



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO
PTR – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VLT – VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS: TECNOLOGIA E APLICAÇÕES

AUTORES:

Diogo Donate Magalhães

Fabiana Leika Miyazawa

Guilherme Carvalho Valle

Paulo Victor Kussaba

Willian Yukio Yamasaki

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Orientador: Prof. Dr. Telmo Giolito Porto

São Paulo, 14 de Dezembro de 2009.

VLT – VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS: TECNOLOGIA E APLICAÇÕES

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte das atividades para obtenção do
título de Engenheiro do curso de Engenharia
Civil da Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo.

Prof. orientador: Prof. Dr. Telmo Giolito Porto

São Paulo, 2009

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	MEIOS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	5
2.1	TÁXI	5
2.2	ÔNIBUS	9
2.3	VEÍCULO LEVE SOBRE PNEUS – VLP	13
2.4	METRÔ	26
2.5	TREM URBANO.....	30
3	APRESENTAÇÃO DO VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS (VLT)	35
3.1	HISTÓRICO DO VLT	35
3.2	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA EM GERAL.....	40
4	CAPACIDADE	44
4.1	DEFINIÇÃO DE CAPACIDADE	44
4.2	CAPACIDADES EFETIVAS DOS PRINCIPAIS MODAIS DE TRANSPORTE	44
4.3	CATEGORIAS DE <i>RIGHT-OF-WAY</i> SEUS SIGNIFICADOS	52
4.4	DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE.....	53
4.5	TIPOS DE VLT.....	90
5	INFRA-ESTRUTURA.....	101
5.1	MALHA FERROVIÁRIA	101
5.2	PONTOS TERMINAIS	107
5.3	ESTAÇÕES E PARADAS.....	109
5.4	PÁTIOS	111
5.5	SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	112
5.6	VIA	113
6	MATERIAL RODANTE	123
7	PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DE MODOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	127
8	CUSTOS ASSOCIADOS AO SISTEMA VLT	131
9	CONCLUSÃO	135
10	ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	136
11	BIBLIOGRAFIA.....	139

1 INTRODUÇÃO

No ambiente urbano do século XXI o transporte é um de seus principais problemas. Afeta diretamente a economia, o meio ambiente, as relações sociais e a qualidade de vida. O dinamismo do capitalismo moderno criou - em seu objetivo de manter o consumo em níveis altos e maximizar os lucros - uma insaciável vontade no usuário de transporte de tê-lo como propriedade. Porém, com o aumento das densidades populacionais urbanas, isso se demonstra impraticável e terrivelmente ineficaz. Há uma evidente degradação do ambiente público nas megalópoles pós-modernas, como São Paulo, seja pela deterioração física, seja pela crescente violência urbana. Como consequência vê-se uma inevitável procura pelos ambientes internos, tais como oásis de segurança e beleza fabricada. O cidadão sai de seu cubo branco – sua casa – entra em seu cubo metálico individual – seu carro – e chega a um cubo branco coletivo – seu trabalho.

A necessidade e a criação de ambientes artificiais têm efeitos sociais, que envolvem a relação do indivíduo com a cidade e com outros indivíduos. Manter o homem em ambientes fechados e solitários apenas contribui para a sua alienação. Não cabe aqui avaliar os efeitos, mas tendo os em mente, percebe-se o fundamental papel do engenheiro civil na constituição da vida urbana. Não cabe a eles serem apenas desenvolvimentistas fáusticos, com sede de dominar o natural

pela transformação eterna do mesmo¹. A apreciação de uma solução a um problema não pode ser apaixonada, deve ser técnica a partir de pressupostos racionais.

O automóvel representa diversas desvantagens justificadas pela mobilidade e pelo falso sentimento de liberdade e individualidade; nada do qual parece ser racionalmente realizado por uma caixa metálica industrializada, a qual demanda um grande dispêndio de energia elétrica, aço, diversos tipos de plástico e borracha, vidro etc. – para na maior parte das vezes atender a necessidade de apenas um usuário. Mas o consumidor do automóvel não é o único a se culpar, a conformação da cidade é importante. “O carro particular – no caso do transporte público deficiente – sulca as cidades com a mesma eficácia das bombas e cria distâncias que não podem mais ser superadas sem ele.”². Percebe-se uma evidente fetichização dos meios de transporte, como se o meio desse ao usuário características próprias, algo que somente pode acontecer com o transporte individual particular.

O transporte coletivo tende a reduzir acidentes e a emissão de poluentes, é constituído de um volume menor de matérias primas – já que se transportam muitos em um menor

¹ “Não é já o momento de o homem afirmar-se contra a arrogante tirania da natureza, de enfrentar as forças naturais em nome do ‘livre espírito que protege todos os direitos’”. GOETHE, Johann Wolfgang Von. **Fausto**. Retirado de: BERMAN, Marshall. **Tudo que é sólido desmancha no ar: a aventura da modernidade**. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2005. p 61.

² HAUG, Wolfgang Fritz. **Crítica da Estética da Mercadoria**. p 80. São Paulo. Ed. UNESP.

espaço – e muda o estabelecimento de contato social entre pessoas de diversos segmentos da população e entre os usuários e a cidade, passando de uma relação passiva não-presencial a uma ativa presencial. Tendo em vista o aumento das densidades populacionais nos grandes centros urbanos, vê-se fundamental que se invista em um sistema de transportes mais eficiente e eficaz, como ferramenta de justiça social e de melhora da qualidade de vida do cidadão. Dentre os diversos modais, destaca-se aqui o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), cujas principais características serão discutidas em diante.

O VLT já foi muito utilizado no Brasil como veículo de média capacidade, mas por diversos fatores, dentre eles um enorme investimento em modais rodoviários, com o tempo deixou de figurar no sistema de transportes. Sua constituição é interessante, pois possibilita operar com diferentes níveis de capacidade, de relativamente baixos até altos – situando-se entre ônibus e metrôs. Cabe aqui perceber que VLT é diferente da sigla em inglês LRT (*Light Rail Transit*), pois engloba todos os veículos leves sobre trilhos: Bondes (*Streetcars* ou *Tramways*), LRTs, LRRTs (*Light Rail Rapid Transit*), ALRTs (*Automated Light Rail Transit*) e Monotrilhos (*Monorails*). Característica em comum entre todos os transportes ferroviários; sua via lhe serve ao mesmo tempo de suporte e de guiamento ao contrário de modais rodoviárias, cuja via serve apenas de suporte; isto confere uma forte

imagem ao transporte ferroviário como algo permanente e impositivo. Outra característica importante a se citar é que a depreciação de VLTs está entre 25 e 50 anos, fazendo dele um investimento, por excelência, de longo prazo.

Para melhor estudar o VLT duas premissas foram feitas: o sistema de transportes deve ter uma integração eficaz entre diversos modais e é necessário criar uma classificação que abarque as diferentes tecnologias de VLT. Assim, começa-se este estudo com uma visão técnica-crítica dos diferentes meios de transporte que atuam ou virão a atuar na cidade de São Paulo, como forma de criar um repertório base. Em seguida, dividiu-se o VLT em quatro tipos levando em consideração características de operação, capacidade, material rodante e infra-estrutura.

A partir da percepção de que há a necessidade de uma eficaz combinação de modais, estudaram-se os passos de decisão de um projeto de VLT, com o objetivo de compará-lo com eventuais diferentes soluções, para cada caso que se apresente, pois não existe solução única ótima. A comparação deve ser feita a partir de um nível de serviço único, e tendo em vista as limitações de cada sistema, tomar-se uma decisão baseada nos custos envolvidos.

2 MEIOS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Antes de se abordar o assunto principal deste trabalho é interessante contemplarmos de forma introdutória os diferentes tipos de meios de transporte coletivo terrestre. Suas peculiaridades vão além das características tecnológicas em que foram desenvolvidos, é preciso entender onde tais meios vão circular e como vão servir socialmente dentro de um sistema onde todos os meios deveriam funcionar de forma integrada e se complementando de forma harmônica.

2.1 TÁXI

Trata-se de um meio de transporte urbano individual ou de um grupo de passageiros, usualmente não compartilhado, composto geralmente por veículos do tipo automóvel. Podem ser acrescentados a esta modalidade os “mototáxis”, os riquixás e os veículos de tração animal como as carruagens que funcionam em alguns países como Inglaterra, as quais são um grande atrativo para turistas. As duas grandes diferenças do táxi para os meios de transporte de massa são a ausência de itinerário específico, uma vez que a rota é

escolhida, de modo conveniente, pelo condutor ou pelo usuário e a maneira como é cobrado o serviço. Enquanto em geral temos uma cobrança fixa nos transportes de massa, nos táxis temos a cobrança feita por quilômetros rodados e há ainda um valor extra pago por hora parada no trânsito, sendo o custo final do serviço muito superior ao das demais alternativas.

Pelas suas características é o meio de transporte público preferido para situações como festas, reuniões, ida ao ou vinda do aeroporto e emergências.

A manutenção da qualidade do serviço prestado depende, de fiscalização constante, pois se deixado à deriva das companhias privadas a qualidade se deteriorará³.

Geralmente cada município possui regulamentação própria para o controle e fiscalização desse meio de transporte, o qual opera graças a licenças emitidas pelo Poder Público. Hoje temos mais de 30 mil táxis rodando em São Paulo, sendo que 4000 constituem frotas pertencentes a empresas.

³ GRAVA, Sigurd, **Urban Transportation Systems**, p. 299



FIGURA 1 - TÁXIS DE SÃO PAULO – FONTE: WIKIPEDIA



FIGURA 2 - TÁXI EM SÃO FRANCISCO – FONTE: WIKIPEDIA



FIGURA 3 - TÁXI LONDRINO – FONTE: WIKIPEDIA

2.1.1 Vantagens:

Pela flexibilidade promovida pela não obrigatoriedade de se seguir um itinerário o táxi é o meio de transporte que mais atende às necessidades individuais de cada viagem. Além disso, permite acomodar bagagens com facilidade, fato que o torna um dos meios mais utilizados para acesso aos aeroportos. Pode-se citar também que os táxis são automóveis comuns, que não precisam de qualquer tipo de tecnologia ou manutenção diferente da dos automóveis comuns.

2.1.2 Desvantagens:

Usualmente a tarifa cobrada (quilometragem e hora) faz do táxi um transporte caro se comparado a outros meios. A capacidade de transporte é bastante reduzida, precisaríamos um grande número de táxis se quiséssemos transportar uma demanda equivalente aos ônibus.

Os táxis, assim como qualquer outro automóvel, estão sujeitos aos problemas de congestionamento, poluição e acidentes. Em relação aos acidentes, pode-se ainda dizer que estão mais propensos a causá-los, pois é comum que parem

em locais inapropriados para embarque ou desembarque de passageiros.

No entanto, a questão que traz a maior preocupação é o comportamento dos condutores pois, uma vez que os rendimentos dependem diretamente da quantidade e da distância das viagens, os motoristas são de certa forma incentivados a praticarem uma direção perigosa, reduzindo o tempo das viagens e também a darem preferência a viagens mais longas, se recusando a atender alguns clientes.

2.2 ÔNIBUS

Este meio de transporte constitui-se de um veículo sobre pneus, conduzido através de itinerários e intervalos definidos. Trata-se de veículos de baixa para média capacidade. Possuem grande versatilidade e baixo custo de implantação, características importantes quando se trata em servir zonas com demanda menor e muitas vezes quando há acessos mais difíceis para meios mais robustos de transporte. Existem diferentes modelos e tamanhos deste tipo de veículo, de micro-ônibus aos ônibus articulados, com dois ou mais módulos.

Os veículos tradicionalmente possuem de 29 a 65 assentos (incluindo os ônibus urbanos simples e os

articulados), tem comprimento de 10,7m a 18,2m e altura na média de 3 metros⁴.

No município de São Paulo, 70% das viagens feitas em coletivos são de ônibus, sendo que temos 14759 veículos cadastrados, estes atuando nas 1325 linhas. Para se ter uma idéia, o número de passageiros registrados em 2008 somou um total de 2.835.856.140.⁵

Recentemente, adotou-se o uso da bilhetagem eletrônica para a cobrança nos ônibus, o que permitiu que usuários deste modal utilizassem outros modais como metrô e trem pagando uma tarifa diferenciada, cujo valor é inferior ao da soma das tarifas individuais de cada serviço utilizado. Tal programa foi nomeado Bilhete Único.

A seguir alguns padrões para ônibus coletivo urbano em São Paulo:

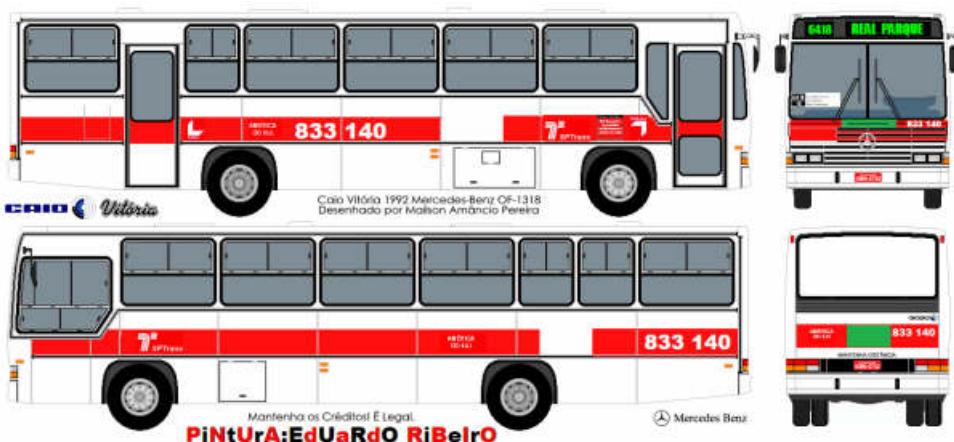


FIGURA 4 – MODELO SPTRANS – FONTE: SPTRANS

⁴ GRAVA, Sigurd. **Urban Transportation Systems**, p. 331

⁵ Dados sobre o transporte em São Paulo podem ser encontrados no site da São Paulo Transportes <www.sptrans.com.br>

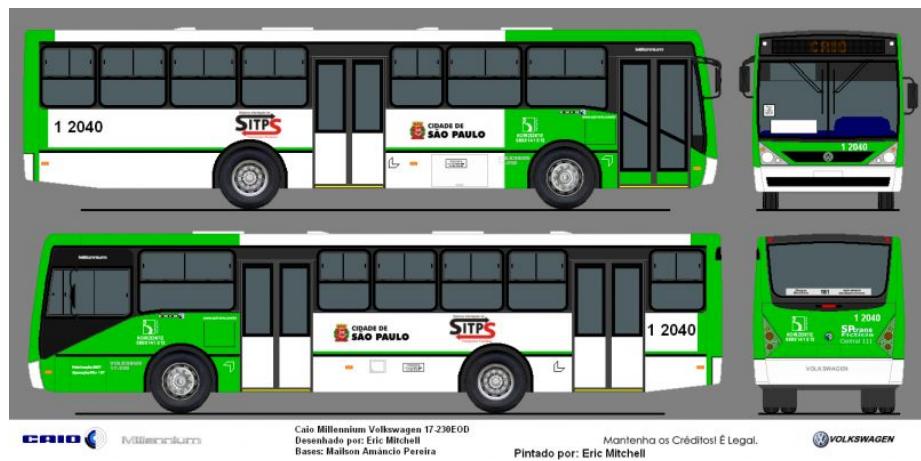


FIGURA 5 - MODELO SPTRANS- FONTE: SPTRANS



FIGURA 6 – BILHETAGEM ELETRÔNICA- FONTE: SPTRANS



FIGURA 7 – CHAMATIVO ÔNIBUS LONDRINO – FONTE: WIKIPEDIA

2.2.1 Vantagens:

Os ônibus podem, de maneira geral, trafegar pela maioria das vias já existentes, uma vez que possuem sua própria fonte de energia, com exceção dos trólebus. Isso permite uma grande flexibilidade no planejamento de rotas. As paradas também podem ser feitas em diversos pontos, de acordo com a demanda, porém vale lembrar que quanto menor a distância entre paradas, menor será a velocidade média (limitações devido ao tempo de aceleração e frenagem). O remanejamento temporário ou permanente de itinerário é de simples aplicação devido a versatilidade quanto ao seu emprego.

Muitas bibliografias associam um baixo custo de implantação ao ônibus, porém deve-se considerar que o pavimento pelo qual trafegam deveria de alguma forma ser considerado no cálculo do investimento. Entretanto, o pavimento é considerado como um bem público e, portanto, não se poderia cobrar pelo seu uso.

2.2.2 Desvantagens:

Existem limitações quanto às dimensões físicas dos ônibus, pois trafegam em conjunto com os demais veículos e devem seguir as regulamentações de trânsito. O baixo

investimento agregado ao ônibus resulta em baixa permanência (ou seja, constante alteração de itinerários, criação e extinção de linhas) e pouca influência das linhas de ônibus no uso do solo. Além disso, por trafegarem em meio aos outros veículos e por não manterem instalações fixas em suas paradas, os ônibus carregam uma imagem e uma identidade fracas, em outras palavras, linhas e paradas de ônibus não são tão marcantes para a população como linhas e estações de trem ou metrô. Pode-se citar, ainda, a curta vida útil dos veículos, em média de 5 a 12 anos ⁶.

