas cidades e ter 90% da população a uma distância de até 50km de uma estação de linhas de alta velocidade. Para viabilizar a construção dessas vias de alta velocidade, os recursos do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional tem sido de grande importância.

A Figura 4 a seguir ilustra a malha de linhas de trens de alta velocidade na Espanha.

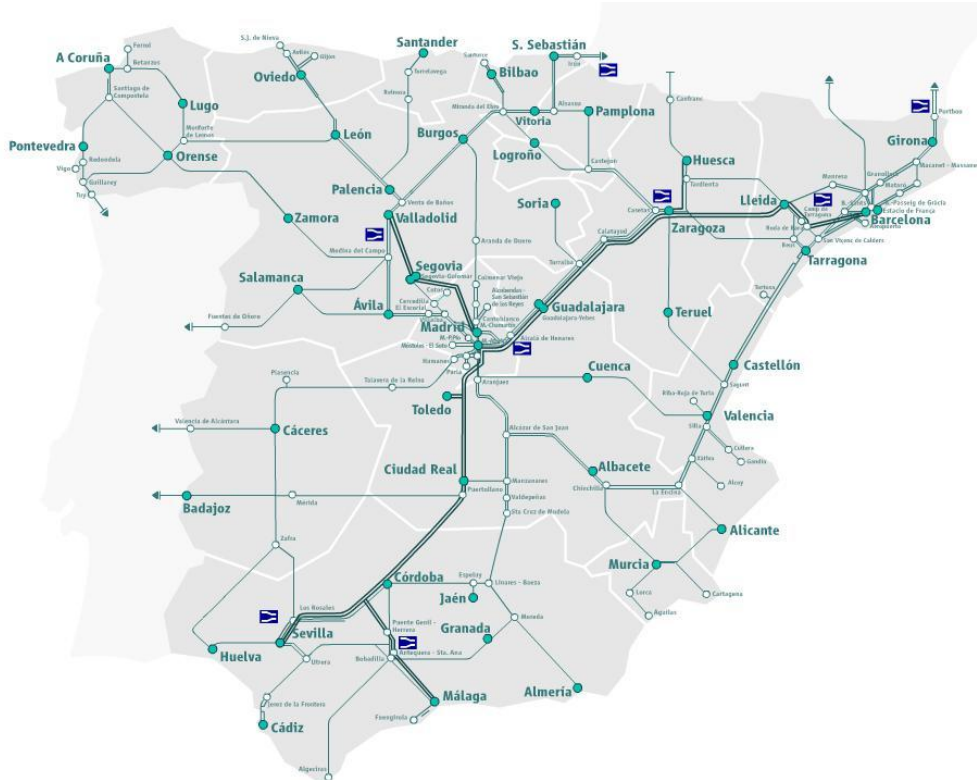


Figura 4 - Linhas de Alta Velocidade operando na Espanha
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia

1.3.3 Japão

O Japão foi o pioneiro na construção de uma rede ferroviária de alta velocidade, o Tokaido Shinkansen. Como sua grande população ocupa os vales próximos às costas, o transporte ferroviário foi adotado como solução para a mobilidade da população, tanto nas áreas urbanas quanto entre elas.

Com 27% do transporte de passageiros sendo feito pelo meio ferroviário, o Japão é o país com mais alta participação da ferrovia no transporte de pessoas. Quanto ao transporte de carga, apenas 4% da tonelagem-quilômetro total de transporte de cargas é feita por ferrovias.

Atualmente existem mais de dois mil quilômetros de linhas de alta velocidade no Japão, sendo que outros 1.300km estão autorizados, dos quais 500km estão em construção. (Revista do BNDES, JUN. 2008)

A principal rota do Shinkansen se encontra entre Tóquio e Osaka. Com pelo menos duas paradas intermediárias (Nagoya e Kyoto), a viagem de 515km é feita em duas horas e meia por essa linha, que opera com intervalos de até três minutos e atrasos médios de apenas 36 segundos. Os trens, de 400m, possuem capacidade para mil passageiros e transportam 390mil pessoas por dia. (Revista do BNDES, JUN. 2008).

A Figura 5 mostra uma foto do trem de alta velocidade japonês e a Figura 6 ilustra a malha nesse país.



Figura 5 - Trem de Alta Velocidade no Japão

List of Shinkansen Lines:

(click on each line for more details)

Tokaido Shinkansen

Train Categories:

Nozomi, Hikari, Kodama

Sanyo Shinkansen

Train Categories:

Mizuho, Nozomi, Sakura, Hikari, Kodama

Tohoku Shinkansen (and Yamagata and Akita Shinkansen)

Train Categories:

Hayabusa, Hayate, Yamabiko, Nasuno, Komachi (Akita), Tsubasa (Yamagata)

Joetsu Shinkansen

Train Categories:

Toki, Tanigawa

Nagano Shinkansen

Train Categories:

Asama

Kyushu Shinkansen

Train Categories:

Mizuho, Sakura, Tsubame



Figura 6 - Malha de Alta Velocidade no Japão

Fonte: <http://www.japan-guide.com>

1.3.4 França

Pelos mesmos motivos que impulsionaram a construção do Shinkansen no Japão, a primeira ferrovia de alta velocidade francesa, a LGV Sud-Est ligando Paris a Lyon, foi inaugurada em 1981 com o início do serviço de passageiros por parte do TGV (Train à Grande Vitesse). Desde então, sua malha cresceu gradualmente, expandindo-se para todas as direções partindo de Paris. Hoje a França conta com a segunda mais extensa malha de alta velocidade da Europa, com 2.037km de ferrovias em operação, ficando atrás apenas da Espanha, com 2.665km, como pode ser observado na Figura 7.

A malha TGV se expandiu inclusive para outros países, como Suíça, Bélgica, Holanda, Alemanha e Reino Unido. Por ser pioneira da tecnologia na Europa e por conta de sua localização privilegiada, a maioria das linhas européias adotaram a mesma velocidade, voltagem e padrões de sinalização franceses. Apesar disto, trens que ultrapassam fronteiras nacionais necessitam ter características especiais que lhe permitam se adaptar a diferentes cargas de energia e padrões de sinalização.



Figura 7 - Mapa do Serviço Ferroviário de Transporte de Passageiros na França, Incluindo TGV Internacionais

Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia

1.3.5 Itália

A Itália pode ser considerada a precursora das ferrovias de alta velocidade na Europa, com a implantação do serviço “Direttissima”, em 1978, que ligava as cidades de Roma e Florença em um trecho de 252km. O percurso durava cerca de 1h30, com velocidades máximas de 250km/h. Posteriormente, com a decisão de se mudar o sistema padrão italiano de eletrificação para o alcance de maiores velocidades, a linha sofreu significativas mudanças e atualmente possibilita a operação à 300km/h. A rede ferroviária de alta velocidade na Itália é composta por duas linhas principais que conectam todas as principais cidades do país. A primeira liga as cidades de Milão a Palermo, passando por Bolonha, Florença, Roma e Nápoles. A segunda parte de Turim até Veneza, passando por Milão.

Em razão das flutuações econômicas, enorme quantidade de automóveis, significativo sistema rodoviário e terrenos acidentados, a rede italiana apresenta pouco desenvolvimento. Existem projetos em andamento que tem como objetivo diminuir a dependência da sociedade no transporte rodoviário e oferecer uma alternativa sustentável e viável aos vôos domésticos, que se proliferaram sem regulamentação adequada, especialmente no eixo norte-sul italiano. Apesar disto, a participação de mercado do transporte ferroviário na Itália é de 5%, sendo muito menor que a participação do Japão, França e Alemanha.

A Figura 8 abaixo mostra as linhas existentes e as em planejamento na Itália.

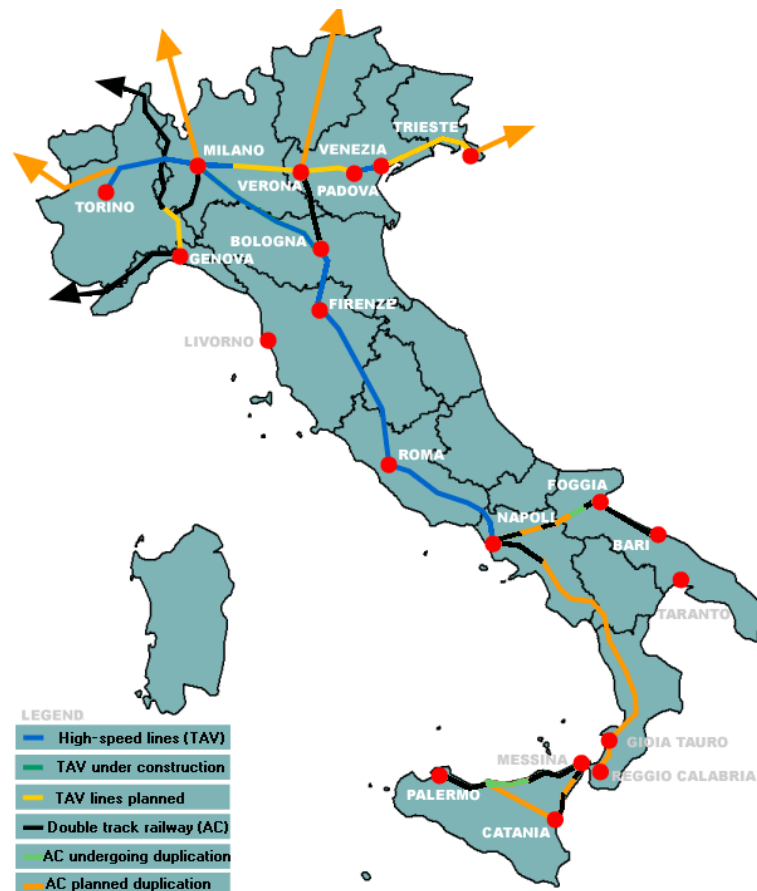


Figura 8 - Mapa da Rede Ferroviária de Alta Velocidade na Itália
 Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia

1.4 Situação Atual do TAV

O projeto de um trem de alta velocidade ligando as capitais, São Paulo e Rio de Janeiro, vem sendo discutido há algum tempo, devido à importância da região na economia do país - 33% do Produto Interno Bruto e 20% da população. Este tema ganhou maior destaque quando foi associado aos eventos da Copa do Mundo-2014 e Olimpíadas-2016 como parte da melhoria na infraestrutura de transporte, criando uma alternativa para competir com a ponte aérea que liga essas capitais e aumentando a participação do Aeroporto Viracopos, no intuito de descongestionar os Aeroportos de Congonhas e Guarulhos.

Atualmente, prevê-se que o trem estará em funcionamento apenas no ano de 2020, sendo o atraso ocasionado pela falta de candidatos na primeira tentativa de licitação. O desinteresse das empresas pode ser justificado pela dificuldade em definir um valor de custo da obra. Para o governo, a construção está em torno dos R\$40 bilhões, enquanto que para as empresas interessadas no empreendimento, este custo estava perto de R\$50 bilhões. Se a previsão das empresas estiver correta, os investimentos por parte do governo - R\$4 bilhões pela ETAV (empresa criada para administrar o projeto) mais R\$22 bilhões de empréstimo do BNDES - não serão suficientes para viabilizar o projeto. (Folha de S. Paulo – 03/02/12). Sabe-se de experiências internacionais, que normalmente a participação do investimento público é essencial para a viabilização do trem de alta velocidade. (Revista do BNDES, jun/08)

A Figura 9 mostra que desde o ano de 2007 o governo vem tentando viabilizar o projeto/ concessão do TAV.



Figura 9 - Cronologia do Trem-Bala
Fonte: Folha de S. Paulo – 03/02/12

Agora o modelo da licitação foi alterado com o objetivo de atrair mais interessados. A modificação se baseia na separação da licitação em duas partes: (1) tecnologia e operação dos trens; e (2) construção da infraestrutura. Na primeira parte, a escolha do vencedor definirá o tipo de tecnologia que será utilizada. Com o projeto básico definido, pode então ser realizado o projeto executivo e em seguida a licitação da empresa que será encarregada da construção da infraestrutura.

No Capítulo 5, é descrito um cenário da atual situação da licitação do Trem de Alta Velocidade Brasileiro.

1.5 Tecnologia e Parâmetros de Projeto

A tecnologia de ferrovias de Alta Velocidade teve avanços significativos na última década, sendo que as extensões das linhas dobraram entre 1998 e 2008 e as velocidades comerciais aumentaram de 270 para 300km/h.

O Trem de Alta Velocidade brasileiro será estudado para uma velocidade máxima de projeto de 350km/h, sendo que, como já foi dito, em sua operação, o trem chegará a velocidades de até 300km/h.

Os dados básicos para o estudo do traçado referencial se encontram listados abaixo:

- Bitola: 1.435mm;
- Velocidade máxima de projeto: 350km/h;
- Raio horizontal mínimo: 7.228m;
- Raio vertical mínimo: 42.875m;
- Inclinação máxima: 35mm/m;
- Carga por eixo do trem: 17t; e
- Plataforma: 500m (composições com até 16 carros).

Além disso, as características do trem que foram consideradas são:

- Comprimento do trem: 200m 8 carros (2014) – 400m 16 carros (2024);
- Carga máxima por eixo: 17t;
- Tara: 436 t; e
- Número de assentos:
 - Serviço Expresso: 458 assentos (duas classes); e
 - Serviço Regional: 600 assentos (classe única).

Nos Capítulos 6 e 7, a tecnologia do Trem de Alta Velocidade e os materiais rodantes existentes no mundo são discutidos com mais detalhes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

As cidades de Campinas, São Paulo e Rio de Janeiro apresentam grande demanda de transporte que não está sendo totalmente suprida com a oferta rodoviária e aérea disponível atualmente. Desta forma, o governo está considerando como possível solução a esta situação, a implantação de um trem de alta velocidade.