Quanto à operação, os ônibus estão sujeitos aos mesmos problemas dos automóveis, ou seja, congestionamento e acidentes. Já a qualidade do serviço prestado dependerá não somente do veículo, mas também do modo como conduz o motorista e das condições das vias, as quais estão sob controle governamental e não das empresas prestadoras de serviços. Em geral, o conforto é inferior quando comparado aos veículos sobre trilhos.

2.3 VEÍCULO LEVE SOBRE PNEUS – VLP

O VLP é uma evolução do ônibus em sua característica de capacidade seja por aumentar as velocidades médias, seja

⁶ VUCHIC, Vukan R. **Urban Transit Systems and Technology**. p. 204. John Wiley & Sons, INC.

por aumentar o espaço interno do veículo, é conhecido internacionalmente como BRT (Bus Rapid Transit).

Um exemplo de VLP muito simplificado é o corredor de ônibus, onde, para otimizar o uso dos ônibus são construídos corredores, que permitem segregar parcial ou totalmente os ônibus dos demais meios que atuam ou interferem numa mesma via. As paradas de ônibus são elevadas em relação à via, permitindo assim acesso em nível (FIGURA 8). Podem possuir sistema de monitoramento por GPS. Quando segregado, a tendência é de que a velocidade média seja mais alta e consequentemente a capacidade seja mais alta em relação aos sistemas com o uso convencional dos ônibus. O VLP é visto como um meio de média capacidade de transporte para um volume máximo em média de 20000 pax/hora/sentido⁷ dependendo da formatação de sua infra-estrutura. É um sistema cuja implantação é mais barata que os transportes sobre trilhos já que seus investimentos em infraestrutura são menores. Uma vez que afeta diretamente o nível de serviço, o tempo das paradas é de importante consideração, sendo este dependente de diversos fatores como, por exemplo, as condições físicas e idade dos passageiros, formas de pagamento da tarifa, tamanho do veículo, entre outros.



FIGURA 8 - EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS – FONTE: WIKIPEDIA

⁷ Segundo o consultor Peter Alouche em apresentação à CBTU



FIGURA 9 - EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS – FONTE: WIKIPEDIA

Um importante sistema que utiliza corredores de ônibus é o que opera em Curitiba. Esta cidade é notoriamente menor em população do que São Paulo, o que fez da escolha uma forma bastante eficiente de transporte, dado que os valores de demanda são menores e exigindo assim meios de transporte de média capacidade.

A concepção do sistema é feito para maximizar a eficiência do sistema, utilizando linhas alimentadoras para levar dos bairros aos terminais, linhas interbairros para interligar diferentes terminais sem passar pelo centro, linhas diretas, que complementam as linhas expressas e interbairros com um número menor de paradas, e as linhas expressas, que levam dos terminais ao centro.



FIGURA 10 – VEÍCULO EM VIA EXPRESSA – FOTO: DIOGO DONATE

O sistema é utilizado não apenas com função de transporte, mas também como ferramenta de modelagem da cidade, pois é utilizado para incentivar o crescimento da cidade de determinada maneira, isto porque ordenam o crescimento linear do centro, caracterizando as maiores densidades demográficas e priorizando a instalação de equipamentos urbanos; concentram a infra-estrutura urbana e definem uma paisagem urbana própria traduzindo os mecanismos do planejamento integrado do uso do solo causando a ordenação do sistema viário e transporte coletivo de modo a alcançar a retenção de destinos para fora do centro, que em 1974 era de 92% e em 2003 era de 30%.⁸

O esquema da concepção do sistema está apresentado abaixo:

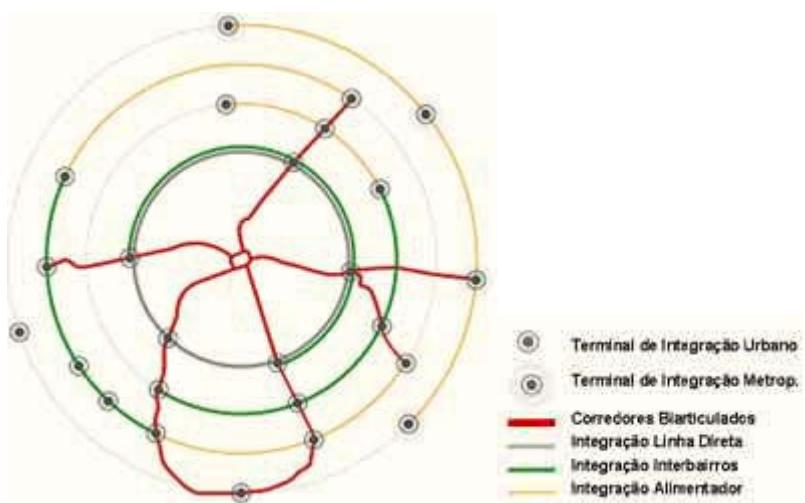


FIGURA 11 - ESQUEMA DA CONCEPÇÃO DA REDE

⁸ Conforme informações oficiais da URBS. (Urbanização de Curitiba)

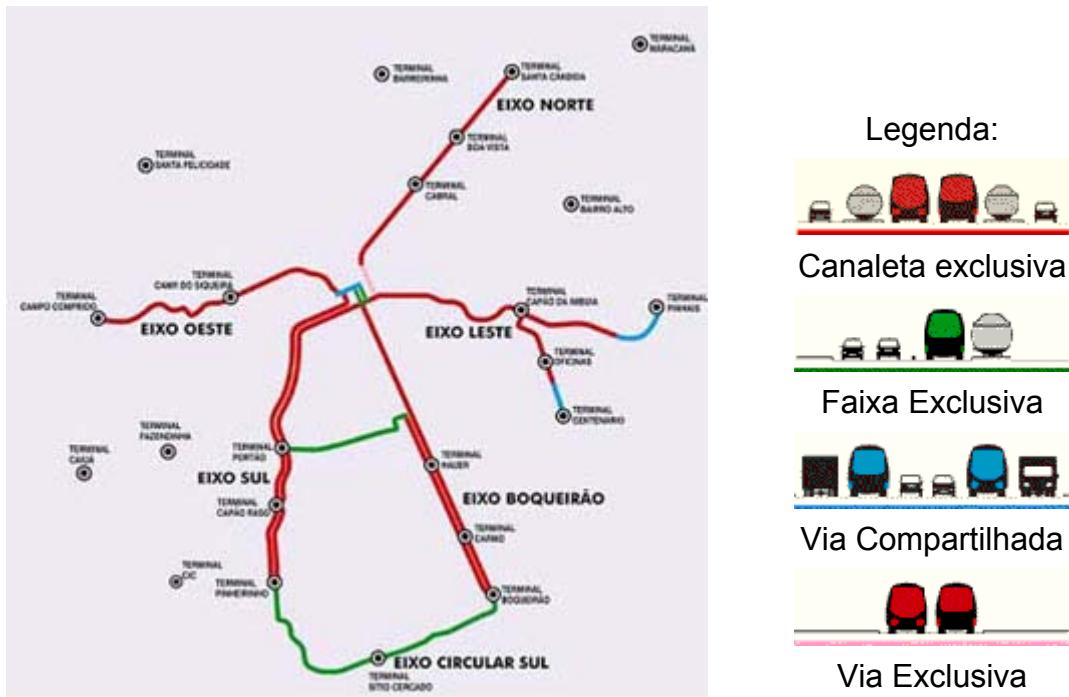


FIGURA 12 – ESQUEMA DA REDE – FONTE: URBS

Tal sistema utiliza diversos tipos de ônibus diferentes, cada um com uma finalidade pré definida, que circulam por 72Km de canaletas, vias ou faixas exclusivas. A frota é composta da seguinte maneira:

Tipo de Linha	Capacidade	Frota Operante	Nº de Linhas
	Circular Centro/Micro	30	09
	40/70	280	89
	80	115	19
	160	24	19
	80/70	670	212

	Alimentador / Articulado	160	75	212
	Interbairros / Padron	110	35	06
	Interbairros / Articulado	160	90	06
	Linha Direta / Padron	110	385	18
	Expresso / Biarticulado	270	165	06

FIGURA 13 – VEÍCULOS UTILIZADOS – FONTE: URBS

Onde cada um destes tem sua função específica:

Linhas Expressas



São operadas por veículos tipo biarticulados, na cor vermelha que ligam os terminais de integração ao centro da cidade, através das canaletas exclusivas. Embarques e desembarques são feitos em nível nas estações tubo existentes no trajeto.



Linhas Alimentadoras

São operadas por veículos tipo micro, comum ou articulados, na cor laranja que ligam terminais de integração aos bairros da região.



Linhas Intercidades

São operados por veículos tipo padrão ou articulados, na cor verde, que ligam os diversos bairros e terminais sem passar pelo centro.



Linhas Diretas (Ligeirinhos)

Operam com veículos tipo padrão, na cor prata, com paradas em média a cada 3km, com embarque e desembarque em nível nas estações

tubo. São linhas complementares, principalmente das linhas expressas e interbairros.



Linhas Troncais

Operam com veículos tipo padrão ou articulados, na cor amarela, que ligam os terminais de integração ao centro da cidade, utilizando vias compartilhadas.

Linhas Convencionais

Operam com veículos tipo micro ou comum, na cor amarela, que ligam os bairros ao centro, sem integração.

Circular Centro

Operam com veículos tipo micro, na cor branca, com deslocamentos, custos e tarifa diferenciada, que ligam os principais pontos atrativos da área central.



Interhospitais

Ligam os principais hospitais e laboratórios em um raio de 5,0 Km de área central.

Turismo

Com saída do centro, passa pelos principais parques da cidade. (tarifa diferenciada).

SITES

Sistema integrado do ensino especial que atende a rede de escolas especializadas para portadores de deficiência física e/ou mental (sem custo para o usuário). O transporte especial por pessoas portadoras de deficiência feita através do SITES atualmente transporta 2,1 mil alunos por dia em 43 linhas que atendem a 38 escolas especializadas.



FIGURA 14 – VEÍCULOS UTILIZADOS – FONTE: URBS

Os terminais têm função primordial neste sistema, pois permitem a integração entre as diversas linhas que formam a Rede Integrada de Transporte (expressas, interbairros, alimentadoras e diretas), possibilitando a implantação de linhas alimentadoras mais curtas, com melhor atendimento aos bairros, porque aumenta o número de viagens com a diminuição do tempo de viagem, diminuindo o tempo de espera. A concentração de demanda facilita a substituição de modal nos corredores, e também contribuem para a estruturação dos bairros, com a concentração de atividades diversas.



FIGURA 15 – ESQUEMA DOS TERMINAIS – FONTE: URBS

A operação do sistema é privada e conta com 10 empresas urbanas e 18 metropolitanas. Existe uma empresa estatal chamada URBS, que é a gerenciadora do sistema. Entre suas atribuições está: Contratar as empresas operadoras; definir itinerários, pontos de parada e horários; tipo e características dos veículos; vistoriar a frota e fiscalizar os serviços; definir o custo por quilômetro e propor tarifa; controlar a quilometragem rodada, e passageiros transportados; além de gerenciar a receita e remunerar as empresas por quilômetro rodado.

Abaixo são apresentados dados do sistema em 2007:

	URBANO	METROP. INTEGRADO	SUB-TOTAL	METROP. NÃO INTEG.	TOTAL
Frota Operante	1.350	550	1.900	340	2.240
Frota Total	1.570	630	2.200	400	2.600
Passag. Pagantes D.U.	850.000	195.000	1.045.000	130.000	1.175.000
Passag. Transport. D.U.	1.810.000	450.000	2.260.000	130.000	2.390.000
Linhas	285	105	390	75	465
Terminalis	21+1*	7	29	5	34
Estações Tubo	332	19	351	-	351
Km D.U.	346.000	137.000	483.000	93.700	576.700
Viagens D.U.	15.050	5.950	21.000	2.040	23.040
Vida Média (anos)	5,23	5,00	5,16	5,21	5,17
Empresas	10	12(6+6)	22	12(6+6)	28

BENEFICIÁRIO	CADASTRADOS	MÉDIA DE UTILIZAÇÕES/MÊS
Maiores de 65 anos (Const. Fed., Const. Est., Lei Org. Ctba., Lei Fed. 10741/03 - Est Idoso, Lei Mun. 7556/90 e Dec. Mun. 210/91)	125.000	1.725.000
Pessoas deficientes, com renda inferior a 03 salários mínimos (Const. Est., Lei Org. Ctba., Lei Mun. 8623/95, Dec. Mun. 29/96 e Dec. Mun. 232/03)	32.000	
Aposentados por invalidez com renda inferior a 02 salários mínimos (Lei Org. Ctba., Lei Mun. 7556/90 e Dec. Mun. 210/91)	13.261 (acom.)	900.000
Operadores do Sistema (Acordo Coletivo e Dec. Mun. 210/91)	15.000	650.000
Carteiros (Lei Mun. 7390/89 e Dec. Mun. 210/91)		120.000
Policiais Fardados (Lei Mun. 6892/86 e Dec. Mun. 210/91)		180.000
Oficiais de Justiça (Lei Fed. 5010/66 e Dec. Mun. 210/91)		300
Estudantes - 50% de desconto para estudantes com renda familiar até 05 salários mínimos (Lei Mun. 10000/00, Lei Mun. 8454/94, Lei Mun. 7556/90, Dec. Mun. 210/91 e Dec. Mun. 544/94)	20.000	550.000

* Representatividade no custo 16%

FIGURA 16 – RESUMO OPERACIONAL 2007 – FONTE: URBS

A seguir, linhas de ônibus de Curitiba incluindo as linhas diretas:

Curitiba
Linhas Direta

Curitiba Linhas Expresso Biarticulado

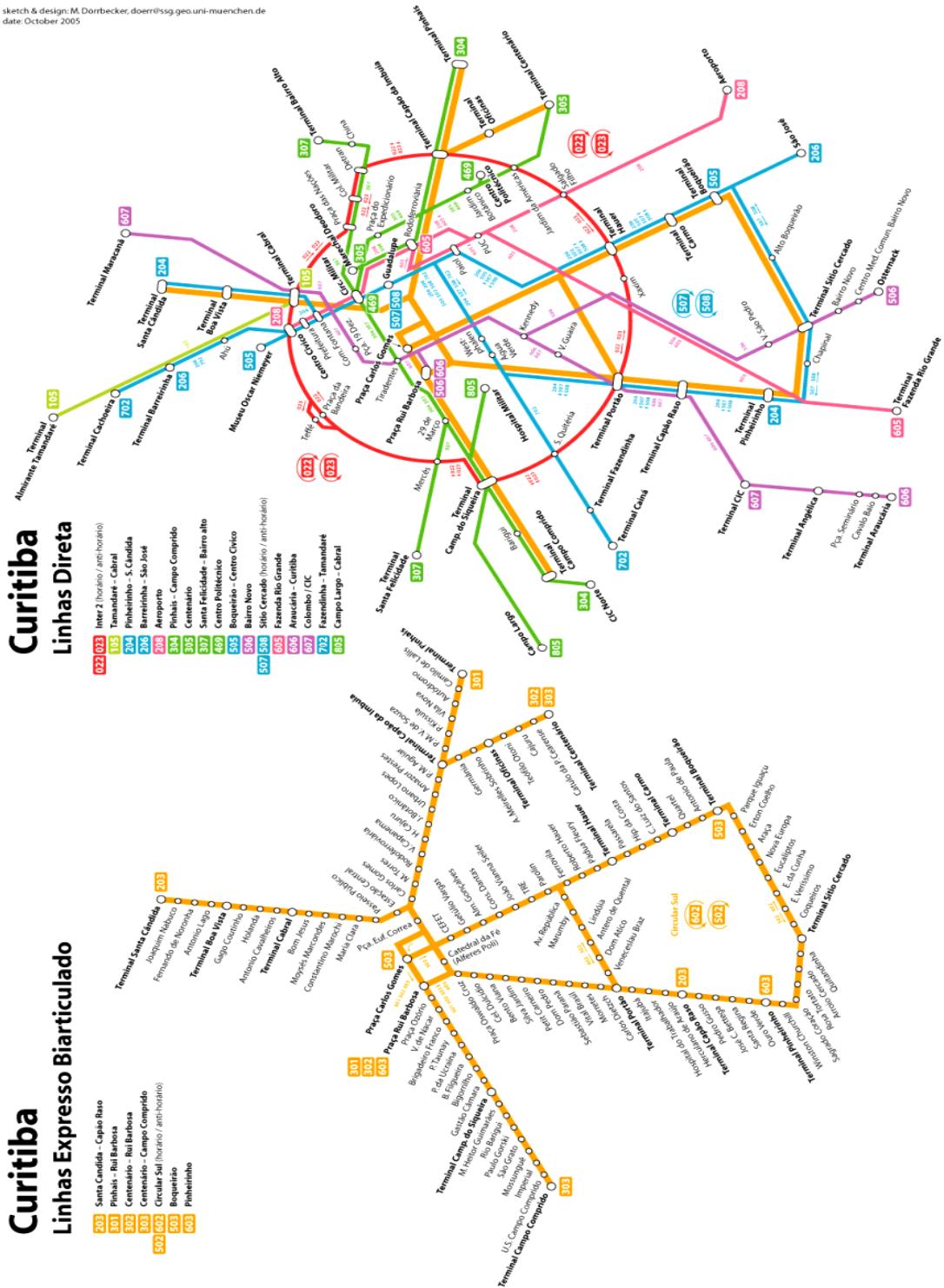


FIGURA 17 - REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE

Em São Paulo o Expresso Tiradentes, quando concluído, terá parte de seu sistema em VLP e parte em VLT. Outro exemplo de VLP é o sistema que funciona em Bogotá, denominado *Transmilenio*.

O VLP na sua forma mais moderna se assemelha bastante ao VLT, sendo composto por veículos modernos, podendo ter níveis de segregação em variados e estações. Na maioria dos casos, a condução dos VLPs é feita por condutores, entretanto há casos, como os de Clermont Ferrand, Nancy e Caen que circulam por guiagem automática óptica, magnética ou por trilhos. Diferentemente dos VLTs, esses trilhos servem apenas como forma de guiar o VLP e não sustentam o peso do veículo. Abaixo (FIGURA 18), apresenta-se o VLP de Nancy, guiado por trilhos.



FIGURA 18 – VLP STAN-BUS-BAHN-NANCY



FIGURA 19 - TRAMWAY DE CAEN RAIL

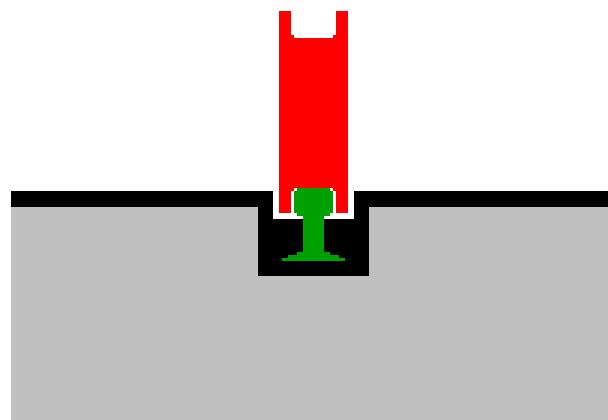


FIGURA 20 - SEÇÃO TRANSVERSAL TRILHO GUIA



FIGURA 21 – VLP GUIADO POR TRILHO, “TRANSLOHR”



FIGURA 22 – SISTEMA DE GUIAGEM POR TRILHO

2.3.1 Vantagens

Trata-se de uma tecnologia já conhecida no Brasil, como em Curitiba. Consegue vencer rampas mais íngremes e efetuar curvas mais fechadas que os VLTs, dependendo das dimensões do veículo.

Em comparação aos ônibus tradicionais, o VLP tem tempo de viagem reduzido por se minimizar a interferência dos outros veículos e, portanto, cria maior atratividade para o usuário.

2.3.2 Desvantagens

Quanto à operação, se mal projetados, os corredores ficam congestionados a ponto de torná-los quase inoperantes nos horários de pico. Em São Paulo, podemos citar o caso do corredor de ônibus da Avenida Rebouças. Em razão da baixa taxa de embarque do ônibus somada à alta demanda nos horários de pico, há pontos em que um ônibus espera por volta de 15 minutos para que seja feito o embarque e desembarque dos veículos à sua frente, como ocorre na parada da Avenida Brigadeiro Faria Lima e também na parada da Avenida Consolação junto ao início da Avenida Paulista.

2.4 METRÔ

Trata-se de um meio de transporte segregado em relação ao seu em torno, destinado ao transporte de grandes demandas de passageiros. Sua implantação exige uma infraestrutura complexa, tanto por parte da via por onde trafegará o material rodante como dos meios de comunicação e controle do mesmo. Projetado para transporte a curtas distâncias, não oferece muito conforto, mas sim alta velocidade ao passageiro.

As estações são menores que as dos trens urbanos, o que implica em composições menores. Assim há a necessidade do “headway” ser o mais curto possível para atender as crescentes demandas. Hoje o “headway” de projeto do metrô de São Paulo é de 90 segundos, com expectativas de ser reduzido para 70 segundos. Entretanto, devido a inconvenientes na operação, como esperadas e inesperadas incursões do próprio passageiro, o intervalo entre trens é maior do que o esperado.

“O Metrô de São Paulo opera nos horários de “pico”, das 7 às 8 horas, e das 17 às 18 horas com intervalos entre trens (headway) com os seguintes valores: Na Linha 3-Vermelha ele é de 101 segundos; na Linha 1-Azul, 109 segundos; e na Linha 2-Verde é de 150 segundos. A Linha 5-Lilás opera com um intervalo entre trens de 381 segundos.”

“Nos horários de maior movimento, o Metrô opera com 104 trens: 43 na Linha 1-Azul, 15 na Linha 2-Verde, 42 na Linha 3-Vermelha, e quatro na Linha 5-Lilás. A frota total de trens do Metrô atualmente é de 117 composições (de seis carros cada uma), sendo 51 da Linha 1-Azul, 47 da Linha 3-Vermelha, 11 da Linha 2-Verde, e oito da Linha 5-Lilás.”
Companhia do Metropolitano de São Paulo

Hoje o metrô paulistano totaliza uma rede de 61,3 km, divididos em: 1-Azul (Jabaquara – Tucuruvi), 20,2 quilômetros; 2-Verde (Alto do Ipiranga – Vila Madalena), 10,7 quilômetros; 3-Vermelha (Corinthians/Itaquera – Palmeiras/Barra Funda), 22 quilômetros; e 5-Lilás (Capão Redondo – Largo Treze), 8,4 quilômetros. São realizadas 3.202 viagens diárias, sendo 1.044 na Linha 1-Azul, 702, na Linha 2-Verde, 1.141 na Linha 3-Vermelha e 315 na Linha 5-Lilás.

A Capacidade de passageiros por composição (de seis carros) considerando-se a média de seis passageiros por m²:

Linha 1-Azul: 1.500, sendo 366 sentadas.

Linha 2-Verde: 1.620, sendo 274 sentadas.

Linha 3-Vermelha: 1.600, sendo 368 sentadas.

“Linha 5-Lilás: 1.500, sendo 272 sentadas.

Hoje o metrô transporta diariamente em cada linha:

Linha 1-Azul: 1200 mil passageiros

Linha 2-Verde: 366 mil

Linha 3-Vermelha: 1100 mil

Linha 4-Amarela: 704 mil (1º etapa). Passará a ser 970 mil (2º etapa)

Linha 5-Lilás: 91 mil

A seguir mostra-se a atual rede do metrô integrada a outros meios de transporte:

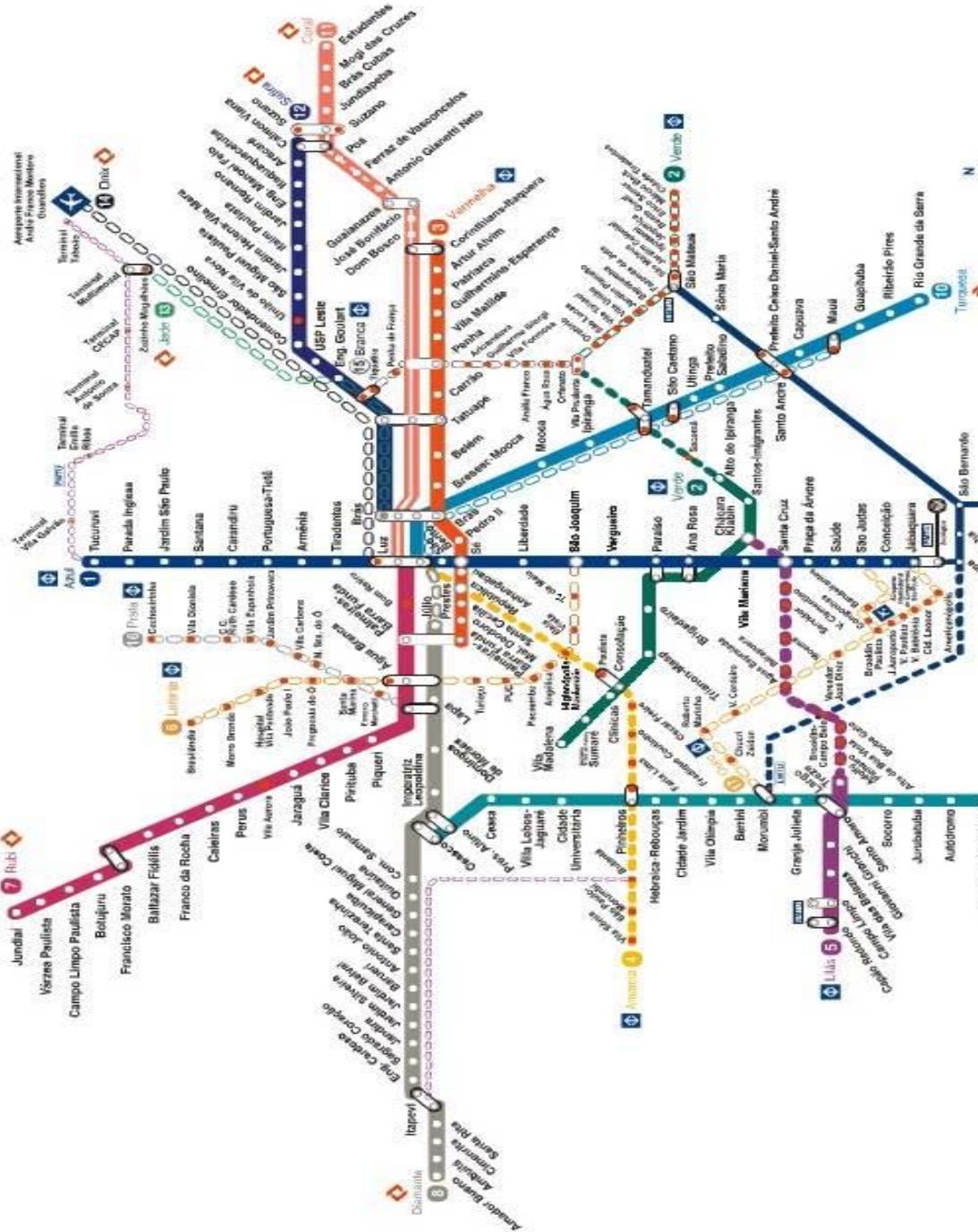


FIGURA 23 - REDE DO METRÔ E CPTM – FONTE: CPTM

A seguir figuras de composição e estação do Metrô:



FIGURA 24 - LINHA LILÁS DO METRÔ

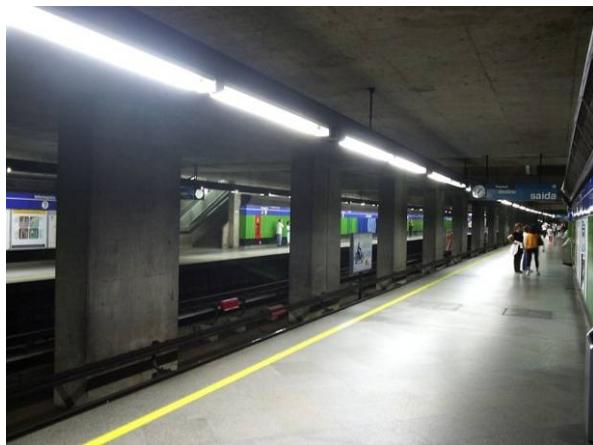


FIGURA 25 - ESTAÇÃO LIBERDADE DO METRÔ



FIGURA 26 – LAYOUT INTERNO METRÔ DE SÃO PAULO – FOTO: DIOGO DONATE

2.5 TREM URBANO

Assim como o metrô, consiste em uma rede ferroviária de alta capacidade quase totalmente segregada dos outros meios de transporte, à exceção de cruzamentos em nível. Os trens que são movidos a energia elétrica, tem alto aproveitamento energético, melhor aceleração do que motores movidos a combustíveis fósseis e é possível reaproveitar a energia nas frenagens. Entre os meios de transporte urbano, é o que possibilita a mais alta relação entre passageiros transportados e operários. Atualmente, no mundo, os trens podem ser compostos por até 10 carros e, e de acordo com Vuchic⁹, possibilitam vazão de embarque e desembarque de passageiros de 3 a 5 vezes maiores que as do VLT e 10 a 20 vezes maiores do que as do ônibus, devido à quantidade de portas, tamanho dessas e à plataforma em nível com o piso do trem.

O custo de implantação de uma rede de trens é um dos mais elevados entre os demais sistemas de transporte, porém deve-se ter em mente que altas demandas requerem um meio de alta capacidade. Tratando- se de alta demanda, os trens proporcionam a melhor relação de custo por passageiro e, também, o menor custo de incremento na capacidade.¹⁰

⁹ VUCHIC, Vukan R. **Urban Transit Systems and Technology**. p. 305. John Wiley & Sons, INC.

¹⁰ VUCHIC, Vukan R. **Urban Transit Systems and Technology**. p. 305. John Wiley & Sons, INC.

Os atuais veículos ferroviários existentes, destinados ao transporte público urbano, têm comprimento de 16 a 23m e largura de 2,5 a 3,2 m, operam em composições de 1 a 10 vagões, têm 25% a 60% da sua capacidade servida de assentos, operam, em horários de pico, em velocidades entre 25 a 60 km/h em uma freqüência de 20 a 40 trens por hora. Para se ter uma referência quanto às capacidades desse sistema, em Nova Iorque registrou-se uma capacidade de 62.000 passageiros/hora por sentido¹¹.

Atualmente no Brasil a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) administra as linhas de trens para passageiros na Região Metropolitana de São Paulo. Tais linhas cobrem 22 municípios com suas 89 estações operacionais, seus 110 trens disponíveis para operação atendendo assim a:

- 340 mil pessoas na Linha 7 – Rubi (Luz-Francisco Morato);
- 317 mil na Linha 8 – Diamante (Júlio Prestes-Itapevi);
- 130 mil na Linha 9 – Esmeralda (Osasco-Jurubatuba);
- 260 mil na Linha 10 – Turquesa (Luz-Rio Grande da Serra);
- 387 mil na Linha 11 – Coral (Luz-Estudantes) e
- 137 mil na Linha 12 - Safira (Brás-Calmon Viana).

¹¹ Ibidem

As estações Brás (300 mil usuários), Luz (235 mil) e Barra Funda (250 mil) recebem juntas quase 50% do movimento diário total.

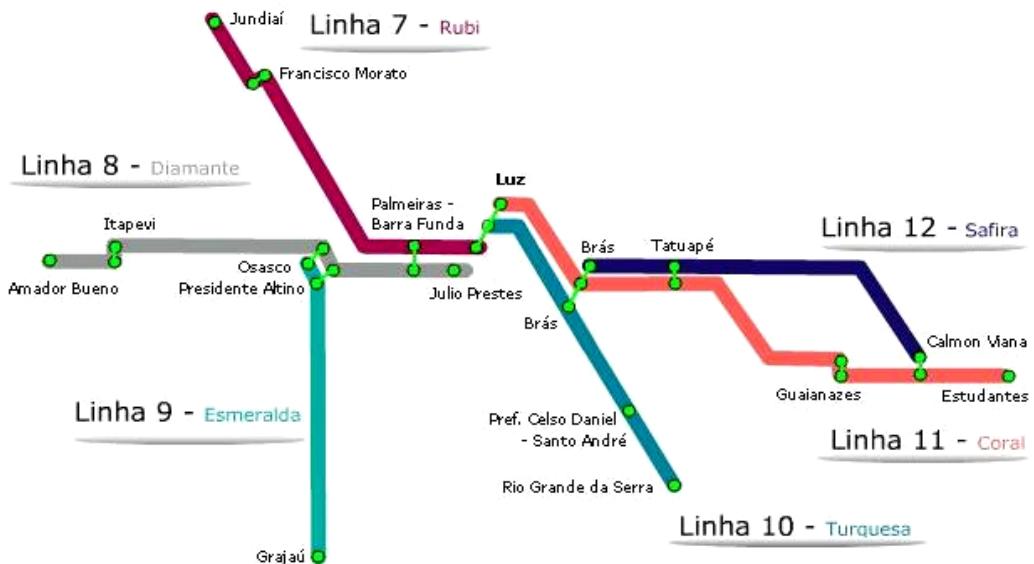


FIGURA 27 - REDE DA CPTM – FONTE: CPTM

A seguir veículos que compõem a frota da CPTM:



FIGURA 28 – TREM DA SÉRIE 4800



FIGURA 29 - TREM DA SÉRIE 5000



FIGURA 30 - TREM DA SÉRIE 2000

2.5.1 Vantagens:

Diversas vantagens dos trens urbanos se dão quando a demanda é alta. Nesse caso, apresenta a melhor relação custo/passageiro, capacidade de atender às elevadas demandas, melhor relação de custo para ampliação de capacidade. Pode-se afirmar, também, que possuem forte fixação de marca e grande influência no uso e ocupação do solo. Por serem totalmente segregados e guiados por trilhos,

possibilitam operação completamente automática, sem a necessidade de um condutor.

2.5.2 Desvantagens:

A maior desvantagem desse sistema é, sem dúvidas, o alto custo de implantação, mas é possível citar outras como a sua movimentação restrita à malha ferroviária e, no caso de São Paulo, algumas linhas são operadas com veículos muito antigos e em pobre estado de conservação, gerando desconforto aos usuários. Outros dois fatores negativos importantes são a necessidade de uma infraestrutura cara e complexa para a manutenção dos veículos e a inexistência de indústrias nacionais produtoras destes.

3 APRESENTAÇÃO DO VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS (VLT)

3.1 HISTÓRICO DO VLT

O veículo leve sobre trilhos possui hoje uma grande variedade de aplicações, que serão apresentados mais a frente, mas nem sempre foi assim, o VLT surgiu de uma combinação da necessidade de transporte com a vontade de aplicar as recentes tecnologias na vida social e acelerar o transporte. Em 1789, o engenheiro britânico Willian Jessop foi o primeiro a colocar rodas revestidas com ferro sobre trilhos também de ferro, em uma mina de carvão, até então, o único tipo de trilhos que existia era feito de madeira, para rodas de madeira. Em 1790, ele inventou o trilho em L, que possibilitou a construção da primeira ferrovia propriamente dita, a "Surrey Iron Railway" que ligava as cidades de Wandsworth e Croydon, hoje pertencentes à região metropolitana de Londres, e servia apenas para transporte de mercadorias, além de não possuir frota própria, os clientes precisavam fornecer seus veículos e pagar o aluguel da via, foi inaugurado em 26 de Julho de 1803.