O Brasil sofre de uma escassez de informações e conhecimento técnico sobre esta tecnologia. Por muitas décadas, o transporte ferroviário foi preterido em relação ao transporte rodoviário, de forma que existe pouco conhecimento sobre o assunto no país.

Este trabalho tem como objetivo explorar um tema em evidência no atual cenário brasileiro, pouco difundido no país e com pouca informação disponível. Busca-se montar mais uma bibliografia do tema com os assuntos mais atuais, de forma a estimular a discussão sobre este modal de transporte.

2.2 Objetivos Específicos

Serão abordados os assuntos relacionados ao processo licitatório do Trem de Alta Velocidade e apresentadas as alternativas de trens existentes no mercado que poderão ser escolhidos para o leilão de operação e tecnologia brasileiro.

3 JUSTIFICATIVA

O projeto do Trem de Alta Velocidade no Brasil é um assunto de grande complexidade e extremamente atual para a economia e engenharia brasileira. Há uma intensa e profunda discussão sobre sua necessidade e viabilidade, gerando muitas contestações pela opinião pública. Por se tratar de uma tecnologia nova no país, há muitos parâmetros técnicos a serem estudados e definidos e não existe um histórico que possa ser explorado para que sejam feitas previsões concretas e precisas em relação à viabilidade de um projeto desta proporção.

Apesar do ceticismo em torno de seu projeto, o TAV desempenhará importante papel ao interligar a região de maior relevância econômica do Brasil, correspondendo a 33% do PIB e 20% da população do país, constituída pelas regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas e Rio de Janeiro, além do Vale do Paraíba Paulista e Fluminense.

Os meios de transporte na área de influência do TAV tem apresentado grande crescimento de demanda nos últimos anos, com consequências bastante negativas em seus níveis de serviço. As Rodovias Anhanguera e Bandeirantes apresentam altos índices de congestionamento, principalmente no acesso a São Paulo. A ponte aérea Rio-São Paulo sofre com atrasos diários em seus voos, sendo que apenas 43% dos mesmos decolaram do Aeroporto de Congonhas no horário previsto em 2007, e os passageiros enfrentam aeroportos que operam acima de suas capacidades. (Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 1)

O Trem de Alta Velocidade tem a premissa de se tornar um modo de transporte eficiente, melhorando a infraestrutura de transporte e atendendo à crescente demanda da região. Espera-se também que auxilie o remanejamento de passageiros entre os Aeroportos de Viracopos e Cumbica, pois este opera acima de sua capacidade máxima.

3.1 Importância Socioeconômica da Região

O Trem de Alta velocidade situar-se-á na região de maior importância econômica do Brasil, assim como em uma área de grande concentração populacional, constituída pelas Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas e Rio de Janeiro, além do Vale do Paraíba Paulista e Fluminense.

São Paulo é o centro financeiro e de serviços no Brasil, com grande projeção dentro da América Latina e em contexto global. A cidade abriga diversas filiais de empresas multinacionais e instituições financeiras, além da Bovespa, única Bolsa de Valores em operação no país. O Produto Interno Bruto da cidade alcançou, em 2009, R\$389bilhões, o que corresponde à 12% do PIB brasileiro. É também a cidade mais populosa do país, com 11,25milhões de habitantes segundo o Censo 2010.

O corredor entre São Paulo e Campinas tem sido chamado recentemente de “primeira megalópole do hemisfério Sul”, abrangendo 65 cidades, 22milhões de

habitantes e uma área de 38.000km². A região possui intensa atividade industrial e de serviços. (Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 1).

A cidade do Rio de Janeiro abriga a segunda maior concentração populacional do Brasil, com 6,32 milhões de habitantes, assim como possui o segundo maior Produto Interno Bruto municipal, contabilizando R\$ 176 bilhões em 2009, aproximadamente 5,4% do PIB brasileiro. A economia da região metropolitana do Rio de Janeiro é movimentada por seu grande parque industrial, pelo setor de serviços e turismo e por atividades petroquímicas.

Setores de grande importância estratégica foram desenvolvidos na região do Vale do Paraíba, com o advento da indústria aeronáutica, Embraer, na cidade de São José dos Campos, e da indústria siderúrgica, com a fundação da Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda.

3.2 Oferta e Demanda Atual

Entre as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Campinas, há 3 modos de transporte disponíveis para os passageiros: aéreo, ônibus rodoviário e carro particular. O modo ferroviário atende apenas as cidades de São Paulo e Jundiaí, por meio do trem metropolitano. Foi estimado, em 2008, 7,3 milhões de viagens entre São Paulo e Rio de Janeiro, sendo 60% transporte aéreo, 17% para automóveis e 23% para ônibus. (Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 1)

3.2.1 Aéreo

As viagens entre São Paulo e Rio de Janeiro são servidas predominantemente pelo transporte aéreo. Além das viagens serem muito mais rápidas do que o transporte por rodovias, este modo é favorecido pela localização dos Aeroportos de Congonhas, em São Paulo, e Santos Dumont, no Rio de Janeiro, em regiões centrais das cidades, com fácil acesso aos passageiros por carro de passeio. O Aeroporto de Congonhas será também atendido por uma linha de monotrilho, com conexões à rede de metro e trens metropolitanos (CPTM).

Há atualmente 70 voos diários entre SP e RJ, entre 6 horas da manhã e 10 horas da noite, com saídas em intervalos de menos de 10 minutos, sendo 31 desses operados pela Gol, 30 pela TAM e 9 pela Avianca (números obtidos em Abril de 2012). Em 2007, 2,96 milhões de passageiros percorreram este trajeto. Alguns voos entre as duas cidades ocorrem pelos Aeroportos de Cumbica e Galeão, localizados em regiões periféricas das cidades, mas seus passageiros estão frequentemente em conexão com voos internacionais.

A ponte aérea Rio-São Paulo tem apresentado crescimento modesto no número de passageiros, em torno de 1% por ano entre 2000 e 2007, indicando que problemas na capacidade dos aeroportos estejam criando gargalos para o aumento de voos e atendimento aos passageiros. (Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 1)

O Aeroporto de Viracopos, em Campinas, usado predominantemente para transporte de carga, possui hoje grande importância para o transporte de passageiros no estado de São Paulo, principalmente após a chegada da companhia aérea Azul, sediada na cidade e com mais de 200 voos diários para diversos destinos. O movimento de passageiros, segundo a Infraero, em 2011 foi de 7,6 milhões, ante 1,1 milhões em 2008, e há previsão de 9,5 milhões de passageiros até 2014. Espera-se que o Aeroporto de Viracopos ajude a aliviar o excesso de demanda do Aeroporto de Cumbica, que hoje opera acima de sua capacidade máxima de passageiros. Atualmente, as companhias aéreas que partem de Viracopos oferecem aos passageiros residentes em São Paulo o traslado gratuito de ônibus, partindo de diversos pontos da cidade.

Os Aeroportos de Cumbica e Viracopos foram privatizados no início de 2012, com a premissa de melhorar o serviço atualmente oferecido, acelerar as obras de ampliações e melhorias e aumentar a capacidade de passageiros. (G1, 2012)

3.2.2 Rodoviário

O transporte de passageiros por rodovias é servido por uma grande malha viária entre as cidades da área de influência do Trem de Alta Velocidade. As principais rodovias são Dutra e Ayrton Senna/ Carvalho Pinto, ligando São Paulo ao Rio de Janeiro, e Anhanguera e Bandeirantes ligando São Paulo à Campinas. Há também a Rodovia D. Pedro I, que conecta as Rodovias Dutra e Carvalho Pinto em Jacareí à Campinas. Todas são operadas por concessionárias e há cobrança de pedágio, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Cobrança de Pedágios nas Rodovias (Abril de 2012)

Origem/Destino		Pedágio (R\$)	
		Ida	Volta
São Paulo	Rio de Janeiro	37,60	37,60
São Paulo	Campinas	13,90	13,90
São Paulo	Jundiaí	7,00	7,00

A ligação entre São Paulo e Campinas é feita predominantemente pelo modo rodoviário. Os passageiros deste trecho são amplamente servidos por linhas de ônibus convencionais, que totalizam 108 partidas diárias, operados pela Viação Cometa (76 partidas) e Expresso Cristália (32 partidas) e as passagens têm custo de R\$22,80. Em São Paulo, os ônibus partem do Terminal Rodoviário do Tietê, localizado na zona norte da cidade e com acesso facilitado pelo Metrô. O terminal Rodoviário Ramos de Azevedo localiza-se no centro de Campinas.

Para o Rio de Janeiro, também há diversas linhas de ônibus, servindo como uma opção mais econômica à ponte aérea. Há 70 partidas, operadas pelas empresas Autoviação 1001, Expresso do Sul, Itapemirim e Expresso Brasileiro, com opções de ônibus convencional, Executivo e Leito, e preços entre R\$68,00 e R\$114,00. O embarque dos passageiros na capital paulista ocorre no Terminal Rodoviário do Tietê, enquanto na capital carioca o mesmo é feito na Rodoviária Novo Rio,

localizada na zona norte da cidade e com acesso dificultado pela falta de interligação com o Metrô.

Os passageiros que transitam pelas demais cidades situadas na área de influência do Trem de Alta velocidade também são atendidos por diversas linhas de ônibus.

Conforme o gráfico apresentado na Figura 10, a demanda pelo transporte rodoviário tem apresentado grande crescimento, em especial entre São Paulo e Campinas, refletindo no aumento de congestionamentos nas rodovias (e avenidas marginais), com significativa piora dos níveis de serviço das mesmas, principalmente na cidade de São Paulo.

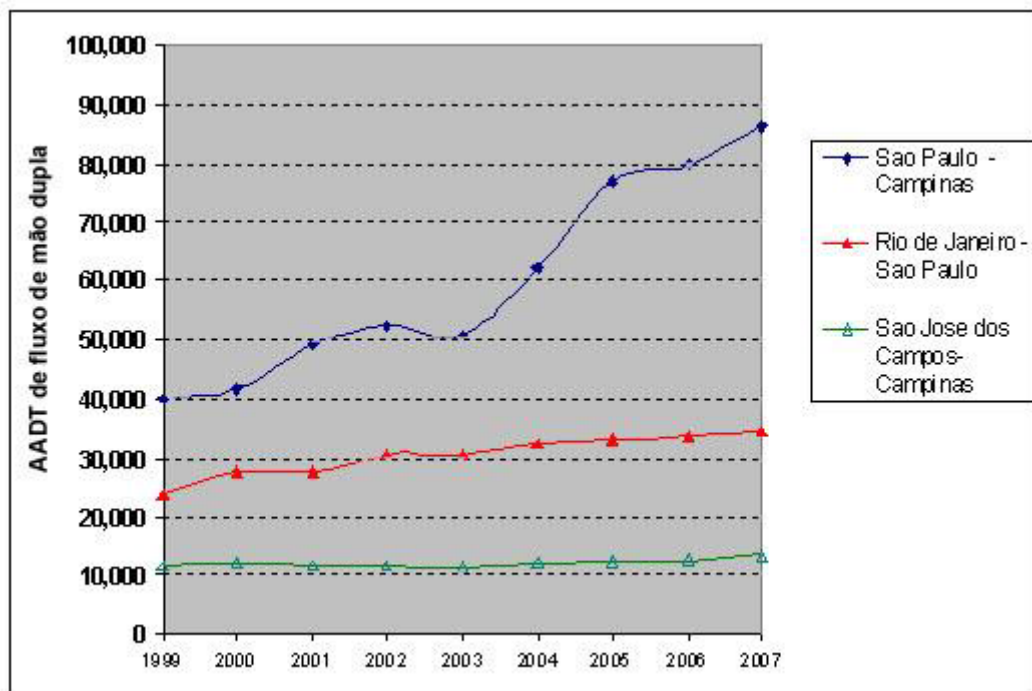


Figura 10 - Visão Geral de Viagem Histórica nos Corredores
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 1

3.2.3 Ferroviário

Como o resultado das políticas passadas no Brasil, que priorizaram o transporte rodoviário, o sistema ferroviário para passageiros é precário no Brasil. Na área de influência do TAV, o serviço é bastante limitado, havendo apenas malhas ferroviárias metropolitanas nas regiões de São Paulo e Rio de Janeiro, ligando as capitais às cidades periféricas.

Na área de influência do TAV, há apenas o trem metropolitano da CPTM (linha 7 - Rubi), que liga Jundiaí à Estação da Luz, em São Paulo. Esta linha é dividida em dois trechos: o primeiro entre as estações Luz e Francisco Morato, com paradas em outras 11 estações e tempo de viagem estimado em 60 minutos; o segundo trecho interliga Francisco Morato e Jundiaí, passando por 3 estações e têm duração de 25 minutos. Para percorrer os dois trechos, é necessário realizar a troca de trens em Francisco Morato. A passagem da CPTM tem custo de R\$3,00, tornando este o

modo mais barato entre São Paulo e Jundiaí, e possibilita ao usuário utilizar outras linhas da rede sem custos adicionais.

Atualmente, a CPTM realiza estudos para extensão da linha, ligando a cidade de Campinas à Jundiaí. Para tal, poderia se fazer o uso compartilhado de uma linha férrea que hoje é utilizada para transporte de cargas, sob concessão da América Latina Logística, necessitando fazer alterações na estrutura existente para que pudesse receber os trens de passageiros. O tempo total da viagem previsto entre Campinas e São Paulo é de 3 horas. (Valor Econômico, 2012)

4 METODOLOGIA

4.1 Refinamento do Tema

Este Trabalho de Formatura sofreu diversas mudanças em seu tema e abordagem ao longo do ano devido à falta de acesso a informações, à divergência de opiniões e à complexidade do assunto Trem de Alta Velocidade como um todo, especialmente no Brasil, por se tratar de uma tecnologia ainda inexistente no país.