O primeiro veículo leve sobre trilhos para transporte de passageiros a ser posto em operação foi o "Swansea and Mumbles Railway", no País de Gales, Grã-Bretanha,

construído entre 1804 e 1806, entrou em operação em 1807, os veículos eram feitos de madeira e puxados por cavalos, apesar de já existirem locomotivas à vapor em operação desde 21 de Fevereiro de 1804, quando Richard Trevithick instalou a primeira em uma mina de carvão no País de Gales.

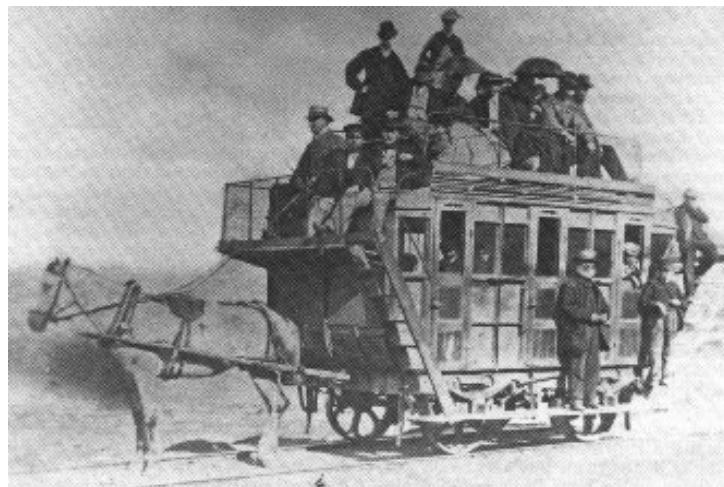


FIGURA 31 - BONDE MOVIDO À TRAÇÃO ANIMAL – FONTE: WIKIPÉDIA

Apesar disto, as locomotivas a vapor só começaram a ser utilizadas para o transporte de passageiros em 1830, na cidade portuária de Kent, Inglaterra. Na época, a locomotiva utilizada foi a “Invicta”, que não era utilizada em todos os trechos da ferrovia devido à baixa capacidade de superar rampas, visto que sua potência era de apenas 9 hp.



FIGURA 32 - LOCOMOTIVA “INVICTA” – FONTE: WIKIPÉDIA

Enquanto a locomotiva à vapor se desenvolvia na Grã-Bretanha, outros países ainda implantavam sistemas de bondes movidos à tração animal, como França, Estados Unidos e Alemanha (em região hoje pertencente à República Tcheca).

Até este momento, todos os transportes sobre trilhos poderiam ser chamados de “leves”, isto devido às baixas capacidades de carga operacionais. Porém a partir daí, com a difusão dos sistemas sobre trilhos pela Europa, começa a haver uma separação entre as ferrovias e os veículos “leves”, que até então eram o que se chama hoje de Bonde.

Os veículos com tração animal foram utilizados quase como única solução para o transporte público urbano até 17 de Janeiro de 1871, quando o americano Andrew Smith Hallidie patenteou o sistema de bondes puxados por cabos, que começou a operar em 1873 em São Francisco, Califórnia. O sistema surgiu com a necessidade de vencer as grandes

rampas da cidade, que eram difíceis e cansativas para os bondes com tração animal, o mesmo sistema está em operação até hoje sendo um dos marcos da cidade.



FIGURA 33 - "HALLIDIE CABLE CAR", 1873 – FONTE: www.cablecarmuseum.org



FIGURA 34 - "CABLE CAR" – FONTE: WIKIPÉDIA

Além da solução com cabos, outra alternativa de propulsão surgiu em 1875, com o primeiro protótipo de veículo

elétrico desenvolvido pelo engenheiro russo Fyodor Pirotsky. Esta usava eletricidade nos dois trilhos, que eram isolados do solo, de modo que um trilho servia como condutor direto e o outro como retorno. Este sistema operou por apenas um mês em Setembro de 1880 na cidade de São Petesburgo, Rússia.

Mas o primeiro sistema elétrico a funcionar regularmente foi implantado em 16 de Maio de 1881, por Ernst Werner von Siemens, na periferia de Berlin. O sistema operava em bitola métrica com eletrificação de ambos os trilhos e Siemens o chamou de “Linha elevada retirada de seus pilares e vigas”. Em 1883, Magnus Volk construiu a *Volk's Electric Railway* em Brington, Inglaterra, sendo este o sistema de transporte sobre trilhos elétrico mais antigo ainda em operação.

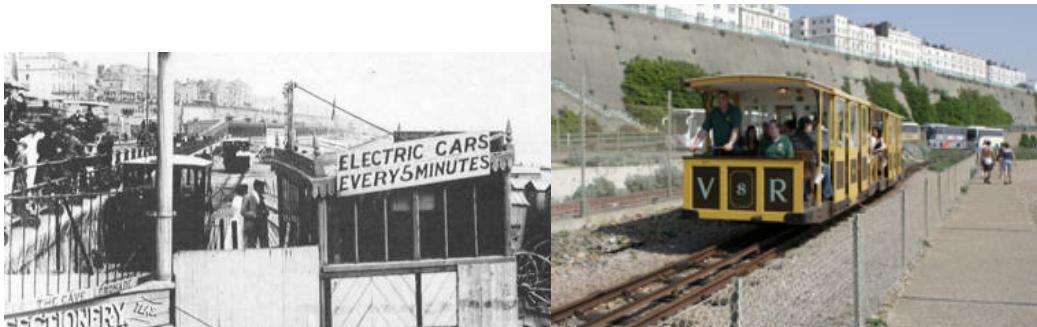


FIGURA 35 - VOLKS ELECTRIC RAILWAY – FONTE: www.volksselectricrailway.co.uk

Em 1885 o primeiro sistema elétrico não-segregado foi colocado em operação em Blackpool, Inglaterra. A princípio, o fornecimento da eletricidade era dado por um sistema de conduítes, que funciona quase como um terceiro trilho, porém era apenas um cabo escondido em uma vala entre os dois trilhos, em 1899 o sistema foi substituído por vias aéreas.

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA EM GERAL

3.2.1 Vantagens

O VLT movido a diesel exige uma infraestrutura mais econômica que os movidos a eletricidade. Tal infraestrutura não exigirá a construção por exemplo redes aéreas ou um terceiro trilho que o alimentará. O VLT movido a diesel é muito usado no transporte de passageiros entre pequenas regiões onde não há a conurbação, justifica-se pela economia na implantação do conjunto ferroviário (via propriamente dita e as redes elétricas). Entretanto tal alternativa dificilmente poderia ser utilizada na zona urbanizada, já que enfrentaríamos dilemas como uma alternativa que ainda trará poluição ao ar e a definição de locais para abastecimento dos veículos o que acrescentaria um tempo a mais no intervalo e teria de ser compensada de forma estratégica.

O VLT, por trazer uma sensação de modernidade e alto nível de conforto, tem a capacidade de atrair mais passageiros, inclusive de classes média e alta. Segundo Peter Alouche, com ciclo de vida de mais de 30 anos é uma alternativa de transporte durável e de desenvolvimento sustentável.

O custo de construção da malha de trilhos para o VLT é o mais baixo entre os demais sistemas ferroviários devido à sua flexibilidade, capacidade de realizar curvas de raios menores e vencer rampas mais íngremes e a não obrigatoriedade da segregação total da linha. Assim como os outros sistemas baseados em trilho, há, de modo geral, uma maior segurança e confiabilidade nas operações por se tratar

de um veículo guiado por trilho. Mesmo que esse seja operado por um condutor, ainda se tem um controle maior do que aqueles dependentes inteiramente de habilidade humana. De acordo com Sigurd Grava, um sistema bem conservado e projetado funcionaria com nível de ruído quase nulo, o que não aconteceria com os VLPs ou ônibus já que rodam sobre pneus que geram ruídos tanto pelo atrito pavimento/pneu, como pela existência de uma câmara de ar. Ainda segundo ele, a aceitação pública do VLT é, no momento, muito elevada, o que serve como promoção do governo que implantá-lo, fator quase imprescindível para as decisões no atual cenário político.



FIGURA 36 - VLT DE MINNEAPOLIS – ESTADOS UNIDOS – FONTE: WIKIPÉDIA



FIGURA 37 - METRÔ LEVE – DOCKLANDS – INGLATERRA – FONTE: WIKIPÉDIA

3.2.2 Desvantagens

O VLT apresenta também algumas desvantagens que precisam ser analisadas numa escolha de alternativas em casos específicos. Não é flexível para circulação fora do corredor e sua operação e manutenção necessitam de uma infra-estrutura organizacional relativamente complexa. O custo do material rodante de um VLT ou metrô leve é relativamente alto no Brasil, por uma questão de escala, já que os maiores fabricantes não estão instalados no país. Mas com os projetos que estão em vias de concretização e com a concorrência entre fornecedores de diversas procedências, as perspectivas são de uma sensível redução nos preços.

Ainda pode-se ressaltar que quando trafega pela mesma via que os automóveis, provoca uma redução da capacidade da via, o que pode ser motivo de oposição por parte dos motoristas, mas também favorece a utilização do transporte público por piorar o serviço do automóvel. Além disso existe o fator cultural no Brasil, uma reação natural em qualquer sociedade, como o professor da EPUSP Orlando Strambi disse: “Existem paixões envolvidas quando tratamos de diferentes meios de transporte.” Este último fator comentado aliado a inexperiência podem acarretar problemas que tiram ainda mais a credibilidade dessa modalidade de transporte, como foi o caso do Fura-Fila (VLP), que hoje não é bem visto pela maior parte da sociedade.



FIGURA 38 – VLT DE ESTRASBURGO – FRANÇA – FONTE: WIKIPÉDIA



FIGURA 39 – VLT DE BUENOS AIRES – ARGENTINA – FONTE: WIKIPÉDIA

4 CAPACIDADE

4.1 DEFINIÇÃO DE CAPACIDADE

A Capacidade é uma das mais importantes características dos modais de transporte. Ela representa de um modo geral a freqüência máxima com que determinadas unidades podem ser transportadas seqüencialmente, tendo como referência um dado ponto no espaço e um intervalo de tempo definido. Tais unidades podem se referir a passageiros, veículos, trens, ou outros itens relacionados aos diversos tipos de modais de transporte, sendo que cada unidade considerada originará um diferente tipo de capacidade.¹²

4.2 CAPACIDADES EFETIVAS DOS PRINCIPAIS MODAIS DE TRANSPORTE

A seguir serão discutidos alguns exemplos de capacidades máximas registradas para diferentes modais de transporte. Tais valores foram registrados com base em cidades pertencentes a países industrializados e também em desenvolvimento, como no caso de países asiáticos e da América Latina.

¹² VUCHIC, V.R. "Urban Transit - Systems and Technology" p. 153.

4.2.1 Capacidade das Linhas de Ônibus

A experiência em diversos países indica que, no caso das linhas de ônibus, freqüências de até 90 ônibus/hora podem ser operadas em ruas com paradas duplas ou triplas, caso o freqüente embarque e desembarque de passageiros não se concentre em uma única parada. Estas freqüências correspondem a uma oferta de capacidade de 6.000 a 7.000 lugares disponíveis / hora, ou a um volume de passageiros de 4.500 a 6.000 pass/h, e podem ser alcançadas mesmo sem o uso de medidas especiais de organização.

Caso as áreas de parada permitam a passagem ininterrupta dos ônibus, com faixa de ultrapassagem, e contem com uma supervisão relativa ao despacho destes, as freqüências obtidas podem atingir níveis excepcionais como as vistas em Portland (Oregon), onde se registrou 120 ou até mesmo 180 ônibus/hora. Estes níveis de freqüência resultam em uma oferta de capacidade de 9000 a 13.500 lugares disponíveis / hora" e um volume de passageiros de 7.200 a 10.800 pass/h. No caso da cidade de São Paulo, onde se tem em operação pelotões de até seis ônibus, essas capacidades podem ser excedidas, no entanto a velocidade operacional diminui sensivelmente.

Além disso, é importante salientar que as vias nas quais os ônibus operam representam uma das maiores barreiras

físicas impostas aos pedestres, cujo acesso às estações ou paradas requer um longo percurso, e pode acabar também por segregar as atividades urbanas em seu entorno. A poluição e o ruído gerados pela operação em alta freqüência dos ônibus contribuem para a deterioração e desvalorização dessas regiões próximas.

4.2.2 Capacidades de VLT

Os valores máximos de capacidade que podem ser atingidos por bondes são similares aos presenciados no caso dos ônibus - com exceção quanto aos ônibus operantes em vias com quatro faixas exclusivas - chegando assim a até 90 TU/h¹³, em condição com parada para dois sentidos e sem grandes intervenções no campo organizacional. Caso a operação conte com supervisão e com venda antecipada de passagens, é possível alcançar freqüências de até 120 TU/h.

No caso da operação das linhas de VLT, que consistem em um sistema de maior velocidade, não há muita similaridade com a operação dos sistemas de bondes, uma vez que o controle de sinalização freqüentemente utilizado no caso do VLT não permite freqüências muito elevadas. Os

¹³ TU, ou Transit Unit, refere-se ao conjunto de n carros que trafegam acoplados entre si. Pode ser apenas um veículo (n=1) ou mesmo um trem com diversos veículos (n>1).

headways mínimos do VLT são menores em comparação aos vistos para linhas de transporte coletivo de alta capacidade, em razão dos trens e quarteirões serem mais curtos e também da ocorrência de parada simultânea de dois trens nas estações. Tais valores de headway costumam oscilar em um intervalo de 60 a 80 segundos, onde os valores mais elevados desta faixa são típicos para trechos com velocidades mais elevadas.

Nestes casos, Para se compensar a redução da freqüência são utilizados TUs de maiores dimensões. Por exemplo, trens contendo de um a três vagões com seis a oito eixos articulados podem oferecer de 160 a 600 lugares de capacidade. Desse modo, um sistema de VLT pode oferecer aproximadamente a mesma capacidade dos bondes, mas com velocidades mais elevadas.

Portanto, os sistemas de VLT, que geralmente não apresentam capacidades superiores às dos bondes, podem compensar tal fato por apresentarem velocidades de operação maiores e consequentemente capacidades produtivas maiores. Além disso, oferecem maior segurança e conforto aos usuários devido ao uso de sinalização em sua operação.

4.2.3 Capacidades de Metrô

As maiores capacidades já registradas em uma linha de transporte coletivo de alta capacidade, ocorreram nas cidades de Nova York, Moscou e Tókio, encontram-se na faixa de 55.000 a 75.000 pass/h, os quais são valores excepcionalmente elevados. Outra faixa de valores no qual se encaixam um número maior de cidades varia de 50.000 a 65.000 pass/h (assumindo-se um Fator de carga $\alpha = 0.9$).

Assim como os sistemas mais modernos de VLT, os sistemas mais recentes de Metrô construídos em cidades européias e norte americanas tendem a privilegiar um Level Of Service - nível de serviço elevado mais do que a maximização das capacidades.

Por outro lado, em cidades de países em desenvolvimento como Hong Kong e São Paulo, há uma grande demanda por capacidades elevadas e assim seus sistemas de Metrô são projetados para tal. A cidade de São Paulo apresenta uma capacidade de projeto em torno de 60.000 lugares disponíveis / hora oferecida por trens de grande extensão operando com headways em torno de 90 segundos, enquanto Hong Kong atinge uma capacidade similar, porém operando com headways na casa dos 120 segundos.

Graças aos progressos desenvolvidos em ATO technology (Automatic Train Operation technology) tecnologia de operação automática de trens e no controle das linhas, os headways mínimos dos sistemas de Metrô podem sem diminuídos para até 70 segundos em determinados casos. Este fato poderá gerar um crescimento nas capacidades reais oferecidas.

4.2.4 Análise da Capacidade dos Principais modos de Transporte

A tabela traz um resumo das faixas dos principais modais de transporte, organizadas em dois conjuntos. O primeiro conjunto contém as capacidades alcançáveis através de um projeto cuidadoso e de operação competente. O segundo conjunto engloba capacidades que podem ser alcançadas sem grandes esforços, presentes em um grande número de cidades.

Salienta-se que se trata de capacidades oferecidas (lugares disponíveis / hora), as quais são superiores às capacidades de fato utilizadas (pax/h). Outro fator importante é o fator de hora de pico, o qual deve considerado ao se projetar os volumes de passageiros atendidos por hora. A oferta de capacidade deveria ser usada como o parâmetro básico para a escolha dos modais através da Tabela.

Os intervalos máximos de capacidade exibidos na Tabela indicam que o VLT apresenta uma capacidade moderada de até 2.2 vezes superior às dos ônibus em condições similares. O Metrô, por sua vez, tem uma capacidade 3.1 vezes superior que a do VLT, ou então 7 vezes a dos ônibus. Vale ressaltar que essas razões estão baseadas nos valores médios de capacidade indicados pela tabela, e podem variar de caso para caso.

Também são fornecidos os intervalos para velocidade de operação e capacidade produtiva. Dado que a velocidade se eleva dos ônibus em direção ao Metrô, as razões de capacidade de produtividade entre os diversos modais são ainda maiores que as razões de capacidade.

Faixa de capacidades dos principais modais de transporte							
Modo	Valor Máximo ou Moderado	Headway mínimo (s)	Quantidade máx de veículos na linha (veic/h)	Cap. nominal do veículo (sps/veh)	Cap. Máx. Oferecida (sps/h)	Razão da Cap. comp. ao Ônibus Padron	Velocidade de operação com carga máx. V(km/h)
Ônibus expresso ou convencional, com ou sem faixa	Máximo	30	120	75	6000 - 9000	1.0	8 - 12
	Moderado	40	90	75	4000 - 6300	1.0	20 - 40
Ônibus articulados, ROW como o anterior	Máximo	33	110	110	8500 - 12000	1.4	7 - 11
	Moderado	45	80	110	5000 - 8500	1.3	18 - 36
Bonde em rua ou em curbed median	Máximo	33	$110 \times 2 = 220$	100	14000 - 22000	2.4	8 - 10
	Moderado	40	$90 \times 2 = 180$	100	10000 - 16000	2.5	10 - 14
LRT em ROW privado, cruzamentos regulados	Máximo	60	$60 \times 2 = 120$	180	12000 - 20000	2.1	18 - 30
	Moderado	80	$45 \times 2 = 90$	180	8000 - 15000	2.2	20 - 35
Rail rapid transit, urbano	Máximo	100	$36 \times 10 = 360$	175	40000 - 63000	6.9	22 - 40
	Moderado	120	$30 \times 8 = 240$	175	30000 - 42000	7.0	25 - 45
Ferrovia regional, eletrificada	Máximo	120	$30 \times 9 = 270$	180	30000 - 48000	5.2	25 - 45
	Moderado	180	$20 \times 9 = 180$	180	20000 - 32000	5.0	30 - 50

FIGURA 40 - FAIXA DE CAPACIDADES DOS PRINCIPAIS MODAIS DE TRANSPORTE

4.3 CATEGORIAS DE *RIGHT-OF-WAY* E SEUS SIGNIFICADOS

Right-of-Way (ROW) designa o direito de passagem do veículo do transporte público, ou seja, sua preferência em relação aos demais veículos que integram o sistema de transporte urbano, a qual se dá tanto através do uso preferencial da faixa ou nas interfaces intermodais. Está diretamente relacionado ao nível de segregação.

O ROW é um elemento de fundamental importância aos sistemas de transporte público, pois exerce grande influência na relação custo-benefício dos modais.

A categoria ROW C engloba os modos de transporte público mais simples que trafegam imersos no tráfego de automóveis, por exemplo, os ônibus, trólebus e bondes. Estes modos requerem investimentos mais baixos e suas performances dependem das condições do tráfego, o que torna os serviços menos confiáveis. As velocidades atingidas são sempre inferiores às dos demais veículos devido às constantes desacelerações e paradas nos pontos de embarque e desembarque de passageiros.

A categoria ROW B contempla alguns tipos de VLT e os corredores de ônibus comuns de São Paulo, tornando-a semi-segregada. O investimento necessário para a construção da infraestrutura destes sistemas acaba aumentando os custos, porém esta mesma infraestrutura valoriza sua imagem e aumenta sua capacidade de influenciar o entorno – de modo benéfico ou não.

Por fim, a categoria ROW A representa a total segregação da via designada ao transporte público, o que traz o aumento da velocidade e a diminuição de interferências. No entanto são necessários investimentos mais elevados para que seja obtido este nível de segregação e operação. Exemplos pertencentes a esta categoria são o metrô, alguns tipos de VLP e VLT e o monotrilho.

CATEGORIAS	ROW		
	C	B	A
Performance do sistema: capacidade, velocidade, confiabilidade, segurança	moderada	alta	muito alta
Custo de investimento	baixo	alto	muito alto
Nível de serviço	moderado	alto	muito alto
Imagem/identificação	moderada	boa	muito forte
Atração de passageiros	moderada	alta	muito alta
Impacto no meio urbano	fraco	forte	muito forte
Possibilidade de automação completa	nenhuma	nenhuma	total

FIGURA 41 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO POR ROW

4.4 DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE

4.4.1 Definições

Capacidade de linha “C” é uma expressão que se refere, da maneira mais ampla possível, ao maior número de unidades que podem ser transportadas em uma linha, analisando uma dada seção durante o período de uma hora sob uma série de condições. Quando se refere a unidades, essas podem variar de acordo com o interesse do estudo, podendo ser definida como passageiros, veículos, composições ou qualquer outro objeto de interesse.

A capacidade de linha em termos de composições representa a freqüência máxima que se pode obter ao longo de uma linha, incluindo suas paradas ou estações. A freqüência “f”, normalmente definida como o inverso do *headway* “h” (intervalo de tempo entre chegadas consecutivas), pode ser definida para dois casos bem específicos: *hw-headway de via* que é definido no trecho de via sem estações intermediárias, e *hs-headway de estação* que é definido pelo intervalo de tempo entre chegadas de

composições em uma estação. A freqüência máxima será então determinada pelo maior valor entre os dois headways mínimos citados anteriormente. Na grande maioria dos casos, o headway limitante é o de estação, exceto em alguns sistemas em particular com estações de múltiplas plataformas ou plataformas em paralelo à via.

$$f_{\max} = \frac{3600}{h_{\min}}$$

Capacidade de linha para carros “c” é o máximo número de carros “n” que atravessam uma seção de via no período de uma hora e se define como:

$$c = f_{\max} \cdot n$$

Máxima capacidade de linha oferecida “C” ou simplesmente *Capacidade de linha* (como referido anteriormente) é a capacidade máxima que uma linha tem para transportar passageiros e é expressa em vagas para passageiros por hora. O valor de C pode ser definido em função de c como na expressão a seguir:

$$C = c \cdot C_v = f_{\max} \cdot n \cdot C_v , \text{ onde } C_v \text{ representa a capacidade de um veículo.}$$

A mesma fórmula pode também ser expressa em função do headway mínimo:

$$C = \frac{3600 \cdot n \cdot C_v}{h_{\min}}$$

E portanto, podemos definir uma capacidade máxima de via e uma capacidade máxima de estação, simplesmente utilizando os seus respectivos valores de headway. A capacidade da linha será então o menor dentre esses dois valores.

Os valores de headway por sua vez são influenciados por diversos fatores. O headway de via, por exemplo, depende diretamente da performance do veículo, do regime de viagens e, acima de tudo, do grau de segregação. No caso de bondes, que trafegam entre automóveis e pedestres, o tempo de headway é extremamente irregular, sendo afetado por diversos outros fatores e resultando em impactos negativos significantes na capacidade da linha.

Máxima capacidade de linha utilizada “ C_p ” representa o número máximo de passageiros que podem ser transportados diante de certas imposições ao sistema. Em tese, o valor de C_p poderá ser no máximo igual a C , mas na prática, o que se nota é que dificilmente se consegue manter um taxa tão elevada de utilização por um período maior que 60 minutos¹⁴.

Capacidade programada “ C_o ” é a capacidade máxima de oferta de vagas para passageiros para uma dada seção e uma dada programação de horários na operação. Mais uma vez, o valor máximo possível em teoria é C .

¹⁴ VUCHIC, V.R. (2007) **Urban Transit Systems and Technology**. John Wiley and Sons
P.155

Dadas as definições, é coerente criar-se coeficientes de utilização para melhor analisarmos os sistemas de transporte:

$$\delta = \frac{C_o}{C}$$

: *Coeficiente de utilização para linhas com programação de horário* – representando a taxa de vagas disponibilizadas diante de uma certa programação em comparação à máxima capacidade de geração de vagas do sistema.

$$\alpha = \frac{P}{C_o}$$

: *Coeficiente de utilização da capacidade* – o qual representa a taxa de passageiros efetivos por vaga disponibilizada no sistema.

O coeficiente α é bastante utilizado na determinação da programação de horários dos diversos meios de transporte público.

O volume de passageiros transportados em uma linha através de uma seção é expressa por:

$$P = \alpha \cdot C_o = \alpha \cdot \delta \cdot C$$

4.4.2 Capacidade do veículo

A *Capacidade do veículo* “Cv” influí tanto na capacidade máxima da via como na da estação, sendo, portanto, um fator de grande importância para a capacidade do sistema como um todo.

O entendimento de todos os fatores que influenciam em seu valor é essencial para o estudo da capacidade da linha.

4.4.3 Fatores determinantes

Basicamente, são quatro os elementos que influenciam diretamente a capacidade do veículo: as dimensões do veículo, a área útil, o padrão de conforto e o layout de assentos (ou relação assento/em pé).

As dimensões do carro incluem comprimento, largura e número de andares e determinam a área bruta do veículo “Ag”. A determinação dessas dimensões pode ser feita com base na capacidade que se deseja atingir, sendo desejável que as dimensões externas sejam as maiores possíveis, tendo em vista os fatores limitantes. Esses podem ser:

- Dimensões máximas previstas em lei para tráfego em vias públicas
- Folgas mínimas em trechos especiais como curvas e túneis
- Máxima carga por eixo permitida, suportada pelo veículo e pelas suspensões
- Herança de projetos anteriores, compatibilizando elementos e facilitando a operação e manutenção

- Uso de componentes ou veículos pré-existentes ou pré-projetados

A Área efetiva do carro "An" é a área total disponível para passageiros, ou seja, é o valor da área bruta do veículo descontada a redução da largura nas extremidades do veículo, a espessura das paredes e as demais áreas não disponíveis para os passageiros "Al". Portanto, o valor de An pode ser expresso na seguinte fórmula:

$$A_n = \xi \cdot A_g - A_l$$
 : onde ξ é o coeficiente que considera o estreitamento do veículo nas extremidades e a largura das paredes e Al totaliza as áreas perdidas como a cabine do condutor, a escada de acesso e a área de cobrança.

O padrão de conforto determina a área disponibilizada para cada passageiro e é facilmente determinada para os assentos sob o valor de ρ , sendo comum valores entre 0,3 a 0,55 m²/assento. Entretanto, para os passageiros em pé, o padrão de conforto σ é variável de acordo com o grau de lotação. Normalmente, se adotam valores entre 0,1 e 0,25 m²/passageiro, embora o primeiro valor seja impraticável e somente utilizado para cálculo de esforços no dimensionamento ou verificação estrutural do veículo. O menor valor atingido é de cerca de 0,15 m²/passageiro na prática¹⁵.

¹⁵ VUCHIC, V.R. (2007) **Urban Transit Systems and Technology**. John Wiley and Sons
P.157

A área efetiva A_n pode então ser definida como:

$A_n = m \cdot \rho + m' \cdot \sigma$: onde “m” é o *número de assentos* e “m’” é o *número de vagas em pé*.

Ao se substituir m' por $(Cv - m)$ podemos reescrever a equação em função de Cv:

$$C_v = m + \frac{A_n - m \cdot p}{\sigma} = m + \frac{\xi \cdot A_g - A_t - m \cdot \rho}{\sigma}$$

Nesse ponto, torna-se útil definir um *coeficiente de capacidade do veículo* “cv” como:

$$c_v = \frac{C_v}{A_n}$$

4.4.4 Diagrama de Capacidade do Veículo

Ao se comparar diferentes modelos de veículos, é importante analisarmos tanto a capacidade total do veículo como o grau de conforto oferecido aos passageiros, sentados ou não. Para isso, é interessante criar um diagrama que possa expressar a capacidade do veículo em função de diferentes graus de conforto. O diagrama se baseia na equação:

$$c_v = \frac{m}{A_n} \left(1 - \frac{\rho}{\sigma} \right) + \frac{1}{\sigma}$$

No diagrama descrito, o eixo das ordenadas irá conter o coeficiente de capacidade do veículo assim como o σ (grau de conforto para os passageiros em pé), enquanto o ρ (grau de

conforto para os assentos) será representado em uma linha diagonal. O eixo das abscissas dá a relação entre número de assentos por unidade de área efetiva.

A região do diagrama entre o eixo vertical (representando a capacidade em um veículo sem nenhum assento) e o eixo diagonal (representando um veículo com assentos em toda sua área) comprehende todas as soluções possíveis, salvo algumas restrições como área mínima de circulação e quantidade mínima de assentos.

O número mínimo de assentos em um veículo é aquele onde os assentos são posicionados longitudinalmente nas duas paredes no veículo, proporcionando cerca de 10% da capacidade total computada. No outro extremo, o número máximo de assentos proporcionará 80% da capacidade do veículo, pois é necessário existir um espaço mínimo para circulação.

Existem diversos usos para o diagrama proposto, entre eles calcular a capacidade para um projeto existente e projetar um veículo seguindo certas imposições de projeto.

No primeiro caso, tendo-se em mãos os valores de área efetiva e número de assentos, calculamos m/An e traçamos uma reta vertical passando por esse ponto. Adotados os valores de padrão de conforto σ e ρ , ligamos esses dois pontos no diagrama. A intersecção entre as duas retas descritas representa o ponto de utilização e podemos obter o valor do coeficiente de capacidade

do veículo no eixo vertical. Multiplicando o valor do coeficiente c_v pela área efetiva obtemos a capacidade total do veículo em questão.

Na segunda aplicação do diagrama, tendo uma área efetiva A_n definida e um padrão de conforto para passageiros em pé de σ , podemos definir a região do diagrama onde estão as possíveis soluções. Com isso, obtemos as relações entre ρ , m e C_v .

Vale ressaltar que os valores obtidos a partir do diagrama servirão como uma orientação ao projeto do veículo e não uma especificação precisa, isso porque existem diversos outros limitantes em um veículo que podem ou não permitir que o número de assentos escolhido nessa fase seja construído.

4.4.5 Capacidade linear do veículo

A *capacidade linear do veículo* π define o número de passageiros por metro linear de um veículo (sps/m) e é bastante útil na comparação entre diferentes modos de transporte ou modelos de veículos e até mesmo para análise da capacidade da via. Sua definição é simples e é mostrada a seguir:

$$\pi = \frac{C_v}{l'} : \text{onde "l' " é o comprimento do veículo.}$$

É intuitivo perceber que o valor de π será pequeno para veículos particulares, isso porque apenas uma parcela relativamente pequena do veículo é utilizada para transporte dos passageiros (cerca de 30% a 70%) e, além disso, o padrão de conforto ρ é bastante elevado. Entretanto, o verdadeiro limitante na capacidade de transporte dos automóveis particulares é o baixo índice de ocupação, girando em torno de 1,2 a 2,2 passageiros/veículo¹⁶.

Em contraste, os VLTs possuem as maiores capacidades lineares mesmo entre os demais modos de transporte públicos. Isso ocorre porque o VLT, no caso geral, possui uma relação assento/área bastante baixa, até mesmo em comparação com os ônibus, e uma área não-aproveitável pequena. Além disso, quando possui sua via própria, o veículo pode ter uma largura maior, favorecendo o aumento da capacidade.

4.4.6 Capacidade da via

A capacidade da via C_w , pode ser definida como descrita no item “Definições” dentro desse capítulo.

$$C_w = \frac{3600 \cdot n \cdot C_v}{h_{w,\min}} \quad : \text{onde } h_{w,\min} \text{ é o headway mínimo atribuído à via.}$$

¹⁶ VUCHIC, V.R. (2007) **Urban Transit Systems and Technology**. John Wiley and Sons P.160

O headway mínimo da via hw_{min} depende, por sua vez, de diversos outros fatores operacionais, sendo eles: velocidade, frenagem e o grau de segurança adotado. O valor de via hw_{min} pode ser expresso como:

$$h_{w,min} = \frac{S_{s,min}}{v}$$
 : onde $S_{s,min}$ é a menor distância entre pontos correspondentes de duas composições consecutivas e v é a velocidade dos veículos. A distância $S_{s,min}$ pode, portanto, ser dividida em duas parcelas: $S_{g,min}$, o espaçamento mínimo que deve ser mantido entre duas composições consecutivas e o comprimento da composição, definido pelo produto de n (número de veículos) por l' (comprimento de cada veículos). Logo:

$$S_{s,min} = S_{g,min} + n \cdot l'$$

Conseqüentemente, a capacidade da via pode ser expressa como:

$$C_w = \frac{3600\pi \cdot v}{1 + \frac{S_{g,min}}{n \cdot l'}}$$

A partir da equação acima, pode-se notar que a capacidade da via é maior quando maior o comprimento do veículo e que o acoplamento de veículos em composições é benéfico ao aumento da capacidade do sistema. Isso porque aumentando o comprimento útil ($n \cdot l'$) e mantendo o espaçamento entre composições, aumenta-se a taxa de ocupação da via.

4.4.6.1 Distância entre composições

O item mais complexo na definição da capacidade da via é a distância entre composições. Os fatores que a influenciam são a velocidade de operação, a taxa de frenagem e o grau de segurança na operação. Quando as composições são operadas manualmente, a distância entre composições é extremamente variável, dependendo do próprio condutor. O grau de segurança também varia, pois não há como se garantir que a distância mínima de segurança desejável entre composições seja sempre mantida. Com a operação automatizada, é possível se atingir um grau de segurança maior, uma vez que uma maior distância de segurança é sempre mantida.

Ao se comparar capacidades entre diferentes modais ou mesmo diferentes soluções para um mesmo modo, deve-se atentar a dois itens importantes. Primeiramente, em comparações de capacidade deve-se sempre levar em consideração os diferentes graus de segurança. Em segundo, deve-se ter cuidado com o grau de segurança adotado no estudo, principalmente para modelos ainda não testados, evitando-se usar valores muito baixos e impraticáveis.