No início do semestre, a idéia principal era a realização de um estudo refinado do traçado e uma projeção dos gastos com a construção da infraestrutura do projeto. Seriam propostas alternativas viáveis de diminuição de custos em trechos em que fossem cabíveis tais medidas.

No mês de Abril, foi realizada uma reunião com o Eng^o Pedro Henrique Stech da empresa VETEC Engenharia para uma conversa sobre a situação do transporte ferroviário no Brasil e para buscar informações e consultoria para a realização do estudo do traçado do Trem de Alta Velocidade SP-RJ.

Ele aconselhou o grupo a tomar um rumo diferente, pois a manipulação dos mapas e levantamentos topográficos da região exigiriam softwares extremamente pesados para serem rodados em computadores comuns. Além disso, a empresa não possuía o material necessário para o trabalho em cima do traçado referencial do TAV.

A sugestão dada foi a comparação do Trem de Alta Velocidade com o projeto de outro modal de transporte concorrente, o Expresso Jundiaí, um serviço de transporte de passageiros rápido de ligação entre Jundiaí e São Paulo, com cerca de 47km de extensão e tempo de viagem estimado em 25 minutos.

Mais uma vez, a idéia não seguiu em frente devido à falta de dados. Na época, não existiam projetos preliminares e nem estudos desta nova alternativa de transporte, impossibilitando o trabalho de comparação, já que o projeto TAV Brasil também não possui quase nenhum tipo de material concreto.

A proposta seguinte a ser seguida foi a análise crítica dos relatórios realizados pelo consórcio Halcrow-Sinergia em 2009, encomendado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Os relatórios consistem em uma análise de viabilidade envolvendo todas as disciplinas envolvidas no projeto. Paralelamente, seriam feitas pesquisas junto ao público e aos profissionais ligados à área de transporte e infraestrutura, buscando absorver qual era a visão popular ao projeto, que é alvo de constante discussão com relação à sua real necessidade para a sociedade.

A apresentação do TF1 no primeiro semestre foi feita abordando esta proposta, porém foi sugerida sua modificação por ser considerada excessivamente abrangente e alegando que a pesquisa popular não teria nenhuma validade normativa.

O tema novamente sofria alterações, buscando ser menos abrangente em sua abordagem.

Planejou-se, então, o estudo das alternativas de localização da estação do Trem de Alta Velocidade em São Paulo, comparando a região da Água Branca com a região do Campo de Marte. Foi feita uma reunião em Julho com o Diretor de Planejamento da CPTM, Silvestre Eduardo Rocha Ribeiro, para a discussão das intenções do poder público com relação ao assunto e para a coleta de informações e materiais relevantes para o desenvolvimento do trabalho. Novamente, o resultado da reunião provocou a mudança do tema, já que não existiam dados suficientes para o desenvolvimento desse trabalho. Sobre esta questão são apresentados alguns comentários específicos e comparações das duas alternativas de localização para a estação em São Paulo no item 4.2.

Posteriormente, em reunião com os orientadores e buscando se basear nas poucas informações e materiais concretos do Trem de Alta Velocidade Brasileiro, foi definido que o trabalho teria como base a licitação da primeira etapa do projeto, escolha da tecnologia e operação do TAV, e a análise das alternativas de tecnologia existentes que poderão ser escolhidos para o projeto brasileiro.

4.2 Comentários Sobre a Localização da Estação em São Paulo

O projeto do Trem de Alta Velocidade brasileiro do Governo Federal prevê que a estação da cidade de São Paulo seja localizada no terreno onde atualmente se encontra o Aeroporto Campo de Marte. Tal escolha tem gerado críticas por conta de sua localização, distante de centros financeiros da cidade, como as avenidas Faria Lima e Paulista, e pela falta de conexão com outros modos de transporte, como o metrô e os trens metropolitanos da CPTM. Além disso, seria necessário remanejar o aeroporto para outra localidade, o que desagrada às empresas de aviação que o utilizam.

A escolha pelo Campo de Marte também faz surgir uma situação atípica em relação a outras cidades do mundo, em que a estação ferroviária se localiza próximo ao centro da cidade, e o aeroporto encontra-se ao redor da mesma. Em São Paulo, o Aeroporto de Congonhas estaria mais próximo aos centros financeiros, enquanto a estação do TAV se localizaria em uma área mais periférica da cidade, o que a tornaria menos atrativa para os passageiros. (Halcrow, 2008)

O Governo do Estado de São Paulo sugere que a estação paulistana seja integrada à estação Água Branca, que atualmente pertence à Linha 7 - Rubi da CPTM. Esta estação é cotada para receber os trens regionais que ligarão a capital às cidades do ABC Paulista/Santos, São Roque/ Sorocaba, Jundiaí/Campinas e São José dos Campos. Ela também servirá de parada para a Linha 6 - Laranja do Metrô, prevista para ser entregue em 2018, próximo ao prazo esperado para início das operações do TAV. O governo estadual acredita que a estação possa se transformar em um “hub” ferroviário, com acesso aos trens da CPTM, ao Metrô e ao Trem de Alta Velocidade, de maneira que tais modos de transporte sejam complementares, facilitando o acesso aos passageiros de diversas regiões de São Paulo e de outras cidades. (Jornal Valor Econômico, 2012)

A seguir, foram analisados os acessos atuais às duas regiões que podem abrigar a estação do Trem de Alta Velocidade.

4.2.1 Campo de Marte

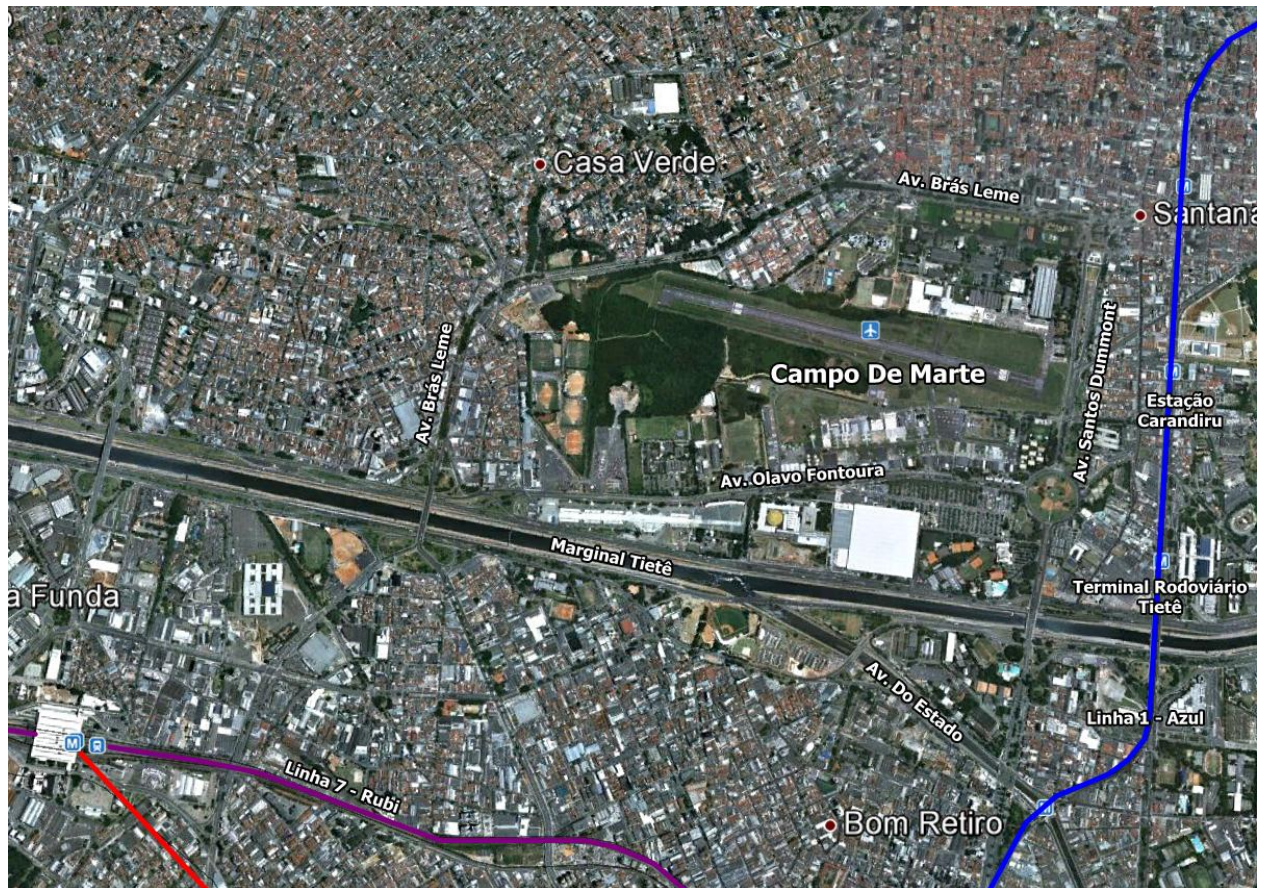


Figura 11 – Campo de Marte

O Campo de Marte localiza-se no bairro de Santana, pertencente à Zona Norte da cidade de São Paulo, à margem direita do rio Tietê. É envolto à leste pela Av. Santos Dummont, ao Sul pela Av. Olavo Fontoura, à oeste pela Rua Brazelista Alves de Carvalho e ao norte pela Av. Brás Leme e Rua Tenente Rocha.

O Terminal Rodoviário Tietê, integrado à estação Portuguesa-Tietê da Linha 1 – Azul do Metrô, encontra-se a 2,4km de distância (percorrido por automóvel) da entrada atual do Aeroporto Campo de Marte, na Av. Santos Dummont, 1979. Caso se faça o trajeto a pé, a distância a ser percorrida é de 1,2km.

A estação de Metrô mais próxima à atual entrada do Aeroporto Campo de Marte é a Carandiru, que está a 2,0km de distância por automóvel ou 550m caso se percorra o trecho a pé. As estações de trem metropolitano da Barra Funda e Luz distam mais de 5km do Campo de Marte.

Para que haja melhor integração do Trem de Alta Velocidade com outros serviços de transporte metropolitano, haveria de ser implantada uma linha de metrô integrada à

estação do TAV, ou então uma conexão metroviária entre tal estação e alguma linha existente do metrô. (Relatório Ambiental – Prime – 2008)

4.2.2 Água Branca

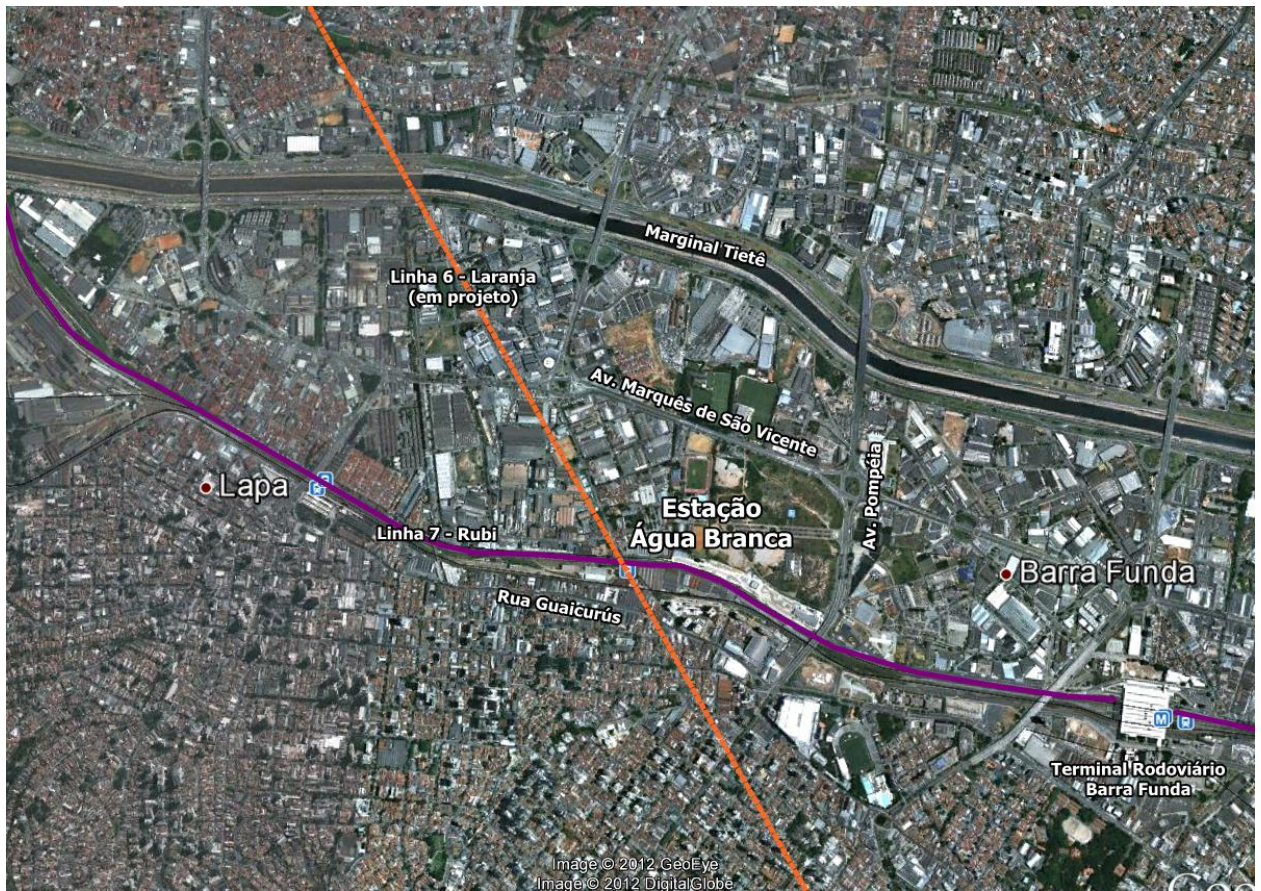


Figura 12 – Água Branca

A estação de trem metropolitano da CPTM Água Branca está localizada no bairro de mesmo nome, pertencente à Zona Oeste da cidade de São Paulo. O seu entorno é composto pela Rua Guaicurús e Rua Carijós ao sul e pela Av. Santa Marina à leste. Mais à oeste, encontra-se a Rua do Curtume. Ao norte, a estação faz divisa com galpões da Saint Gobain.

Esta estação pertence à Linha 7-Rubi da CPTM, que faz a ligação entre a estação da Luz, no centro, à cidade de Jundiaí, passando por Pirituba, Caieiras, Franco da Rocha, Francisco Morato e Campo Limpo. O Terminal Rodoviário da Barra Funda encontra-se a 2,3km de distância, e possui integração à linha 7-Rubi e à Linha 2-Vermelha do Metrô.

A futura Linha 7-Laranja do Metrô, que terá uma parada na estação Água Branca, percorrerá a região noroeste da cidade, ligando a Vila Brasilândia à estação São Joaquim.

5 LICITAÇÃO NO BRASIL

Entre os anos de 2010 e 2011, a licitação do TAV brasileiro passou por três tentativas fracassadas de viabilização do projeto. Em 2010, o processo foi adiado por duas vezes para ajustes finais da minuta do edital e também por falta de interessados. Em 2011, quando a licitação finalmente ocorreu, nenhuma empresa entregou proposta ao governo brasileiro.

Na ocasião, o modelo de concessão proposto pelo governo envolvia a tecnologia, operação e construção civil em uma única etapa, incentivando o consórcio entre fabricantes de trens e empreiteiras brasileiras.

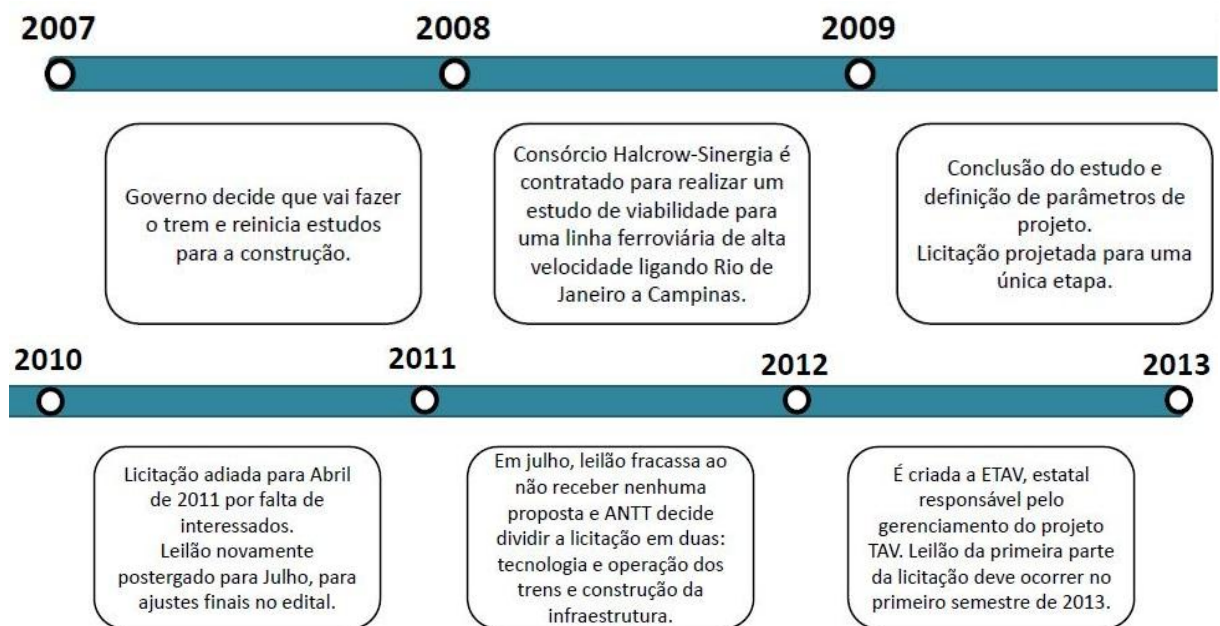


Figura 13 - Linha do Tempo da Licitação do TAV Brasileiro

O fracasso da licitação teve como um dos principais motivos a opinião unânime das cinco principais construtoras do país: Andrade Gutierrez, Queiroz Galvão, OAS, Odebrecht e Camargo Corrêa. Todas alegaram que o projeto seria inviável caso se mantivessem os preços apresentados pelo BNDES para a obra.

O edital lançado anteriormente previa um valor de R\$34,6 bilhões para o projeto, sendo composto por 30% do custo em tecnologia e 70% em obras civis. Pelas contas das empreiteiras, porém, o valor estava longe de refletir o real valor da obra. Mesmo levando em conta os preços de mão-de-obra e insumos estimados pelo governo, o TAV atingiria algo próximo à R\$50 bilhões. Caso fossem considerados os custos realmente praticados no mercado, o preço saltaria para mais de R\$60 bilhões.

Somado ao orçamento longe da realidade, havia uma grande dificuldade por parte dos fabricantes de trens em assumir a responsabilidade de se associarem a um projeto de tamanha magnitude, alegando não poder se expor aos mesmos riscos que os de uma empresa de construção civil devido à inferior participação no projeto. A falta de um projeto básico confiável e as incertezas em relação à demanda de passageiros foram outros fatores que afastaram possíveis interessados.

Após a ausência de interessados na licitação do TAV, o governo decidiu alterar o modelo de concessão, dividindo o processo em duas etapas: a primeira licitação englobará a tecnologia e a operação do trem-bala. Os interessados farão uma proposta no leilão a partir da elaboração de um projeto básico e de estudos de demanda e tarifas. A contratação do projeto executivo detalhado do TAV ficará a cargo da ETAV¹, que definirá seus custos de construção e seu traçado; a segunda licitação definirá a responsável pela construção da infraestrutura (instalação de trilhos, pontes, viadutos e túneis).

Neste novo modelo, a tecnologia vencedora norteará a definição da infraestrutura. A obra será custeada com o dinheiro que será ofertado pela operadora do sistema na primeira parte da licitação, além de contar com financiamento do governo federal. Além disso, parte do valor arrecadado pela operadora nas tarifas cobradas dos passageiros será utilizada como uma espécie de aluguel a ser pago às construtoras durante os 40 anos de concessão.

O projeto é visto como prioridade absoluta pela presidente Dilma, que pretende fazer do TAV o grande projeto executado por sua gestão e símbolo da grandeza do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento). Por esta razão, aliado ao fato da licitação já ter fracassado anteriormente, a União tomou uma série de medidas para atrair as empresas a investirem no TAV brasileiro:

- Construção:

A realização do projeto executivo do TAV antes da licitação, que definirá a construção da infraestrutura, acabará com a dúvida em relação ao real custo do projeto, permitindo ao empreiteiro ter uma noção clara e objetiva de quanto gastará na execução e qual será sua remuneração por isso.

A ilustração abaixo mostra a evolução do orçamento da obra desde 1997.



Figura 14 - Evolução do Custo de Obra ao Longo do Tempo
Fonte: Folha de S. Paulo – 31/10/2012

¹ ETAV: estatal responsável pelo gerenciamento do projeto, presidida atualmente por Bernardo Figueiredo.

- Cambial:

O governo federal poderá assumir o risco cambial para os investimentos no TAV, através de uma espécie de “blindagem” do governo no financiamento do BNDES contra a possível desvalorização do real até o início da operação do sistema.

Tal medida mitigaria os efeitos da variação cambial para os investidores, já que boa parte dos equipamentos (material rodante e sistemas) será importada.

- Demanda:

Temendo que empresas estrangeiras deixem de participar do leilão por receio de que as expectativas de demanda não sejam atendidas, o governo resolveu assumir parte do risco. A concessionária responsável pela operação pagará pela outorga de uso da infraestrutura apenas o valor correspondente à efetiva demanda verificada, mesmo que o volume de passageiros seja inferior ao projetado pelos estudos encomendados pelo governo à Halcrow. Isso acaba com a insegurança que tinham as empresas no antigo modelo de licitação com relação às elevadas projeções de demanda por parte do governo.

- Exploração Imobiliária:

O novo modelo prevê que a exploração comercial das estações do trem de alta velocidade, como a oferta de lojas, hotéis e apartamentos, entre outros, fique nas mãos do consórcio de empreiteiras que sair vencedor da etapa de construção da infraestrutura do projeto. A exploração imobiliária das estações e seus entornos tornou-se fator decisivo para a viabilidade do projeto devido às altas projeções destas receitas comerciais, superando de longe o faturamento previsto com a venda de passagens. Desta forma, acredita-se que as construtoras teriam condições de cobrar um valor mais baixo para assumir as obras do projeto, já que teriam uma fonte de renda bastante promissora em mãos.

Além disso, o construtor terá uma relação comercial com o operador, alugando a infraestrutura que construir para o operador através do pagamento de uma parcela fixa. A idéia é que o peso desta parcela diminua devido ao grande potencial de receitas comerciais que possuirá o consórcio construtor, permitindo que as duas partes possam oferecer propostas mais atrativas no leilão.

Além das mudanças previstas acima, o governo dividirá a construção da infraestrutura em aproximadamente 10 (dez) trechos de 50km, de forma a evitar que um único grupo fique responsável por toda a via. Com isso, serão criadas frentes de trabalho paralelas, evitando que as obras fiquem à cargo de um número limitado de construtoras e reduzindo atrasos ocasionados por problemas com os serviços de determinada empreiteira. O projeto executivo também será contratado por trechos.

5.1 Concessão da Operação do Trem de Alta Velocidade

A concessão do serviço do trem de alta velocidade acontecerá por meio de um leilão, a ser realizado no dia 29 de maio de 2013, com a assinatura do contrato prevista para acontecer em 7 de novembro de 2013. Para tanto, a Agência Nacional de Transportes Terrestres divulgou, no dia 23 de agosto de 2012, a Minuta do Edital de Concessão e as datas das audiências públicas para seu aperfeiçoamento, realizadas entre 11 e 21 de setembro de 2012.

Caberá à empresa vencedora:

- Fornecimento e montagem da superestrutura;
- Execução dos trabalhos;
- Operação, manutenção e conservação do TAV;
- Transferência de tecnologia;
- Prestação dos serviços rodoviários, de acordo com os parâmetros de desempenho estabelecidos pelo Programa de Exploração Rodoviária;
- Realização dos reinvestimentos na infraestrutura e superestrutura;
- Exploração das áreas funcionais;
- Execução das atividades e obras relacionadas à proteção acústica; e
- Projeto, implantação e operação dos dispositivos de controle ambiental relativos à superestrutura, instalações auxiliares, material rodante e operação.
(Minuta do Edital de Concessão)

A construção da infraestrutura e a produção do projeto executivo do TAV serão licitadas em fases posteriores, sendo as empresas formadoras do consórcio vencedor do leilão da operação do TAV proibidas de participar das outras etapas da implantação do projeto.

É de responsabilidade do governo ceder a Infraestrutura à concessionária em condições técnicas para receber a montagem da superestrutura. A concessionária terá, após o recebimento, o prazo de 60 meses para iniciar as operações do Trem de Alta Velocidade. O período total de concessão será de 40 anos, contados a partir do início da operação.

Para que possa operar o TAV, a concessionária deverá atender a diversos requisitos qualificatórios, entre eles já ter histórico de operação em trens de alta velocidade por mais de 10 anos, sem apresentar acidentes fatais neste período, ter experiência na implantação do material rodante, sistemas elétricos, de iluminação, segurança e outros sistemas relativos ao TAV e ser provedora de tecnologia.

A concessionária garantirá sua receita por meio da cobrança de tarifas, que não deverá ultrapassar o valor de R\$0,49 por quilometro rodado, e também pela exploração das áreas funcionais, como aluguel de espaços nas estações para lojas e lanchonetes.

Em contrapartida, pelo direito de concessão será feito o Pagamento pela Outorga, com o valor mínimo de R\$66,12 por Trem.KmEquivalente. Além disso, o governo terá o direito de 9% da receita líquida obtida pelas receitas extraordinárias.

As propostas dos participantes do leilão serão classificadas de acordo com a melhor oferta para a administração, de acordo com a seguinte equação:

Equação 1
$$NF = \frac{\alpha * O - \beta * I}{VR}$$

Sendo:

NF = Nota Final da Proposta Econômica;

O = Valor de Pagamento pela Outorga, sendo $O \geq 66,12$;

I = Valor Estimado dos Custos;

VR = Valor de Referência obtido pelo governo em seus estudos, igual a R\$15.229.713.369;

$\alpha = 417.800.581,79$; e

$\beta = 0,72$.

(Minuta do Edital de Concessão)

6 MATERIAL RODANTE

6.1 Tecnologia

6.1.1 Características Operacionais Básicas

- Bitola:

A bitola padrão internacional é de 1.435mm. Apesar disso, muitos países utilizam diferentes tamanhos, destacando-se a Espanha que utiliza em seu sistema de alta velocidade uma bitola de 1.668mm. A diferença de tamanhos utilizados na Europa obrigou que muitos fabricantes de material rodante desenvolvessem uma tecnologia capaz de mudar o tamanho da bitola do trem, sem a necessidade de interrupção da viagem.

- Carga por eixo:

A carga por eixo influencia diretamente na manutenção da infraestrutura, quanto maior o valor da carga, maior será a necessidade de manutenção. Portanto, a redução de peso da composição é sempre vantajosa, ainda mais se for considerada a redução do consumo de energia. Os menores valores máximos de carga por eixo são encontrados em trens de estruturas não articuladas e EMU's.