O *espaçamento mínimo entre composições consecutivas* sg_{min} deve ser tal que uma unidade deve ter espaço suficiente

para chegar a uma parada completa, caso o veículo à sua frente pare. Para determinar o valor $s_{g_{\min}}$, considera-se que no instante em que o veículo à frente começa a frear, o espaço disponível para o veículo seguinte deve ser suficiente para sua parada total, mantido um vão entre os dois veículos.

A distância de parada é dada pela equação:

$s_d = s_r + s_b + s_0 = t_r \cdot v + \frac{v^2}{2b} + s_0$: onde t_r é o *tempo de reação* para iniciar a manobra de frenagem, v é a *velocidade* do veículo, b é a *taxa de frenagem* e s_0 é a *distância mínima* a ser mantida após a parada completa dos veículos.

O valor $s_{g_{\min}}$ pode ser definido pela diferença entre a distância de parada do veículo de trás (s_d2) e a distância de frenagem do veículo à frente (s_d1), como proposto na equação abaixo:

$$s_{g_{\min}} = t_r \cdot v_2 + \frac{v_2^2}{2b_2} + s_0 - \frac{v_1^2}{2b_1}$$

Tendo a equação expressa em função das taxas de frenagem individuais para cada veículo, podemos impor que o veículo de trás realize a frenagem de modo a manter um certo grau de conforto para os passageiros, que, quanto mais alto for, maior será o espaçamento mínimo entre as composições.

4.4.6.2 Equação da capacidade da via

Tendo em mãos as definições feitas, pode-se expressar o valor da capacidade da via em função dos demais fatores básicos. Primeiramente, define-se o valor do headway mínimo da via:

$$h_{w,\min} = \frac{n \cdot l' + s_0}{v} + t_r + \frac{v}{2} \frac{b_1 - b_2}{b_1 \cdot b_2}$$

Em seguida, definimos a capacidade da via como:

$$C_w = \frac{3600n \cdot C_v}{(n \cdot l' + s_0) / v + t_r + v(b_1 - b_2) / (2b_1 \cdot b_2)}$$

4.4.6.3 Categorias de controle na operação

A condução dos veículos de meio de transporte em massa pode ser classificada em 4 modos básicos:

1. Manual e visual: A condução é feita manualmente, dependendo apenas do próprio condutor, não havendo qualquer tipo de sinalização com a finalidade de manter a distância mínima entre dois veículos. O treinamento e a orientação do condutor são as únicas formas de controle sobre a operação, resultando no mais baixo fator de segurança. Em alguns casos, sistemas operados dessa forma podem atingir níveis de capacidade maiores, pois os condutores operam com condições de

segurança inferiores às recomendadas¹⁷. Por esse motivo, esse modo de operação não é recomendado para sistemas com grande volume de passageiros.

2. Manual com sinalização: Como no modo citado acima, a condução é feita manualmente, mas existe sinalização de modo a indicar se o condutor deve para ou prosseguir. O grau de segurança nesse caso é maior, embora não evite erro humano ou mesmo imprudência do condutor.
3. Controle ativo de distância: É um modo composto pela sinalização associada a um dispositivo de controle que força a para do veículo quando a sinalização indica a parada. Nesse caso, a operação se torna segura contra falhas humanas, sendo que a distância mínima é mantida independentemente da ação do condutor.
4. Operação automática: Nessa modalidade, os veículos têm sua velocidade e espaçamento determinados por um sistema automático. Normalmente se utiliza um sistema de movimento em bloco para se otimizar a capacidade da linha. Junto com o modo anterior, essas são as categorias mais adequadas para a operação de sistemas de alta capacidade e/ou alta capacidade.

¹⁷ VUCHIC, V.R. (2007) **Urban Transit Systems and Technology**. John Wiley and Sons P.164

4.4.6.4 Regimes de segurança na operação

Os regimes de segurança em operação são determinados pela combinação de diferentes modos de frenagem para dois veículos consecutivos, representando diversas situações possíveis durante a operação. Os modos de frenagem são:

- Frenagem Normal: aplicável às condições normais de operação, com taxa de frenagem bn definida em função de critérios de segurança e de conforto para os passageiros em pé.
- Frenagem Emergencial: aplicável para a situação em que a máxima taxa de frenagem possível do veículo (be) é acionada, gerando desconforto e alguns riscos aos passageiros. Normalmente, existe um sistema especial de freios para essas situações.
- Frenagem Instantânea: representa uma situação teórica de colisão e é utilizada somente para estudar a parada do veículo seguinte. Nesse caso, a taxa de frenagem é considerada infinitamente grande.

Para a análise, atribuem-se os valores de taxa de frenagem para o veículo à frente e o seguinte, gerando, no total, nove diferentes casos. Adiciona-se um décimo caso para estudo limite, onde se considera um trem de comprimento infinito. Excluindo-se as permutações que não nos interessam, como as que consideram

taxas de frenagem iguais para os dois veículos ou maiores para o veículo que segue, resultando em 5 classificações nomeadas de a a d. A tabela abaixo resume a classificação apresentada:

Regime		b1	b2	Comentário
Via	Estação	1º Trem	Trem seguinte	
a	a	∞	bn	Conforto e segurança absolutos, superdimensionado
b	b	be	bn	Segurança absoluta mas não para qualquer be e bn
c	c	∞	be	Segurança em geral aceitável, exceto para sistemas automatizados Se $be < 2bn$, é mais seguro que o regime b e há desconforto para os passageiros do 2º trem
d	-	∞	∞	Em emergências a segurança é inadequada
	d1	be	be	
d2		bn	bn	
e	-	sem frenagem		Caso hipotético

FIGURA 42 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE FRENAGEM

A partir dessas definições, podemos equacionar a capacidade para os 5 regimes de modo a poder encontrar as capacidades máximas em cada caso.

A iniciar pelo regime a, onde mesmo com uma parada imediata do veículo à frente, o veículo que o segue pode efetuar uma manobra de parada sem redução de conforto e com total segurança. Nesse caso, os parâmetros são $b1=\infty$ e $b2 = bn$, resultando na equação de capacidade da via a seguir:

$$C_w = \frac{3600n \cdot C_v}{(n \cdot l' + s_0) / v + t_r + v / (2b_n)}$$

Para descobrir a capacidade máxima basta derivar a equação em função da velocidade v e igualando à zero. O resultado será a velocidade v^* onde a capacidade é máxima.

$$v^* = \sqrt{2(n \cdot l' + s_0) b_n}$$

Substituindo o valor de v na equação da capacidade, obtém-se a capacidade máxima C_w^* .

$$C_w^* = \frac{3600n \cdot C_v}{\sqrt{2(n \cdot l' + s_0) / b_n} + t_r}$$

O mesmo pode ser feito para o regime b, que considera que o primeiro veículo realiza uma parada emergencial com $b = b_e$ e o veículo seguinte freia com uma taxa $b = b_n$ de operação normal. Realizando exatamente os mesmos passos, obtém-se:

$$C_w = \frac{3600n \cdot C_v}{(n \cdot l' + s_0) / v + t_r + v(b_e - b_n) / (2b_e \cdot b_n)}$$

$$v^* = \sqrt{2(n \cdot l' + s_0) b_e \cdot b_n / (b_e - b_n)}$$

$$C_w^* = \frac{3600n \cdot C_v}{\sqrt{2(n \cdot l' + s_0)(b_e - b_n) / (b_e \cdot b_n)} + t_r}$$

No caso do regime C, considera-se uma parada imediata do veículo a frente e uma parada emergencial do veículo que segue ($b_1 = \infty$ e $b_2 = b_e$), resultando uma pequena redução na segurança de operação mas aumentando a capacidade do sistema. As equações nesse caso são:

$$C_w = \frac{3600n \cdot C_v}{(n \cdot l' + s_0) / v + t_r + v / 2b_e}$$

$$v^* = \sqrt{2(n \cdot l' + s_0) b_e}$$

$$C_w^* = \frac{3600n \cdot C_v}{\sqrt{2(n \cdot l' + s_0) / b_e} + t_r}$$

O regime d considera $b1=b2$, o que é impossível no caso em que o primeiro veículo para imediatamente por razão de uma colisão. Nesse regime, a capacidade é quase diretamente proporcional à velocidade e não tem um máximo, como se verifica pela equação abaixo:

$$C_w = \frac{3600n \cdot C_v}{(n \cdot l' + s_0) / v + t_r}$$

Por último, o regime e, fictício e representando um único veículo infinitamente longo, resulta em uma função de capacidade linear proporcional à velocidade. Sendo uma situação estritamente teórica, sua utilização se dá apenas para determinação do limite de capacidade teórico. A expressão da capacidade nessa situação é:

$$C_w = 3600 \cdot \pi \cdot v$$

Lehner (1949-1950) publicou uma análise sistemática dos regimes de segurança e capacidades de via, que inclui curvas de capacidades para os diversos regimes de um mesmo sistema.

É, também, prática comum considerar-se um fator de segurança K que minora a taxa de frenagem normal b_n para consideração de diversas variáveis como diferença entre condutores, estado de conservação do veículo, condições da via e etc. Portanto, tem-se:

$$K = \frac{b_n}{b_r} \geq 1$$

$$s_{g,\min} = s_0 + t_r \cdot v + K \frac{v^2}{2} \cdot \frac{b_1 - b_2}{b_1 \cdot b_2}$$

4.4.6.5 Tamanho da composição e Sistema de controle

O tamanho da composição, isso é, o número de carros acoplados em uma única unidade é um dos principais fatores que influenciam a capacidade de via de um sistema de VLT. Considerando que a performance do veículo em termos de operabilidade (aceleração, frenagem e velocidade) não alterem significativamente com a variação de n (número de carros), a capacidade de via pode ser expressa como:

$$C_w = \frac{3600 \cdot v \cdot n}{n \cdot l' + s_{g,\min}} C_v$$

Como, de modo geral, o espaçamento entre composições $s_{g,\min}$ é muito maior que o comprimento da própria nl', a

capacidade de via C_w cresce quase que linearmente com o valor de n . Além disso, soma-se o fato de que a velocidade ótima de operação V^* que gera a maior capacidade também cresce com n (aproximadamente proporcionalmente à raiz de n). O resultado é uma função de capacidade máxima com crescimento mais acentuado que o linear e um sistema operando com maior capacidade e maior velocidade.

O aumento de n também implica na redução da freqüência de passagem das composições, porém a um ritmo bem menor, como visto na equação abaixo:

$$f_{\max} = \frac{3600 \cdot v}{n \cdot l' + s_{g,\min}}$$

Como dito anteriormente, a parcela do comprimento da composição é bem menor que a distância entre elas, implicando que o valor de n tenha pouca influência no denominador.

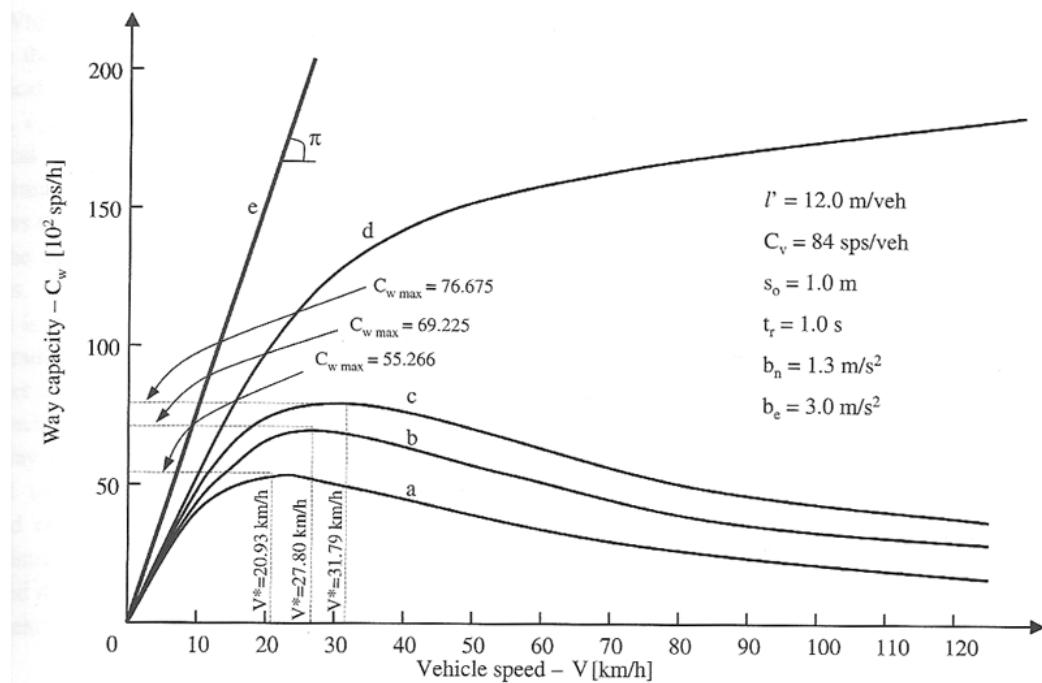


FIGURA 43 - CAPACIDADE DA VIA X VELOCIDADE – FONTE: VUCHIC

Outro fator de extrema importância na determinação da capacidade de via é o comprimento dos blocos de controle. Em todas as análises apresentadas até agora, considerou-se que a informação precisa da localização dos veículos é conhecida, quando na verdade, um sistema de VLT, assim como qualquer outro sobre trilhos, trabalha segmentando a via em diversos blocos, sendo que a posição do veículo é representada pelo bloco que ele ocupa. Portanto, as capacidades até agora apresentadas representam o máximo valor teórico, com um comprimento de bloco tendendo a zero. O espaçamento entre veículos será sempre maior que o mínimo teórico, uma vez que o valor da distância mínima será arredondado para cima quando transformado em número de blocos. A expressão que determina o espaçamento real praticável em um sistema com blocos de comprimento D é:

$$S_{s,\min} = D \left\{ \left[\frac{s_{g,\min}}{D} \right]^+ + 1 \right\} + n \cdot l'$$

Nota-se que além de arredondar o número de blocos para cima, deve-se somar um bloco ao espaçamento entre veículos.

A influência de um sistema automático de operação (ATO) ou um sistema automático de supervisão (ATS) sobre a capacidade de um sistema está relacionada, principalmente, à redução ou eliminação do tempo de reação associado a uma operação com condução humana. Além disso, a implementação de um sistema automático demanda um sistema de controle com blocos de controle menores, aumentando a capacidade da via. Entretanto, quando adotado um sistema como os descritos, inicialmente, adota-se um regime de operação bastante conservativo, com velocidades menores e espaçamentos maiores. Conforme o sistema se mostra seguro e a prova de falhas, o regime de operação é alterado de modo a aumentar a capacidade. Mesmo assim, o ganho em capacidade promovido pela automação se deve principalmente à redução da aleatoriedade na operação, regulando headways, mantendo o sistema em fluxo contínuo e não pela redução do espaçamento entre composições.

4.4.7 Capacidade da estação

O headway entre dois veículos consecutivos em um estação é definido por fatores divididos em dois grupos. O primeiro, abrange características do movimento do veículo, que inclui aceleração, desaceleração e regimes de segurança na operação. O segundo grupo contempla o tempo parado do veículo na estação, definido por diversos fatores como tempo de abertura de portas, tempo para fluxo de passageiros, fechamento de portas, entre outros.

4.4.7.1 Definições

Na análise da capacidade da estação, é importante se terem em mente duas definições:

1. *Sombra de parada*: É a distância necessária para parada completa, dada uma certa condição de operação (velocidade e taxa de frenagem), que forma uma área de “sombra” à frente do veículo e se desloca junto a ele.
2. *Curva da sombra de parada*: Representa, em um gráfico de deslocamento por tempo, a posição da frente da sombra de parada. Pode-se imaginar que, quando o veículo inicia uma manobra de parada, a curva se torna uma reta horizontal,

sendo que a zona de sombra diminui conforme a velocidade é reduzida.

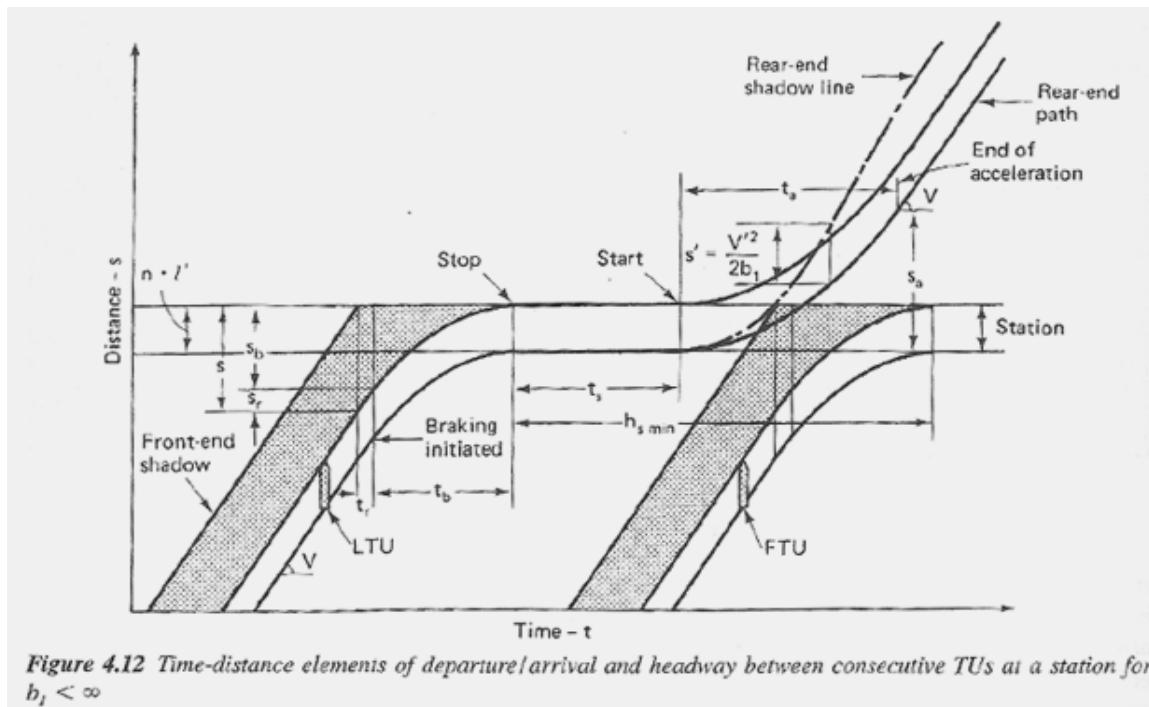


Figure 4.12 Time-distance elements of departure/arrival and headway between consecutive TUs at a station for $b_1 < \infty$

FIGURA 44 - DISTÂNCIA X TEMPO – FONTE: VUCHIC

No estudo da segurança na operação, é comum se considerar a distância entre a traseira de um veículo e a curva da sombra de parada do veículo que o segue, entretanto, em alguns casos também se estuda a distância entre a sombra de parada do veículo de trás com a sombra de parada traseira do veículo à frente (a qual representa o posicionamento da traseira do veículo após terminada a frenagem).

O headway da estação dependerá da condição crítica para o qual o controle do sistema foi projetado, podendo ela ser uma parada instantânea do veículo na saída da estação ou uma parada

com uma outra taxa de frenagem finita. Para o primeiro caso, a curva crítica será aquela da traseira do veículo, enquanto que no segundo caso, será a curva de frenagem da traseira desse mesmo veículo. Para os dois casos, deve-se impedir que a sombra de parada do veículo em aproximação ultrapasse a curva crítica. No dimensionamento para a capacidade máxima, as curvas se tocam. A distância entre essas duas curvas irá depender do comprimento dos blocos de controle, da aceleração (condiciona se a velocidade máxima é alcançada fora ou dentro da estação), do espaçamento entre estações (que definirá se os veículos atingem a velocidade máxima ou não) e da característica de ocupação da estação (permitindo a entrada do segundo veículo mesmo antes da desocupação completa da plataforma ou não).

Os parâmetros adotados para os estudos que seguem consideram:

- Comprimento de bloco de controle zero ($D=0$)
- A velocidade máxima é alcançada fora da estação
- O espaçamento entre estações permite alcançar a velocidade máxima
- A entrada de um veículo na estação só se dá após a completa liberação

4.4.7.2 Equações básicas para capacidade

A primeira equação a ser estudada deverá ser a do headway da estação, mostrada abaixo:

$$h_{s,\min} = t_s + t'_a + \Delta t + t_r + t_b$$

Os valores de t_s e t_r representam, respectivamente, o tempo de permanência na estação e o tempo de reação, enquanto t'_a é o tempo de aceleração, contado do início do movimento até que o veículo desocupe a estação por completo.

$$t'_a = \sqrt{\frac{2n \cdot l'}{a}}$$

Em alguns casos (especialmente trens de alta capacidade e metrôs), aplica-se ainda um fator de segurança a mais ao se considerar que, na condição crítica, a frenagem do veículo seguinte ocorre a uma taxa de frenagem menor que a taxa de frenagem normal b_n . Nesse caso, a sombra de parada será acrescida de:

$$\Delta s = \frac{v^2(K-1)}{2b_n}$$

Sendo o valor de Δt o tempo para percorrer essa distância.

$$\Delta t = \frac{n \cdot l'}{v} + \frac{v(K-1)}{2b_n}$$

E, por último, o valor de tb será o tempo gasto na desaceleração:

$$t_b = \frac{v}{b_n}$$

O resultado final para o headway é:

$$h_{s,\min} = t_s + t_r + \sqrt{\frac{2n \cdot l'}{a}} + \frac{n \cdot l'}{v} + \frac{v(K-1)}{2b_n}$$

A capacidade da estação ficará definida como:

$$C_s = \frac{3600 \cdot n \cdot C_v}{t_s + t_r + \sqrt{\frac{2n \cdot l'}{a}} + \frac{n \cdot l'}{v} + \frac{v(K-1)}{2b_n}}$$

Na condição de operação em velocidade máxima (deduzida no capítulo de capacidade de via) tem-se:

$$v_s^* = \sqrt{2n \cdot l' \cdot b_n / (K+1)}$$

$$C_s^* = \frac{3600 \cdot n \cdot C_v}{t_s + t_r + \sqrt{\frac{2n \cdot l'}{a}} + \sqrt{2n \cdot l' / a} + \sqrt{2n \cdot l' (K+1) / b_n}}$$

A equação acima representa a capacidade da estação para os parâmetros anteriormente especificados, que são os mais conservadores possíveis. Portanto, qualquer alteração resultará em headways menores e maiores capacidades.

4.4.7.3 Regimes de segurança na operação

Diferentemente da capacidade da via, a relação entre as taxas de frenagem entre dois veículos consecutivos não é um fator relevante para a estação. Entretanto, os mesmos cinco regimes apresentados anteriormente podem ser analisados para a estação. Nesse caso, o headway é analisado da mesma forma, porém omite-se o fator de segurança K e consideram-se as duas taxas de frenagem distintas, como indicado abaixo:

$$h_{s,\min} = t_s + t_r + \sqrt{\frac{2n \cdot l \cdot b_1}{a \cdot (a + b_1)}} + \frac{n \cdot l}{v} + \frac{v}{b_2}$$

Em relação aos regimes estudados para capacidade de via, as diferenças se encontram no regime d , o qual não resulta em uma mesma capacidade de estação para diversas variações de $b_1=b_2$ e no regime e , o qual não se aplica às estações (pois consiste em operação sem parada).

Os regimes a , b e c são semelhantes ao caso da via, com taxas de frenagem b_1 e b_2 indicados na tabela anterior. Para o regime d , apenas duas situações são aplicáveis à estação:

- Regime $d1$: $b_1=b_2=be$
- Regime $d2$: $b_1=b_2=bn$

A capacidade para todos os cinco regimes aplicáveis pode ser obtida ao se substituírem os valores de b_1 e b_2 na equação

do headway e em seguida usando o resultado na equação da capacidade.

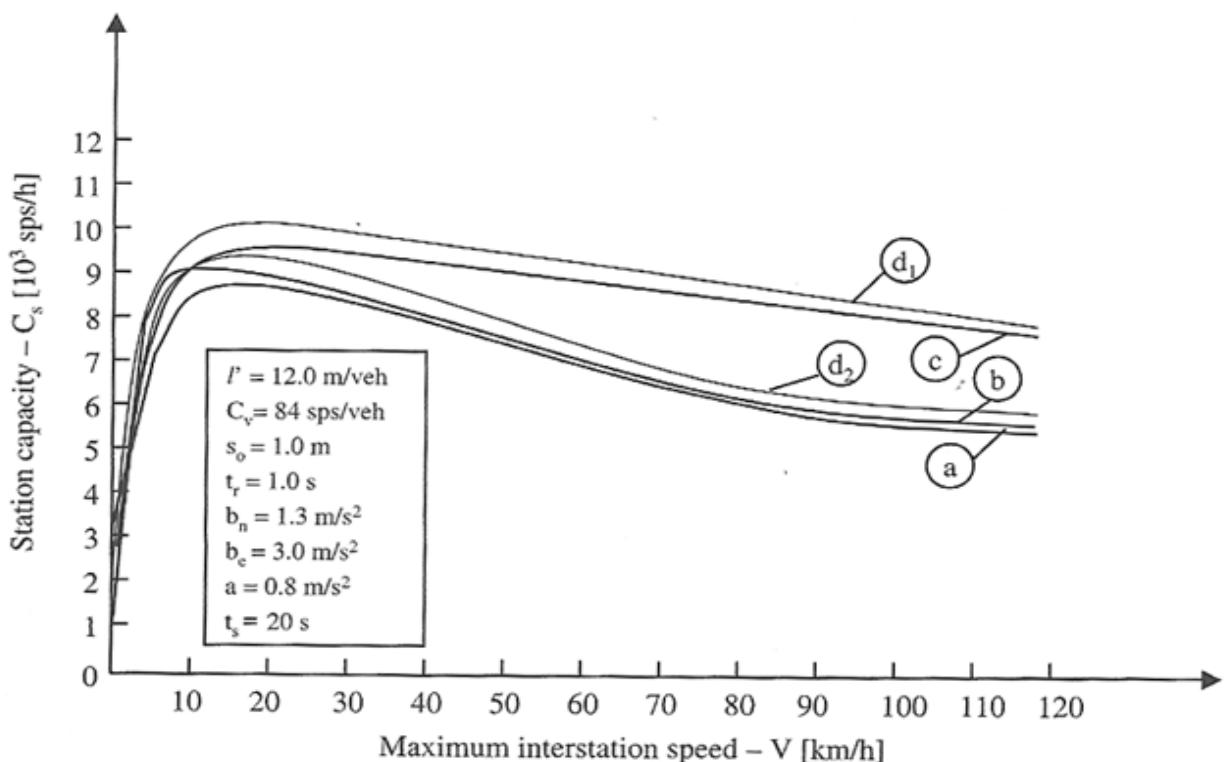


FIGURA 45 - CAPACIDADE DA ESTAÇÃO X VELOCIDADE ENTRE ESTAÇÕES – FONTE: VUCHIC

O gráfico acima apresenta os cinco regimes aplicáveis à estação. Em comparação à capacidade de via, pode-se inferir que:

- A capacidade da estação é menos sensível à alteração da velocidade de operação
- A velocidade ótima para a operação da estação é cerca de 1,5 a 2 vezes menor que a da via

- A capacidade de via é cerca de quatro vezes maior que a da estação

4.4.7.4 Influência da Capacidade da composição

A função da capacidade da estação cresce linearmente com a capacidade da composição (ou TU), assim como no caso da via. Portanto, quanto maior a possibilidade de se acoplarem carros em uma única unidade, maior será a capacidade do sistema como um todo.

4.4.7.5 Influência do Tempo de permanência na estação

Como visto na equação de headway para estação, a redução de ts reduz hs diretamente e consequentemente resulta em acréscimo na capacidade. Em geral, é muito mais fácil e barato se reduzir o tempo de permanência do que alterar características dinâmicas dos veículos (como aceleração e frenagem). O tempo de permanência é afetado por diversos fatores a serem abordados nesse capítulo.

O tempo de permanência para veículos com portas distintas para embarque e se dá pela equação:

$$t_s = t_0 + \max(\lambda \cdot p_b, \mu \cdot p_a)$$

Onde t_0 é o tempo fixo despendido nos preparativos em atividades de tempo determinado como abertura e fechamento de portas e procedimentos operacionais; λ e μ são, respectivamente, tempos de embarque e alinhamento por passageiro, considerando-se a capacidade de todas as portas; e p_b e p_a são a quantidade de passageiros embarcando e desembarcando, respectivamente, nas portas mais solicitadas para cada uso.

No caso mais comum para VLTs, o embarque e desembarque ocorrem pela mesma porta e a equação é a seguinte:

$$t_s = t_0 + \lambda \cdot p_b + \mu \cdot p_a$$

A interferência ou atrito entre pessoas embarcando e desembarcando afeta diretamente os valores de λ e μ . Esses valores de tempo, por sua vez, são influenciados por:

- Número de portas
- Forma de bilhetagem
- Altura da plataforma / piso do veículo
- Design das portas, do veículo e corredores
- Fluxo de passageiros em uma ou duas direções

O tempo de embarque por passageiros tem como pior caso ônibus com uma única porta de entrada com três degraus,

cobrança na entrada e corredores estreitos. Nessa situação, caso a tarifa seja paga em valor exato obtém-se uma variação de 2 a 2,5 s/passageiro e caso exija a cobrança com troco, 4,8 a 5 s/passageiro. Esse valor pode, ainda, chegar a 6 s/passageiro, caso considerados passageiros com bagagem¹⁸. No outro extremo, temos os trens e metrôs com 16 até 80 portas por TU, plataformas em nível com o piso do veículo e cobrança na entrada da estação, gerando valores de λ e μ da ordem de 1s/passageiro. É comum em casos como esse que se considere apenas metade do número de portas em uso devido à distribuição não homogênea dos passageiros pela plataforma, mas, mesmo assim, atinge-se valores de taxa de embarque da ordem de 40 passageiros/s.

Pode-se calcular o tempo ts de parada na estação em função do número de passageiros aguardando para o embarque, resultando uma curva como abaixo:

¹⁸ VUCHIC, V.R. (2007) **Urban Transit Systems and Technology**. John Wiley and Sons P.183

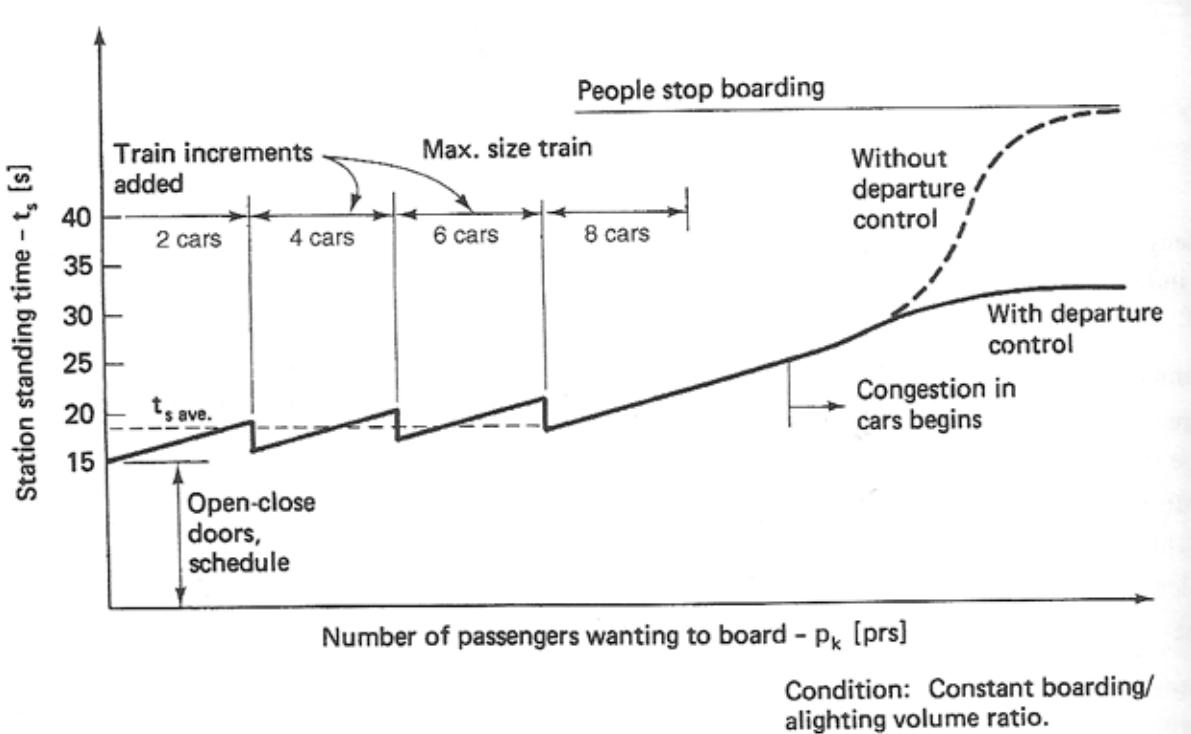


FIGURA 46 - TEMPO NA PARADA X NUMERO DE PASSAGEIROS- FONTE: VUCHIC

Foram considerados acréscimos de carros à TU conforme o número de passageiros cresce, até atingir o comprimento máximo da composição.

4.4.7.6 Influência do número de veículos simultâneos na estação

De um modo geral, trens e metrôs têm estações de tamanho tal que permite acomodar composições com o máximo número de carros acoplados, o que raramente ocorre em outros modos. No caso do VLT, é comum haver convergência de linhas diversas em uma única estação (embora não seja muito comum nos sistemas ferroviários do Brasil), e, portanto, muitas estações são

projetadas para abrigar mais de uma composição simultaneamente. O layout da estação, nesse caso, possui três vertentes:

1. Estação sem ultrapassagem: os veículos entram e saem na mesma ordem e o tempo de parada será ditado pelo veículo de maior t_s
2. Estação com ultrapassagem: requer uma maior área, porém permite uma operação quase independente entre os diversos veículos estacionados. É bastante comum para ônibus, mas também se aplica aos VLTs
3. Estação com paradas em paralelo: nesse caso, os veículos podem parar em ambos os lados de uma plataforma central, podendo também ocorrer a ultrapassagem de um veículo parado.