- Comprimento:

O comprimento do trem está relacionado à demanda da via. A composição do trem pode ser modificada de acordo com o serviço previsto, expresso ou parador, e o horário em que estará atuando, no pico ou fora dele, podendo operar com sua capacidade máxima ou com menos carros em sua composição.

- Distribuição de potência:

Os trens podem ter sua força de tração distribuída ou concentrada. Ultimamente, nos sistemas de trens de alta velocidade, tem-se utilizado mais do sistema de tração distribuída devido à melhor adesão do sistema roda-trilho, do menor valor máximo de carga por eixo, da maior capacidade de passageiros e da redução do esforço trator o que resulta em um menor risco de descarrilamento, menor desgaste de componentes e consumo de energia otimizado. Porém, deve-se considerar que um sistema de tração distribuída tem como desvantagem principal a dificuldade na composição das diversas unidades devido à diferença na estrutura de cada uma.

- Trens articulados ou não articulados:

Os trens articulados são aqueles que têm os truques intermediários montados entre os carros sob articulações. Algumas de suas vantagens são o menor número de truques, o que proporciona um menor custo com manutenção destes e trens mais

leves, maior conforto de viagem devido à sua estrutura mais rígida e maior segurança em caso de descarrilamento.

As vantagens dos trens não articulados são a maior facilidade de separação dos carros, facilitando a manutenção, menor carga por eixo, maior flexibilidade na composição dos trens e menor número de separações, o que permite uma maior capacidade dos trens.

- Estrutura:

A estrutura do trem deve ser rígida para que a viagem seja mais confortável. Uma medida a ser tomada é posicionar as portas nos extremos dos carros, para que a estrutura não fique vulnerável.

O componente mais pesado da estrutura do material rodante é o truque. De forma que quanto mais simples for seu sistema, mais leve será a composição e melhor será o desempenho do trem.

- Sistemas de frenagem regenerativa:

O sistema de freios regenerativo tem como principal vantagem a redução no consumo de energia, que pode chegar a até 17%. O uso do sistema regenerativo desgasta menos os componentes de frenagem por atrito, diminuindo os custos com manutenção. Seu uso, porém, não garante uma frenagem total, por isso ainda há a necessidade de uso de sistemas mecânicos para possíveis emergências.

- Trens com dois andares:

A principal vantagem dos trens de dois andares está em sua maior capacidade de transportar passageiros, o que proporciona uma redução dos custos operacionais e do investimento inicial. As desvantagens consistem em maior carga por eixo e baixa resistência a ventos.

6.1.2 Desempenho

- Velocidade:

Podem-se classificar os tipos de material rodante em três categorias de acordo com sua velocidade, sendo elas *very high speed train*, *high speed train* e *high speed for conventional lines*. As faixas de velocidade são de mais de 300km/h, de 240km/h a 300km/h e de 200km/h a 250km/h, respectivamente. (UIC, *Necessities for future high speed rolling stock*, 2010)

6.1.3 Aerodinâmica

- Resistência aerodinâmica:

O gabarito dos trens afeta diretamente a eficiência aerodinâmica destes. Quanto menores forem as dimensões do trem, menor será sua superfície o que diminuirá a resistência ao movimento. Porém, vale mencionar que a diminuição das dimensões do trem pode causar perda de conforto para os passageiros. Uma tendência do design aerodinâmico dos novos trens é o alongamento do nariz, visando um melhor desempenho em relação à resistência.

6.1.4 Conforto

- Sistema pendular:

O sistema pendular foi desenvolvido com a intenção de proporcionar maior conforto aos usuários nos trechos em curva. Esta tecnologia também permite que o trem não desacelere tanto ao realizar uma curva, diminuindo os tempos de viagem. Sua velocidade pode ser 15% maior que a de trens convencionais em vias sinuosas já existentes.

As desvantagens dos trens pendulares são suas dimensões menores que o convencional, o que pode refletir no conforto dos passageiros em relação a espaço; e o aumento do efeito dinâmico nos trilhos, causado pelas velocidades superiores do trem nas curvas. Este tipo de material rodante é geralmente utilizado em linhas que não foram desenvolvidas especificamente para trens de alta velocidade, ou seja, linhas que foram construídas para a operação de trens convencionais.

6.2 Tecnologias Internacionais

Neste item serão apresentados os modelos de material rodante existentes atualmente no mercado de trens de alta velocidade.

6.2.1 Alstom:

Apesar de seu grande reconhecimento pelo desenvolvimento dos diversos tipos de TGV (Train à Grande Vitesse) operando pelo mundo, a Alstom fabrica atualmente apenas três tipos de trens de alta velocidade: Pendolino, Euroduplex e AGV (Automotrice à Grande Vitesse).

A Alstom é uma empresa conhecida nacionalmente por fornecer trens e serviços para o Metrô de São Paulo, CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, Metrô do Rio de Janeiro, Metrô de Brasília e Vale. Possui uma fábrica de material ferroviário na Lapa, bairro da cidade de São Paulo.

- Pendolino:

Inicialmente projetado pela empresa italiana Fiat Ferroviaria, a linha de trens Pendolino é fabricada atualmente pela Alstom. O sistema de controle da inclinação pode funcionar de duas formas: reativo ou antecipador. No primeiro, os trens possuem giroscópios e acelerômetros que percebem a inclinação da via e a partir das informações captadas, o sistema propulsor inclina o trem o quanto for necessário. Já no sistema antecipador, o próprio trem tem um mapa da via e receptores transmitem dados que permitem ao sistema de controle saber exatamente o ponto da via onde o trem se encontra e transmitir a inclinação necessária para o trem realizar a curva.

Outras vantagens do Pendolino são seu menor consumo de energia pela utilização de freios regenerativos e uma maior segurança devido a um sistema de absorção de impactos. O trem pode alcançar velocidades de até 250km/h, pode ser fabricado de acordo com a bitola padrão ou uma mais larga, 1.522mm. A fonte de tensão pode ser de 4 voltagens diferentes: 25kV, 15kV, 3kV ou 1,5kV. Atualmente, o trem Pendolino fabricado pela Alstom compõe a frota de linhas como Trenitalia (Itália), Cisalpino (Suíça e Itália), Virgin (Reino Unido) e VR (Finlândia e Rússia).

PRINCIPLE OF THE TILTING SYSTEM

--- UIC dynamic gauge

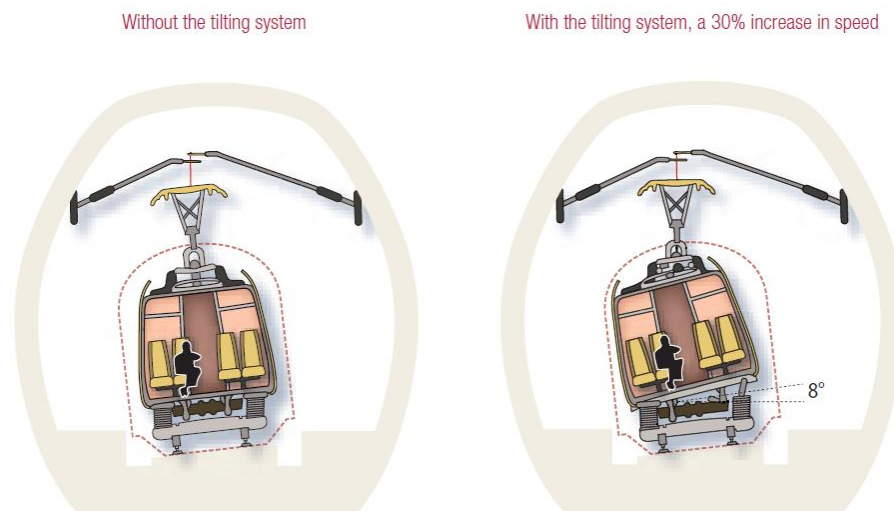


Figura 15 – Pendolino
Fonte: AT Magazine (05/2012)

- Euroduplex:

Terceira geração da linha de dois andares da Alstom, o Euroduplex, junto com o AGV (Automotrice à Grande Vitesse), compõem a linha de trens VHST - *very high speed trains* da empresa francesa. A principal característica deste tipo de material rodante é sua capacidade de transportar maior número de passageiros, até 40% a mais que trens de apenas um andar, o que permite um maior retorno por assento, ou seja, uma diminuição nos custos operacionais. A sua disposição interior proporciona um maior conforto aos passageiros. Devido a sua alta capacidade, é normalmente

utilizado em trechos com alta demanda. O Euroduplex está sendo usado na linha Rhino-Rhône, na França.



Figura 16 – Euroduplex

Fonte: <http://www.flickr.com/photos/tgveurofrance/6899372082/lightbox/>

- AGV – Automotrice à Grande Vitesse:



Figura 17 – AVG

Fonte: <http://www.alstom.com>

O AVG é a linha mais recente de trens de alta velocidade da Alstom. Os trens AVG são articulados e podem operar a 360km/h. Seu sistema de alimentação suporta 4 níveis de tensão diferentes, mas sua economia de energia está ligada, principalmente, ao uso de freios regenerativos (produz até 8MW de energia elétrica)

e a um número reduzido de truques. O motor possui um sistema de imãs permanentes que o torna mais leve e mais econômico. A desvantagem deste material rodante é uma maior solicitação da via causada pelo menor número de truques. Os AGV's estão em operação na linha italiana que liga Milan à Nápoli desde 28 de abril de 2012.

6.2.2 CAF – Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles

O portfólio da empresa espanhola CAF é composto por quatro modelos de material rodante de alta velocidade: ATPRD S-120, Ankara Istanbul, Oáris e S-104, sendo que este último foi desenvolvido para operar como *shuttle* a distâncias inferiores a 200km. Por este motivo, a série 104 não será descrita neste trabalho. Já o modelo que opera na linha Ankara Istanbul, foi desenvolvido especialmente para este trajeto e baseado na série S-120. De forma que também não será descrito individualmente.

A CAF já atua no mercado brasileiro fornecendo trens para o Metrô de São de Paulo e, principalmente, para a CPTM. Possui uma fábrica em Hortolândia, interior de São Paulo.

- ATPRD s-120:

Material rodante de alta velocidade fabricado pela CAF, o ATPRD S-120 é feito de alumínio e pode atingir velocidades da ordem de 250km/h. Seu sistema de frenagem é composto por freios regenerativos e reostáticos, capazes de economizar energia; além de freios a disco com comando pneumático. O trem funciona com diferentes níveis de tensão, 25kV em corrente alternada de 50Hz de frequência ou 3kV com corrente contínua. Para cada tipo de fonte de alimentação, há uma potência de motor: 4MW e 2,7MW respectivamente. Seu diferencial está na variação da bitola (1.668mm/1.435mm) sem necessidade de interrupção da viagem. Está em operação na linha Alvia, que liga Madrid a Barcelona, desde 2006.



Figura 18 - ATPRD s-120
Fonte: <http://www.caf.es>

- Oáris:

Seguindo as tendências atuais do mercado, a CAF desenvolveu o Oáris para que atendesse a demanda dos chamados VHS – *very high speed*, ou seja, trens que operam a velocidades superiores a 300km/h. Visando a interoperabilidade, principalmente no continente europeu, o Oáris pode operar em 4 níveis de tensão diferentes (1,5 ou 3kV em corrente contínua; 15 ou 3kV em corrente alternada) além de mudar da bitola convencional (1.435mm) para a Ibérica (1.668mm) sem a necessidade de interrupção da viagem. A força de tração pode chegar até 10MW.

O sistema de freios é do tipo reostático-regenerativo. O Oáris está em fase de testes, por isso ainda não opera em nenhuma linha.



Figura 19 – Oáris
Fonte: <http://www.caf.es>

6.2.3 Bombardier Transportation

A Bombardier é uma empresa canadense mais conhecida pela atuação no ramo da fabricação de aviões. No Brasil, como Bombardier Transportation, será a responsável pela fabricação dos trens monotrilhos que operarão na continuação da Linha 2 – Verde do Metrô de São Paulo. Em função disso, inaugurou em abril de 2012, uma fábrica na cidade de Hortolândia, interior de São Paulo. (<http://newsbombardierbrasil.blogspot.com.br> – 14 de abril de 2012).

Atualmente, as linhas de material rodante da Bombardier Transportation são Zefiro, AVE, Acela e X2000.

- Zefiro:

A linha Zefiro possui três versões de material rodante. A primeira é a Zefiro 250, operante na China em uma linha noturna. Sua velocidade pode chegar até a 250km/h. Possui sistema de tração distribuída com potência de 13,5MW no nível de tensão de 25kV para CA. Sua carga por eixo é de 16,5 toneladas.

Também na China, opera a linha Zefiro 380 de VHS – *very high speed train*. Com velocidade operacional de 380km/h, o Zefiro 380 utiliza a nova tecnologia desenvolvida pela Bombardier ECO4 que possibilita um menor consumo de energia por assento. Funciona sob nível de tensão de 25kV CA com potência de até 20MW. O valor de carga por eixo é de 17 toneladas.

Por fim, o V300 é a linha operante da Bombardier Transportation na Europa, especificamente na Itália. Visando a interoperabilidade, este material rodante foi desenvolvido para operar sob 4 níveis de tensão : 1,5kV ou 3kV em CC e 15kV ou 25kV em CA. Possui sistema distribuído de potência, que pode chegar a 8,8MW. Sua velocidade operacional fica entre 300km/h a 360km/h e seu valor de carga por eixo é de 17 toneladas.



Figura 20 – Zefiro

Fonte: <http://www.zefiro.bombardier.com>

A linha Zefiro utiliza de sistemas operacionais e de um *design* aerodinâmico para reduzir o consumo de energia e melhorar o desempenho dos trens. Dentre alguns destes sistemas, estão incluídos sistema de gerenciamento do consumo e distribuição de energia e sistema de controle de temperatura. Entre as características aerodinâmicas, destacam-se as coberturas dos truques e dos componentes do pantógrafo que além das vantagens já citadas, reduzem o volume de ruído gerado por estas estruturas.

- AVE:

A linha AVE tem duas séries de trens, o S-102 e o S-130. O primeiro opera na linha que liga as cidades de Madrid e Barcelona até a fronteira com a França a uma velocidade de até 330km/h. Utiliza fonte de alimentação de 25kV com motor de potência de 4MW. Seu valor máximo de carga por eixo é de 17 toneladas e sua extensão é de 20,87m. O AVE S-120 possui a tecnologia de freios regenerativos.



Figura 21 - AVE S-102

Fonte: <http://www.bombardier.com>

A série S-130 possui tecnologia para mudança de bitola e para operar em dois níveis de tensão diferentes. A bitola pode variar do padrão de 1.435mm para a Ibérica de 1.668mm. Já a fonte de alimentação pode ser de 3kV para corrente contínua ou 25kV para corrente alternada. O AVE S-130 pode atingir velocidades de até 250km/h utilizando como sistema de freio uma combinação de discos de freio e sistemas regenerativos e reostáticos de frenagem. Os valores da potência são de 2,4MW para corrente alternada e 2,0MW para corrente contínua. Esta série de material rodante opera na Espanha.

- Acela Express:

Material rodante da Bombardier Transportation operante na linha norte-americana que passa por cidades como Washington, Nova York e Boston no corredor nordeste do país a uma velocidade de 240km/h. Esta é a única linha dos EUA considerada de alta velocidade. O Acela Express utiliza o sistema pendular para fornecer maior conforto de viagem e sistemas de frenagem regenerativos para menor consumo de energia. Este material rodante é fabricado com bitola padrão e pode operar em dois níveis de tensão: 15kV ou 25kV CA. O comprimento do trem é de 203m com uma composição de 6 carros. A capacidade é de 304 passageiros. Este é um projeto realizado em conjunto com a Alstom.

- X2000:

X2000 é o material rodante com sistema pendular que opera na linha sueca que liga Estocolmo com Gothenburg. Desde sua implementação, os tempos de viagem caíram mais de 25%. A velocidade máxima atingida pelo trem é de 210km/h. A composição pode ser de 4 carros, com 89m de extensão, ou de 6 carros, 165m, com capacidade de até 330 passageiros sentados.



Figura 22 - Bombardier X2000
Fonte: <http://www.bombardier.com>

6.2.4 Siemens

A Siemens é uma empresa alemã que tem em seu portfólio de material rodante de alta velocidade o trem ICE3, da linha Velaro. A Siemens já atua no mercado metroferroviário paulistano modernizando trens da Linha 1 – Azul e fornecendo sistema de automação para a Linha 4 do Metrô. Em 2009 foi inaugurada a fábrica da empresa em Cabreúva, interior de São Paulo. (Revista Ferroviária, 29/09/2010)

- ICE3:

Em parceria com a Bombardier Transportation, foi desenvolvido o ICE3 com velocidade máxima de 330km/h. O trem é composto por oito carros de bitola padrão que possuem sistema de tração distribuído por toda sua extensão, 200 m. Quatro

carros possuem, cada um deles, quatro motores de tração de 500kW, totalizando uma potência de 8MW. A utilização de freios regenerativos, eficientes devido ao grande número de eixos tracionados, combinada com a aerodinâmica do trem, permite uma redução no consumo de energia. Esta linha de material rodante pode ser utilizada em casos de baixa taxa de adesão e gradientes íngremes. Atualmente, linhas da Alemanha e Holanda operam com o ICE3.



Figura 23 - ICE3

Fonte: <http://www.bombardier.com>

6.2.5 Hyundai Rotem

A Hyundai é a empresa mais nova no mercado de trens de alta velocidade. É uma empresa coreana que atua no mercado brasileiro fornecendo o material rodante usado na Linha 4 do Metrô de São Paulo e que demonstrou grande interesse em se candidatar para a licitação do trem de alta velocidade brasileiro. Atualmente, a empresa fabrica apenas a linha KTX-Sancheon no segmento de alta velocidade.

- KTX-Sancheon:

Esta linha de trem de alta velocidade opera no metrô de Seul, na Coreia do Sul. Possui uma velocidade de projeto de 330km/h. Sua composição é formada por 10 carros de 20,10m cada e possui capacidade de 400 passageiros. Utiliza bitola padrão (1.435mm), sistema de alimentação de 25kV para corrente alternada de frequência de 60Hz e sistema de freio eletro-pneumático.



Figura 24 - Hyundai Rotem KTX

Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=936756&page=3>

6.2.6 Talgo

Empresa espanhola fabricante das linhas T350 e Avril.

- T350:

Operando nas linhas que ligam Madrid às cidades de Barcelona e Valladolid desde 2007, Talgo 350 é a primeira linha de VHS – *very high speed*, da fabricante espanhola. Com duas unidades propulsoras, uma em cada extremidade (Figura 25), sua potência é de 4MW em um nível de tensão de 25kV em corrente alternada de frequência igual a 50Hz.

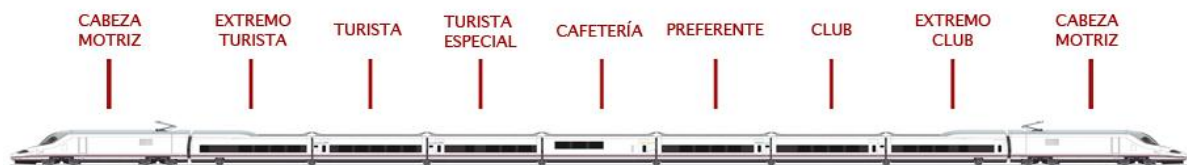


Figura 25 - Composição do trem T350

Fonte: <http://www.talgo.com>

A extensão da composição pode chegar ao valor máximo de 200m e a bitola utilizada é a padrão. Seu sistema de frenagem é composto por freios pneumáticos e elétricos (reostáticos e regenerativos). Sua estrutura é articulada e o valor máximo de carga por eixo é de 17 toneladas. Para proporcionar melhor conforto de viagem aos passageiros, utiliza sistema pendular.



Figura 26 - Talgo T350
Fonte: <http://www.talgo.com>

- Avril:

Mais nova série de material rodante da Talgo, AVRIL significa *Alta Velocidad Rueda Independiente Ligero*. Suas principais características são sua alta capacidade para um trem de apenas um andar e sua flexibilidade para atender os requisitos de interoperabilidade, incluindo possibilidade de alteração da bitola para três tamanhos – 1.435mm, 1.520mm e 1.668mm; a possibilidade de operação em quatro níveis de tensões diferentes; e a possibilidade de possuir sistema pendular ou não. Apesar de sua velocidade máxima ser 380km/h, possui um consumo de energia menor do que o esperado devido à leveza de sua estrutura. Alta capacidade do trem está relacionada à disposição do espaço interior, os assentos ficam no formato 3+2 como mostrado na Figura 27.

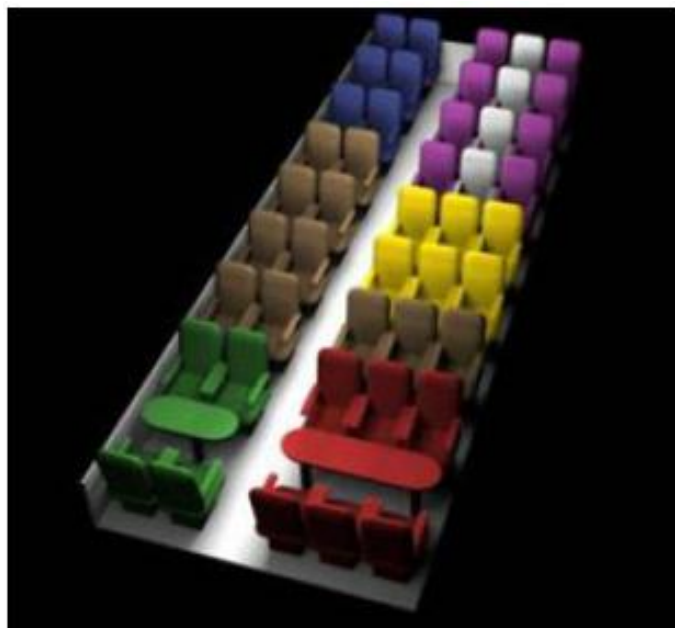


Figura 27 - Disposição dos Assentos no Trem AVRIL
Fonte: <http://www.talgo.com>



Figura 28 - Talgo AVRIL
Fonte: <http://www.talgo.com>

6.2.7 Hitachi

A empresa japonesa Hitachi é a responsável pela fabricação do Shinkansen, o trem de alta velocidade japonês. Além dele, a empresa também fabrica a linha Classe 395 que opera no Reino Unido.

- Shinkansen série 800:

Esta linha de material rodante está operando desde 2004 na linha Tsubame a uma velocidade máxima de 260km/h. Opera com fonte de alimentação de 25kV em corrente alternada com frequência de 60Hz e sua potência é de 6,6MW. Sua composição é de 6 vagões motorizados com capacidade de transportar 392 passageiros. O Shinkansen série 800 utiliza a bitola padrão (1.435mm).



Figura 29 - Shinkansen série 800

Fonte: <http://findingfukuoka.com/2011/03/07/opening-of-the-kyushu-shinkansen-bullet-train/>

- Classe 395:

Operando no Reino Unido, este material rodante tem velocidade máxima de 225km/h e funciona sob dois níveis de tensão distintos: 750V em corrente contínua e 25kV em corrente alternada. Possui 16 motores distribuídos em quatro vagões e utiliza freios dinâmicos e regenerativos. Uma de suas vantagens está em sua maior resistência a impactos.



Figura 30 - Hitachi Classe 395

Fonte: http://www.sts-rail.com/news/sts_protects_hitachi/index.html

7 SISTEMAS DE VIA DE ALTA VELOCIDADE

7.1 Via com Lastro

Os elementos principais de uma via permanente clássica são os trilhos, dormentes, fixações, placas de apoio, lastro, sublastro e subleito.

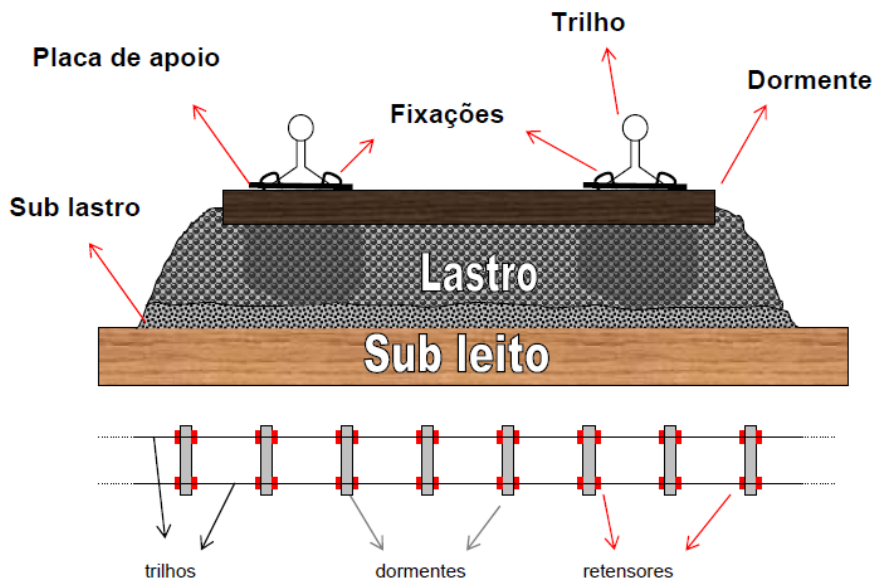


Figura 31 – Elementos de Via Permanente com Lastro
Fonte: Telmo, 2004

As principais funções do lastro em uma linha tradicional são distribuir uniformemente as cargas provindas dos dormentes, de forma a não ultrapassar a tensão admissível, estabilizar a via vertical, longitudinal e transversalmente, amortecer as ações dos veículos sobre a via, proteger a plataforma quanto às variações de umidade devido ao meio ambiente, facilitar escoamento de águas pluviais e permitir a recuperação da qualidade geométrica da via mediante operações de alinhamento e nivelamento.

Para uso de via com lastro para linhas de alta velocidade, há uma grande necessidade de um subleito altamente estável e uniforme. Os trens de alta velocidade fazem com que as cargas dinâmicas sejam transferidas para o lastro, causando desagregação do mesmo por dois mecanismos:

- Atrito ou quebra das asperezas das pedras do lastro. O atrito é problemático principalmente nas pontes e nos túneis, recomendando-se que sejam introduzidos tapetes resilientes debaixo do lastro, para evitar a rápida destruição do mesmo; e
- Reorientação das pedras de lastro se as vibrações forem fortes o suficiente para romper o intertravamento das pedras de lastro umas com as outras (perda de estabilidade).

Uma característica que pode ocorrer nesse sistema é o lastro voador. A turbulência do ar causada por trens de alta velocidade pode ser suficiente para levantar pedras

de lastro individuais do leito e do lastro, causando danos tanto ao fim de linha, quando as pedras ficam presas entre o trilho e a roda, quando a qualquer adjacência, já que as pedras são expelidas em alta velocidade.

O problema pode ser mitigado mantendo-se o nível final do lastro abaixo da superfície do dormente, usando-se uma estabilização dinâmica na via para induzir o recalque e reduzir vãos no lastro ou projetando-se cuidadosamente a parte debaixo do veículo e espaços entre veículos, diminuindo assim a turbulência de ar.



Figura 32 - Dano a Superfície do Rolamento
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 4

7.2 Vias em Laje

A via sem lastro começou a ser estudada com o início das pesquisas sobre trens de alta velocidade, em 1960. Em 1963, foram feitos na França, ensaios de circulação a mais de 200km/h para vias com lastro. Esses ensaios mostraram que os esforços transversais exercidos pelos eixos na via aumentavam com a velocidade, ultrapassando os limites estabelecidos para vias clássicas. Assim, tornou-se cada vez mais vantajoso utilizar vias em laje.

O sistema de via em laje será utilizado no trem de alta velocidade brasileiro, já que apresenta elasticidade, amortecimento, conservação e sonoridade limitada à passagem de trens. Uma classificação geral é dada na Figura 33 e na Tabela 2.

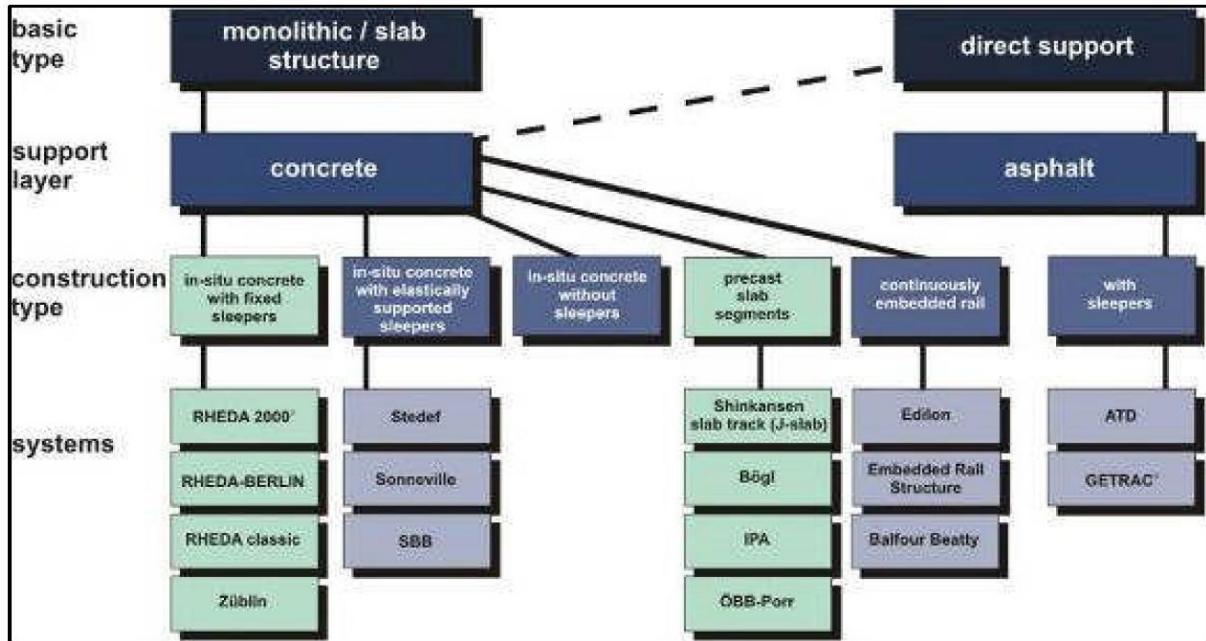


Figura 33 – Classificação de Sistemas de Via em Laje
 Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 4

Tabela 2: Classificação de Sistemas de Via em Laje

tipo básico	estrutura monolítica / em laje				suporte direto	
camada de suporte	concreto				asfalto	
tipo de construção	concreto no local com dormentes fixos	concreto no local com dormentes suportados elasticamente	concreto no local sem dormentes	segmentos de laje moldada	trilho embutido continuamente	com dormentes
sistemas	RHEDA 2000	Stedef		Shinkansen via em laje (laje j)	Edilon	ATD
	RHEDA-BERLIN	Sonneville		Bögl	Estrutura de Trilho Embutido	GETRAC
	RHEDA classic	SBB		IPA	Balfour Beatty	
	Züblin			OBB-Porr		

Os elementos principais da via sem lastro são descritos abaixo:

- Plataforma: Deve ser uma plataforma regularizada e melhorada de cimento. Deve-se atentar para que haja drenagem eficiente, de forma a não ter água livre embaixo da placa, que pode gerar o fenômeno do bombeamento (escavação progressiva sob a placa);
- Placa de base: Colocada diretamente na plataforma com o fim de se obter melhor distribuição de cargas sobre o terreno;
- Placa principal: Suporta diretamente os trilhos que são presos por elementos de fixação e por elastômeros, que cumprem as funções do lastro e dos dormentes; e

- Elastômero: Reproduzir a característica da via convencional de absorver fortes cargas com pequenas deformações.

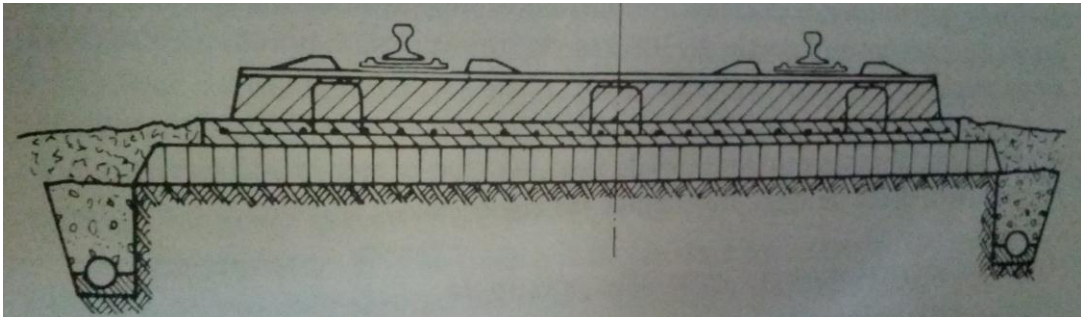


Figura 34 – Placa na Estação de Rheda-Westfalia

Fonte: Stopatto, S.

O sistema de vias em laje vem se expandindo, já que este apresenta vantagens e maior durabilidade que os sistemas com lastro para sistemas de alta velocidade. A elasticidade definida e alta da via em laje contribuirá para uma maior expectativa de via útil para todos os componentes da via.

Em relação aos custos, o de capital inicial é consideravelmente maior para vias em laje; já os de manutenção, são menores para as mesmas.

Um resumo das vantagens da via em laje em relação à via com lastro se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo de Via em Laje

Vantagens da via em laje	Desvantagens da via com lastro
Projeto e Alinhamento	
<ul style="list-style-type: none"> • Homogeneidade e boa durabilidade da via; • Permitem raios horizontais menores; • Redução de carga dinâmica nos subsolos; • Elasticidade de via homogênea e alta; • Estabilidade de via lateral e longitudinal altas (sem risco de empenamento da via); e • Altura de construção reduzida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recalque não homogêneo causado pela reorientação de partículas de lastro; • Resistência lateral limitada; • Elasticidade irregular; • Atrito de lastro em escorregamentos de pontes e túneis exige a instalação de tapetes de sublastro; e • Lastro voador.
Manutenção	
<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidade de qualidade da via geométrica; • Bom comportamento de longo prazo; e • Baixa necessidade de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioração progressiva da geometria da via; • Necessita manutenção regular do alinhamento da via (interrupção do tráfego); e • Estabilidade de via lateral reduzida após a manutenção.

Geral	
<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidade e disponibilidade, diminuindo a necessidade de redução do tráfego para manutenção; • Excelente conforto de rolamento; e • Elimina lastro voador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade de via lateral após manutenção; e • Restrições de velocidade após trabalho de socagem necessários.



Figura 35 – Via em Laje da Bögl em Nurembergue – Ingolstadt NBS
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 4

7.3 Aparelhos de Mudança de Vias de Alta Velocidade

Os Aparelhos de Mudanças de Vias são para permitir que o material rodante transite entre vias, garantindo a continuidade da via, nas acelerações e na elasticidade.

Os requisitos técnicos dos Aparelhos de Mudança de Vias para ferrovia de alta velocidade devem seguir os seguintes requisitos:

- Ao aumentar o raio da via desviada para aumentar a velocidade de circulação por ela, deve-se haver uma redução do ângulo de cruzamento. Portanto, elimina-se o ângulo de ataque nas pontas de agulha pelo uso de lanças de agulha em clotóide usinadas, reduzindo assim o solavanco lateral sentido ao seguir a rota do desvio pelo AMV em alta velocidade;
- Cróssimas móveis, fornecendo suporte e orientação constantes ao material rodante que passa através da zona de cruzamento do AMV;

- Rigidez vertical uniforme no trilho de encosto da agulha, e nas áreas de agulha e cruzamento; e
- Atuadores múltiplos de alta integridade para agulhas longas e para cróssimas móveis.



Figura 36 – AMV em Via em Laje
Fonte: Relatório Halcrow/Sinergia – Vol. 4

8 COMPARAÇÃO AMBIENTAL

A comparação ambiental foi feita com base em um estudo realizado em Portugal em 2010 pelo INTF (Instituto Nacional do Transporte Ferroviário). O objetivo geral desse estudo era comparar a competitividade ambiental para serviços ferroviários de alta velocidade, para médias e longas distâncias, com outros modais de transportes, como aviões, ônibus de longa distância e automóveis.

A comparação foi feita através da emissão de poluentes e utilizando indicadores como veículo.quilômetro² (vkm), lugar.quilômetro³ (lkm) e passageiro.quilômetro⁴ (pkm).

Para isso, contabilizaram-se as emissões associadas ao ciclo de produção de energia para todos os transportes em 2000 e 2010. Esses valores foram calculados através de valores obtidos na PNAC⁵.

Vale ressaltar que, como esse estudo foi realizado com dados obtidos em Portugal para a realidade energética nesse país, não se pode extrapolar os dados para o Brasil. Caso se queria fazer uma comparação ambiental coerente com a realidade brasileira, deve-se coletar dados que representem corretamente os consumos e emissões relativos às fontes energéticas utilizadas no país.

8.1 Consumo de Energia

De acordo com esse estudo, o trem elétrico tem um consumo energético (em MJ/lkm) equivalente ao de um ônibus de longo percurso, e de 10% do consumo de um avião, se considerarmos o indicador lugar.quilômetro.

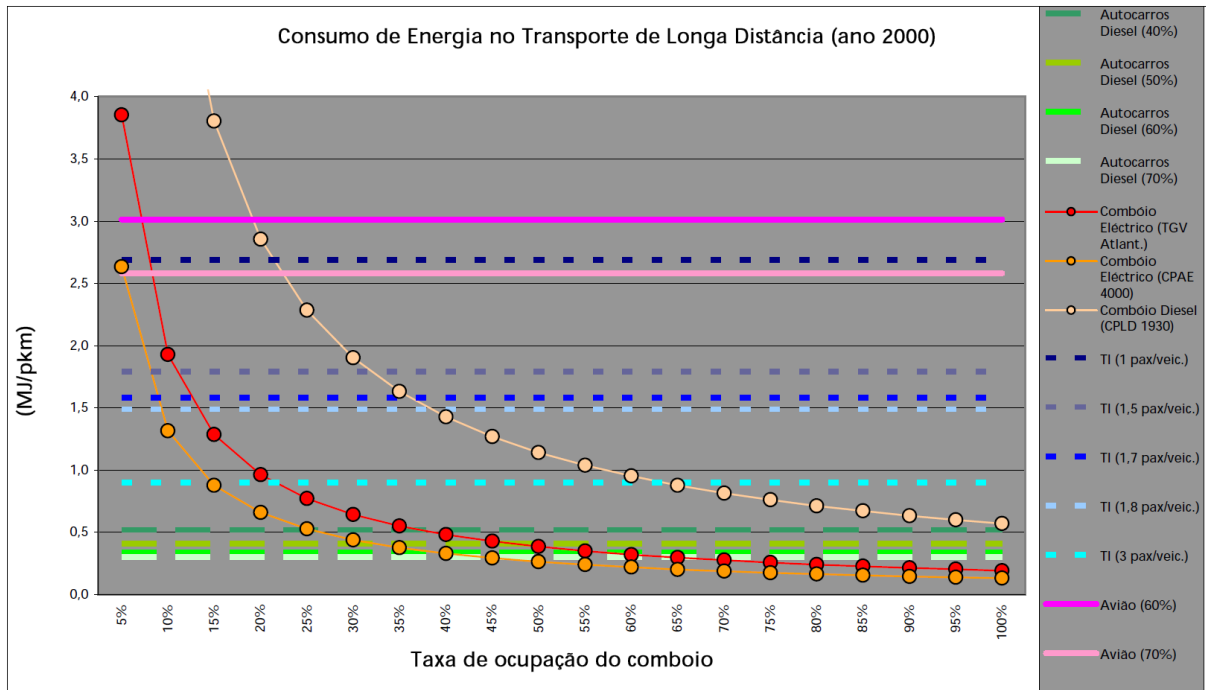
Considerando o indicador passageiro.quilômetro, para pequenas taxas de ocupação do trem (até 5%), o consumo de energia do trem elétrico (em MJ/pkm) é superior ao de todos os outros modais de transportes. Com uma taxa de ocupação superior a 70%, esse consumo se torna o menor entre os modais. O gráfico que relaciona o consumo de energia com a taxa de ocupação para os modais de transporte se encontra na Figura 37.

² Veículo quilômetro oferecido: Unidade de medida correspondente ao movimento de um veículo motorizado, na distância de um quilômetro (INTF, 2010)

³ Lugar quilômetro oferecido: Unidade de medida correspondente ao movimento de um lugar de um veículo motorizado, na distância de um quilômetro. (INTF, 2010)

⁴ Passageiro quilômetro transportado: Unidade de medida correspondente ao deslocamento de um passageiro num veículo, na distância de um quilômetro, quando esse veículo assegura o serviço a que se destina. (INTF, 2010)

⁵ PNAC – Plano Nacional das Alterações Climáticas de Portugal



Com uma taxa de ocupação de 40%, um passageiro poderia percorrer uma distância de 20,8km em um trem elétrico, com 10MJ de energia. Para essa mesma taxa de ocupação e consumo de energia, um passageiro poderia percorrer 20km em um ônibus de longo percurso e 2,2km em um avião.⁶

Pode-se concluir que em termos de eficiência energética, há uma superioridade do modo ferroviário em relação aos outros modos.

8.2 Emissão de CO₂

Considerando esse fator, o modal aéreo é o que mais emite CO₂ e o serviço de transporte rodoviário coletivo é o que menos emite. A Figura 38 mostra os fatores de emissão de CO₂ por lkm, resultados do estudo, para os anos 2000 e 2010.

⁶ Dados tirados do estudo da INTF – Competitividade Ambiental dos Serviços Ferroviários de Alta Velocidade e de Média e Longa Distância, 2010.

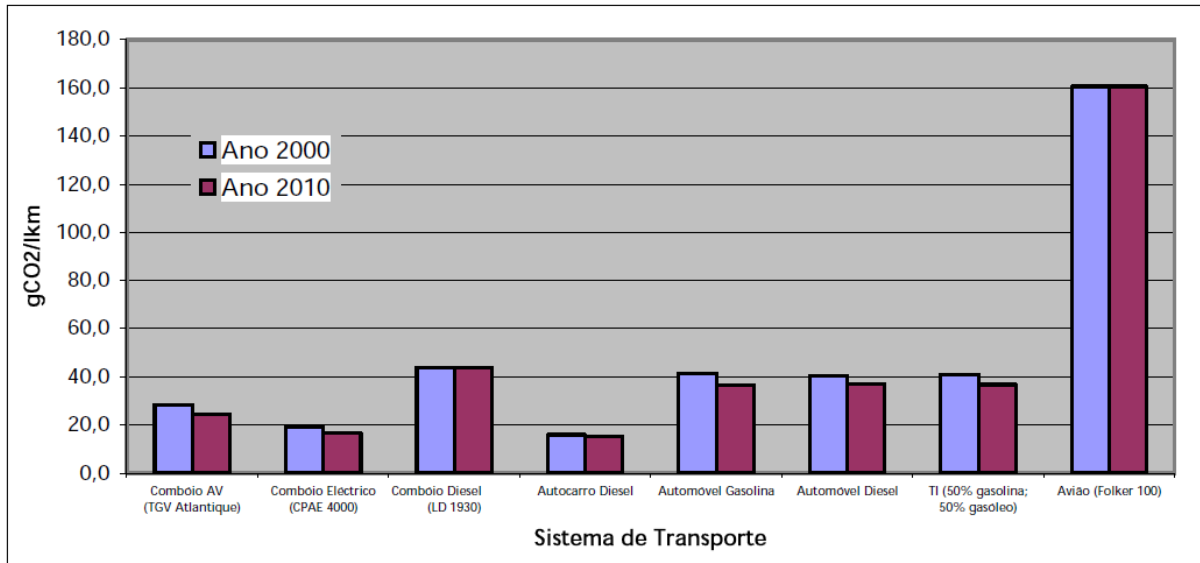


Figura 38 – Fatores de Emissão de CO₂ por lkm (2000 e 2010)
 Fonte: INTF, 2010

Com uma taxa de ocupação de 40%, emitindo 1kg de CO₂, um passageiro poderia percorrer uma distância de 16,3km em um trem eléctrico convencional, 2,5km em um avião, 26,0km em um ônibus e 5,5km em um carro.⁷

De acordo com os cenários estudados, verifica-se que em termos de emissão de CO₂, a diminuição na emissão para trens ainda não é suficiente para superar o transporte rodoviário coletivo.

8.3 Emissão de CO

O automóvel apresenta grande desvantagem nesse aspecto, pois tem uma taxa de emissão de CO, em g/lkm, muito superior aos outros modais. Em termos de CO, os trens eléctricos são bem mais competitivos que os outros modais.

A Figura 39 mostra o gráfico que relaciona a emissão de CO, em g/pkm, com a taxa de ocupação para os diversos modais. Pode-se perceber que o modal ferroviário é mais competitivo nesse aspecto, e que as taxas para o modal rodoviário são superiores, independente da taxa de ocupação.

⁷ Dados tirados do estudo da INTF – Competitividade Ambiental dos Serviços Ferroviários de Alta Velocidade e de Média e Longa Distância, 2010.

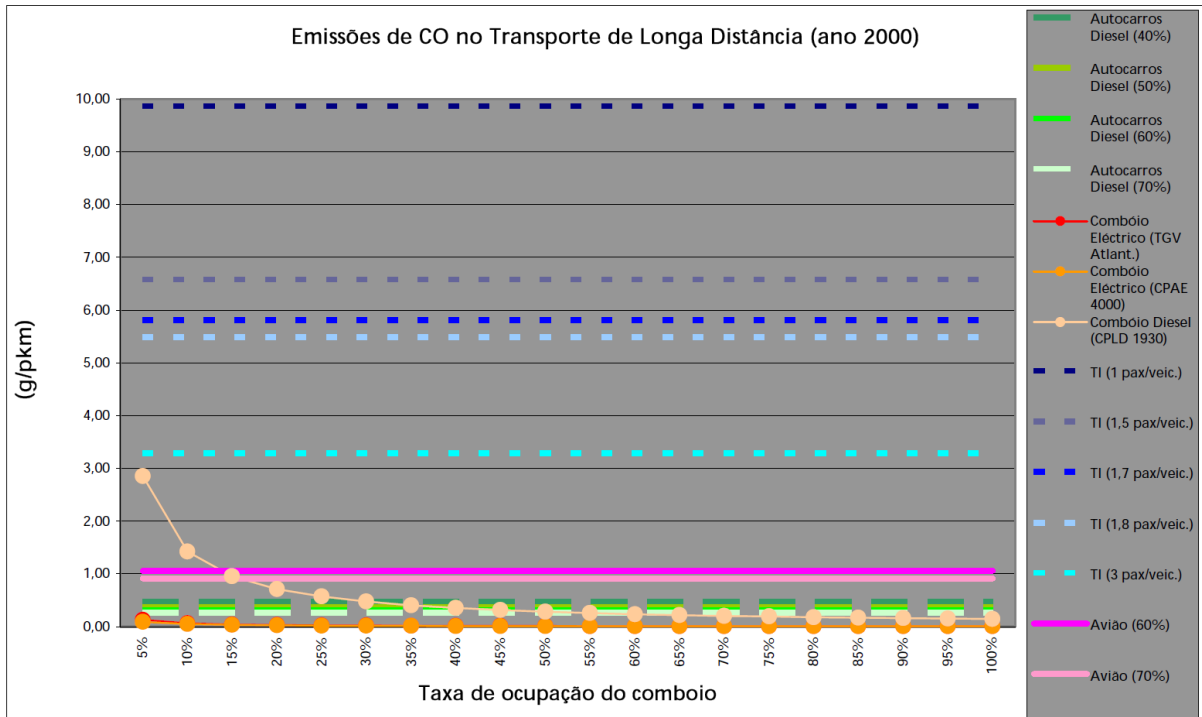


Figura 39 – Emissão de CO por Modal de Transportes
Fonte: INTF, 2010

Com uma taxa de ocupação de 40%, emitindo 1 kg de CO, um passageiro poderia percorrer uma distância de 61,1km em um trem elétrico convencional, 0,6km em um avião, 2,1km em um ônibus e 0,1km em um carro.⁸

Resumindo, pode-se dizer que os serviços de alta velocidade, apesar de apresentarem um desempenho 50% pior que um serviço convencional, apresenta indicadores de competitividade ambiental mais favoráveis que os outros modais, seguido do rodoviário coletivo.

⁸ Dados tirados do estudo da INTF – Competitividade Ambiental dos Serviços Ferroviários de Alta Velocidade e de Média e Longa Distância, 2010.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procurou-se dar um panorama sobre a atual situação da implantação da via férrea de alta velocidade no Brasil, que ligará as cidades de Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas. Para tanto, acompanhou-se o processo de licitação da operação do Trem de Alta Velocidade brasileiro, que indica como deve ocorrer a implementação de tal tecnologia no país. Pelo fato das empresas que atendem aos requisitos qualificados para participar do leilão serem organizações multinacionais, que já possuem histórico na operação de tal modo de transporte, foi feito um estudo do material rodante que as mesmas empregam em outros países, e que poderão ser trazidos para o Brasil. Buscou-se também examinar quais os impactos ambientais que tal sistema acarreta em comparação aos outros modais.

O projeto do trem de alta velocidade no Brasil, apesar de ser estudado há algumas décadas, ainda encontra-se em estado inicial, sendo notório o pouco conhecimento detido no país sobre a tecnologia. Durante as pesquisas realizadas para o desenvolvimento do trabalho, houve grandes dificuldades em encontrar materiais e informações que abordassem o tema de forma profunda. Pela iniciativa do Governo Federal, a expertise sobre tal modo de transporte será importada de outros países, por meio da empresa vencedora da concessão do TAV, havendo pouco incentivo para pesquisas e desenvolvimento do conhecimento da tecnologia dentro do território nacional.

Esta situação é um reflexo da falta de interesse pelo transporte ferroviário, mantida pelo governo brasileiro desde o meio do século passado, em que se preteriu o desenvolvimento rodoviário no país, em detrimento de outros modos de transporte. O desinteresse acarretou na redução e degradação da malha ferroviária existente, e o não desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias.

Como resultado, os brasileiros se veem presos ao transporte viário ou aéreo, que muitas vezes se mostram esgotados, operando acima de suas capacidades, acarretando enormes transtornos aos seus usuários. É de extrema importância o desenvolvimento de um sistema de transporte por linhas férreas eficiente, que complemente a oferta de transporte atual.

Desta maneira, o presente trabalho vem a ser mais uma bibliografia para o tema de suma importância para o desenvolvimento do sistema de transporte brasileiro.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alstom. Disponível em: <<http://www.alstom.com>>. Acesso em: 13 out. 2012

ANDRADE, Fabio F.; CIOBOTARIU, Liat; SALVADOR, Marcos S.; MAZZOTTI, Pablo M. L.; LARANJEIRO, Patrícia F.; PATUCCI, Renato A. **Viabilidade do trem de alta velocidade – Reavaliação do estudo TRANSCORR**. 2008, 111 f. Projeto de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANTT. São Paulo. Apresenta sitio eletrônico oficial do TAV Brasil. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5448.html>>. Acesso em 10 mar. 2012

BRANCO, J. E. C.; FERREIRA, R. **Tratado de estradas de ferro – Material rodante**, Reflexus Estúdio de Produção Gráfica, 2000.

Bombardier. Disponível em: <<http://www.bombardier.com>>. Acesso em: 21 nov. 2012

Bombardier ZEFIRO. Disponível em: <<http://www.zefiro.bombardier.com>>. Acesso em: 21 nov. 2012

CAF-Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles. Disponível em: <<http://www.caf.es>>. Acesso em: 02 nov. 2012

CONSÓRCIO HALCROW GROUP – SINERGIA BRASIL. **TAV Brasil – Relatório final**. 2009, 7 volumes.

DÍAZ-DE-VILLEGAS, J. M. G; BUGARÍN, M. R. **Desvíos ferroviarios**, Ed. Ingeniería cántabra, S.A., Madrid, 1995.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO. **Concessão para exploração do serviço público de transporte ferroviário de passageiros por trem de alta velocidade na estrada de ferro EF-222, no trecho Rio de Janeiro – Campinas (TAV Rio de Janeiro – Campinas)**. Brasília, 2012.

Hitachi. Disponível em: <<http://www.hitachi-rail.com>>. Acesso em: 29 nov. 2012

Hyundai Rotem. Disponível em: <<http://www.hyundai-rotem.co.kr>>. Acesso em: 27 nov. 2012

Infraero. Brasília. Disponível em <<http://www.infraero.com.br>>. Acesso em 18 abr. 2012

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 27 mai. 2012

INTF – INSTITUTO NACIONAL DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO. **Competitividade ambiental dos serviços ferroviários de alta Velocidade e de média e longa distância**. Lisboa, 2010.

Jornal Estadão. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br>>. Acesso em: 07 abr. 2012

Jornal Folha de São Paulo. São Paulo. Disponível em: <<http://www.folha.uol.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2012

Jornal G1. Disponível em: <<http://www.g1.com>>. Acesso em: 16 mai. 2012

Jornal O Estado de São Paulo. São Paulo. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br>>. Acesso em: 30 mai. 2012

Jornal Valor Econômico. São Paulo. Disponível em: <<http://www.valor.uol.com.br>>. Acesso em: 18 abr. 2012

LACERDA, SANDER M. **Trens de alta velocidade: experiência internacional.** Revista do BNDES. V. 14, n. 29, p. 61-80, jun. 2008.

PAIVA, IARA. Intermodal competition with high speed rail. **Journal of Transport Literature.** v. 6, n. 2, p. 218-233, Apr. 2012.

PORTO, TELMO G. **Ferrovias - PTR2501.** 2004.

PRIME ENGENHARIA. **Consultoria para a elaboração dos estudos ambientais de alternativas para o trem de alta velocidade (TAV) – otimização do traçado.** 2009.

Revista Ferroviária. Disponível em: <<http://www.revistaferroviaria.com>>. Acesso em: 15 nov. 2012

Siemens. Disponível em: <<http://www.siemens.com>>. Acesso em: 25 nov. 2012

STECH, PEDRO H. **Parâmetros do projeto geométrico para trens de passageiros de alta velocidade e longo percurso.** 2001, 117 p.. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

STOPATTO, S. **Via permanente ferroviária: conceitos e aplicações,** Ed. CBTU, São Paulo, 1987.

Talgo. Disponível em: <<http://www.talgo.com>>. Acesso em: 01 dez. 2012

YANASE, N. **Necessities for future high speed rolling stock,** UIC – International Union of Railways, 2010.