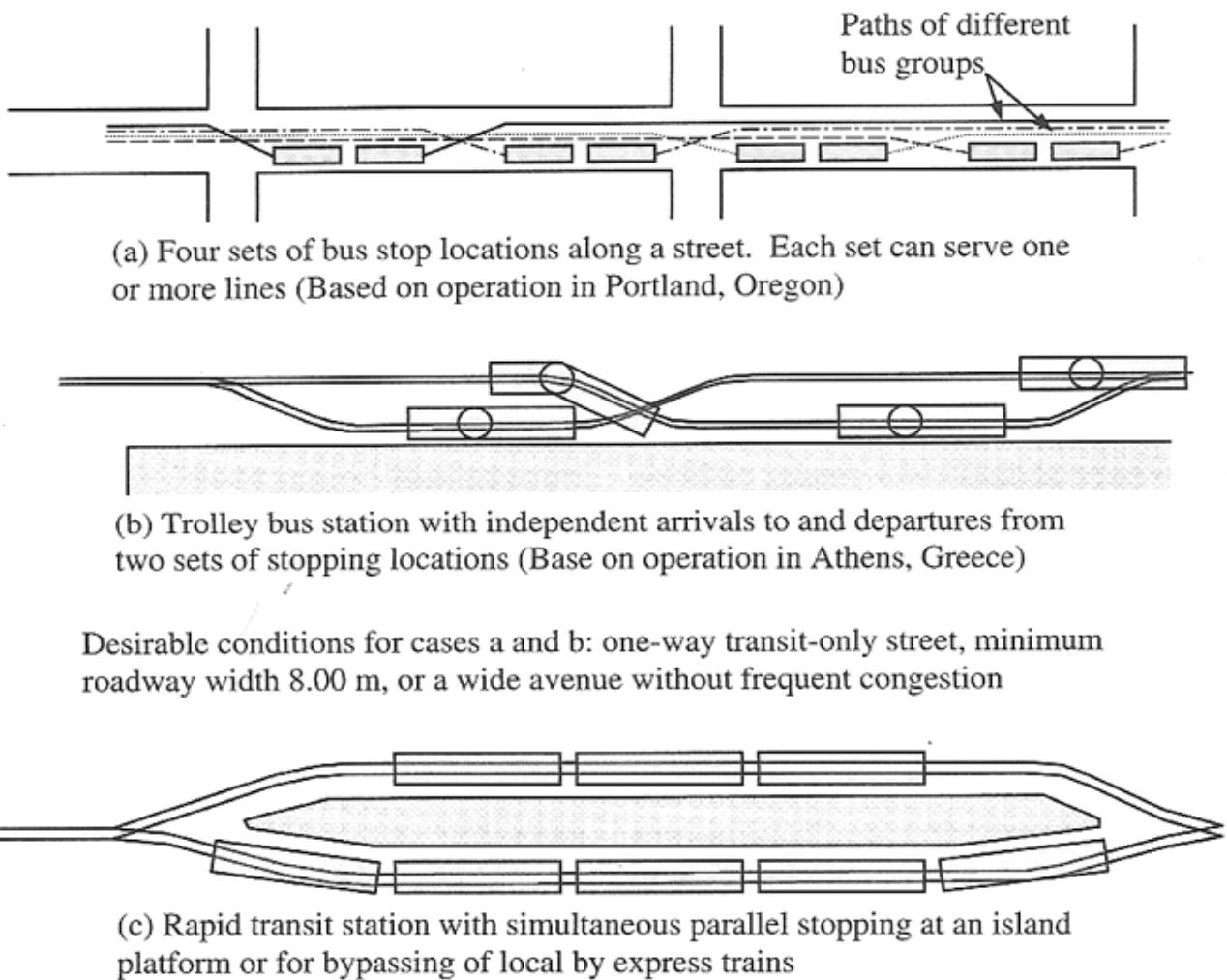


FIGURA 47 - LAYOUTS DE PARADAS – FONTE: VUCHIC

No caso de convergência de linhas distintas, pode-se trabalhar de forma a criar pelotões, permitindo a chegada de diversas TUs simultaneamente na estação, aumentando a capacidade da estação, embora reduza a velocidade de operação na maioria dos casos.

A capacidade da linha em termos de número de carros pode ser expressa como:

$$c_s = \frac{3600 \cdot n \cdot q}{h_p}$$

Onde hp é o headway entre pelotões e q o número de TUs por pelotão.

A capacidade em termos de passageiros é:

$$C_s = \frac{3600n \cdot q}{h_{p,\min}} \cdot C_v$$

A expressão acima resulta em um valor determinístico de capacidade, não levando em consideração as variações existentes no headway, que variam significativamente, principalmente para meios de transporte que utilizam ou interagem com a rede viária.

4.5 TIPOS DE VLT

Para estudar com precisão o VLT, é necessário notar que existem diferenças estruturais nos projetos implantados ao redor do mundo. O fato dos diversos sistemas englobarem diferentes capacidades, e até mesmo diferentes funções (transporte do dia-a-dia, turístico ou de carga), não se pode simplificar e definir o VLT como apenas um veículo de média capacidade que se locomove sobre trilhos.

Conforme visto anteriormente, existem diversos fatores que interferem na capacidade do veículo, não só as suas dimensões. Levando em consideração as características operacionais, tecnológicas, estruturais e financeiras, propõe-se uma classificação de VLTs em 4 tipos:

4.5.1 VLT Tipo 1

Este tipo de VLT engloba o bonde (conhecido como *tramway* na Europa ou *streetcar* nos Estados Unidos), o qual é utilizado para finalidade turística ou geralmente para pequenos deslocamentos com paradas constantes e baixa velocidade de operação - devido à sua imersão no meio urbano e as constantes interações com pedestres e veículos, o que o torna exclusivo da categoria ROW C. Apresenta baixa e média capacidade, sendo comparável aos ônibus (padron, articulados).

O veículo é apoiado sobre dois trilhos e possui poucos carros, variando entre um e três, sendo este um fator importante para garantir os pequenos raios de curva necessários nos centros das cidades. A propulsão é feita sempre através de energia elétrica.



FIGURA 48 - BONDE DE SANTA TERESA – RIO DE JANEIRO – FONTE: WIKIPÉDIA



FIGURA 49 – BONDE DE KAGOSHIMA – JAPÃO – FONTE: WIKIPÉDIA

4.5.2 VLT Tipo 2

Esta categoria de VLT conta com veículos do tipo LRT (*Light Rail Transit*), que podem ser separados em níveis de segregação tanto ROW B quanto ROW C, fazendo desta uma categoria que se encaixa entre baixa e média capacidade.

Geralmente, os veículos possuem de quatro a seis carros, o que torna necessário o uso de raios de curvatura maiores e dificulta a subida de rampas mais íngremes.

O modo de propulsão se dá através de energia elétrica, mais comum para veículos que trafegam no meio urbano, ou a diesel, para os que circulam regionalmente (principalmente se existir dificuldade para a implantação da infraestrutura necessária ao fornecimento de energia elétrica).

A variante de VLT que é movida a diesel não costuma ser usada em túneis de grande extensão, em razão dos gases tóxicos emitidos pelos motores. Para sua utilização nesses casos, é necessário um grande cuidado com a exaustão destes gases. Em sua maioria, o VLT a diesel roda em faixas segregadas, sendo muito parecido com sistemas de trens urbanos.

A sustentação e direcionamento dos veículos utilizam dois trilhos, porém pode existir um terceiro trilho apenas para a alimentação dos veículos, quando movidos a eletricidade. A ativação do terceiro trilho é realizada trecho a trecho, de acordo com a circulação do veículo.



FIGURA 50– VLT DE GENT – HOLANDA – FONTE: WIKIPÉDIA



FIGURA 51– VLT DE MADRI – ESPANHA – FONTE: WIKIPÉDIA



FIGURA 52– VLT DE NEW JERSEY, EUA – FONTE: WIKIPÉDIA

O primeiro sistema moderno de VLT no Brasil é movido a diesel. O “VLT do Cariri” se aproxima tanto de um sistema de trens urbanos que é popularmente chamado de “Trem do Cariri”, pois utiliza os trilhos já existentes dos sistemas férreos que haviam sido abandonados.



FIGURA 53– VLT DO CARIRI – CE – BRASIL – FONTE: PREFEITURA DE JUAZEIRO - CE

4.5.3 VLT Tipo 3

Esta categoria engloba veículos do tipo LRRT (Light Rail Rapid Transit) e ALRT (Automated or Advanced Light Rail Transit; dispensa o uso do condutor). Podem ser também denominados Metrô Leve (em francês, Metro Léger). Todos operam exclusivamente em ROW A, fazendo desta uma categoria que se encaixa entre média e alta capacidade.

A forma de propulsão mais utilizada é a energia elétrica. O motor elétrico propicia maior aceleração, o que é muito atrativo

para o uso em meio urbano, e consequentemente headways de estação menores, os quais afetam diretamente a capacidade do sistema.

Eventualmente é utilizado o motor a diesel, principalmente em situações onde as paradas estão mais distanciadas, como, ocasionalmente, em sistemas metropolitanos, de modo que o diesel se torne uma alternativa viável comparado à necessidade de instalação da estrutura de alimentação elétrica.

Como exemplo há o Skytrain de Vancouver, o qual utiliza o motor linear, tecnologia que dispensa o contato roda-trilho e permite vencer rampas íngremes:

“Em lugar do convencional (motor), com uma parte fixa e outra móvel que faz girar eixos, há um sistema de propulsão que parece um motor “aberto”: uma das partes é composta por imãs ao longo do trilho e a outra fica embaixo do vagão, que é empurrado por forças magnéticas criadas entre as duas partes. Na Alemanha, os imãs são supercondutores, o que faz o trem levitar e alcançar velocidades acima de 200 quilômetros por hora.” Prof. Dr. Toshi-ichi Tachibana – Professor da POLI

Uma característica interessante é a possibilidade de aplicação de grama na faixa exclusiva, criando assim um efeito paisagístico agradável à cidade e aumentando a área permeável. Esta medida também é aplicável ao VLT tipo 2, onde existirem faixas exclusivas.



FIGURA 54– VLT DE AUSTIN, TX, EUA – FONTE: WIKIPÉDIA



FIGURA 55– SKYTRAIN – VANCOUVER - CANADÁ – FONTE: www.bcbudget.gov.bc.ca

4.5.4 VLT Tipo 4

A categoria Tipo 4 contempla todas as variações de monotrilho. Este é bastante utilizado em cidades com população elevada e pouca área disponível, onde a desapropriação de terras pode ser inviável, em aeroportos e parques. Atua exclusivamente em ROW A, e como há uma grande gama de aplicações, sua capacidade varia muito (de baixa a alta capacidade).



FIGURA 56– MONOTRILHO DE SIDNEY - AUSTRALIA – FONTE: WIKIPÉDIA

O monotrilho é sempre elevado em relação ao solo, tornando os custos de infraestrutura maiores que dos outros tipos de VLT. Entretanto, podem ser compensados pela redução dos gastos envolvidos com desapropriações.

Por outro lado, há inevitavelmente um forte impacto no entorno, o que pode ser benéfico ou prejudicial à imagem do local.

A maioria dos sistemas de monotrilho utiliza apenas um grande trilho de concreto que é envolto pelo veículo. As rodas são de borracha maciça, as quais fazem deste tipo de monotrilho uma opção silenciosa. O sistema também pode apresentar contatos adicionais para as rodas ao redor do trilho de concreto, diminuindo a possibilidade de abrasão do concreto.



FIGURA 57– MONOTRILHO DE TACHIKAWA – TÓQUIO – JAPÃO – FONTE: WIKIPÉDIA

Outra opção de sustentação dos veículos é pela parte superior, como se vê nas figuras a seguir. Há duas possibilidades - por rodas ou por trilhos - neste último caso o equilíbrio é dado pela utilização de um giroscópio.



FIGURA 58 – MONOTRILHO SUSPENSO – CHIBA – JAPÃO

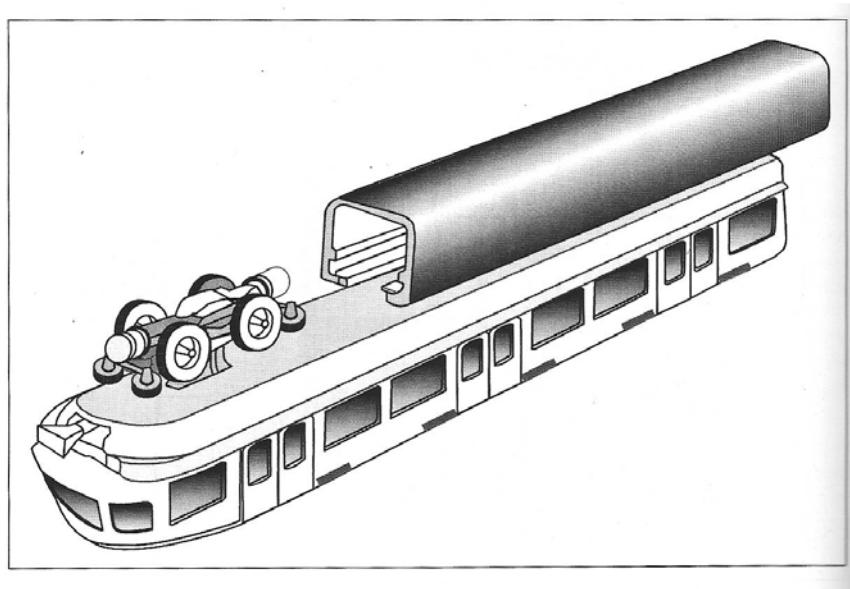


FIGURA 59– REPRESENTAÇÃO DE UM MONOTRILHO SUSPENSO – FONTE: *Urban Transportation Systems – SIGURD GRAVA*



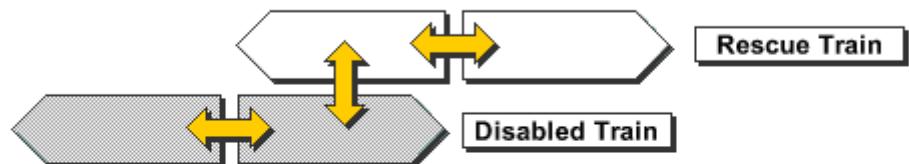
FIGURA 60– MONOTRILHO DE WUPPERTAL – ALEMANHA – FONTE: WIKIPÉDIA

Um dos problemas apresentados pelos críticos dos monotrilhos (VLTs Tipo 4) é a dificuldade de se evacuar o trem em casos de emergência, mas existem soluções para este problema como plataformas laterais em pontos estratégicos (podendo ser simples plataformas metálicas) como se pode ver no monotrilho de Las Vegas na FIGURA 61, ou o esquema proposto pela fabricante Hitachi utilizando trens de resgate como ilustrado na FIGURA 62.



FIGURA 61–PLATAFORMA LATERAL - MONOTRILHO DE LAS VEGAS – FONTE: WIKIPÉDIA

Train to Train Evacuation
 ▼ To the train on opposite track



▼ To the train on the same travel dire

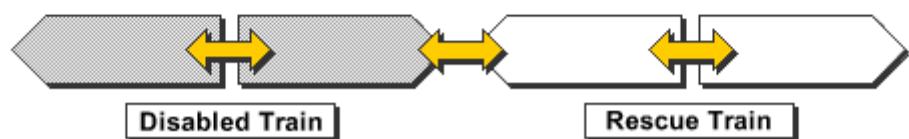


FIGURA 62–MÉTODO DE EVACUAÇÃO COM VEÍCULOS DE RESGATE – FONTE: HITACHI

5 INFRA-ESTRUTURA

5.1 MALHA FERROVIÁRIA

As vias de trilhos são estruturas necessárias para qualquer VLT. Suas funções são suportar e guiar os veículos que por ali circularão. De uma forma geral, pode-se afirmar que é o componente do sistema de VLT mais custoso, sendo alguns de seus subcomponentes tradicionais a base, subbase, lastro, dormentes, fixadores e o trilho propriamente dito. Intuitivamente, esses elementos básicos seriam os mesmos que hoje são usados em veículos de natureza semelhante, como é o caso dos trens. Os **lastros**, na “tradicional” concepção de via, são compostos por brita, tem função de suportar e fixar os dormentes, além de dissipar as cargas. É de fácil concepção construtiva, fácil de alinhar e nivelar. Outro elemento importante é o **dormente**. É nele onde são apoiados e fixados os trilhos. Existem três tipos de dormentes: de madeira, de concreto e de aço. O primeiro tipo ainda são os mais comumente utilizados. São relativamente leves, fáceis de serem transportados e de substituídos. São fixos ao lastro por atrito. Os dormentes de concreto são mais pesados e por isso mais difíceis de serem transportados e substituídos. Entretanto tem melhor inércia que os demais, o que implica em maior estabilidade. Também são mais duráveis. Por último

apresentamos os dormentes de aço, que são mais leves que os demais, mas são mais difíceis de serem mantido em posição devido a sua inércia menor. Há também o inconveniente quanto a ruídos. Propagam mais ruídos e vibrações que os demais tipos de dormentes.¹⁹

Há casos em que o lastro pode ser dispensado e o trilho diretamente fixado no pavimento ou na obra de arte, como o caso do metrô, do monorail ou do VLT. O não uso de lastro pode gerar grandes benefícios como: redução de cargas que uma obra de arte como, por exemplo, uma ponte teria que suportar. Redução da altura que o lastro produz ao ser lançado, sendo que essa redução gera economias significativas na escavação de túneis. Além de maior segurança, promovida pelo engaste por meio dispositivos de fixação. Por estarem fixos dessa forma exigem menor manutenção que numa via com lastro. Numa via deste tipo existem preocupações com o acomodamento do agregado, as movimentações do conjunto trilho dormentes.

¹⁹ VUCHIC, Vukan R. **Urban Transit Systems and Technology**. p. 355. John Wiley & Sons, INC.

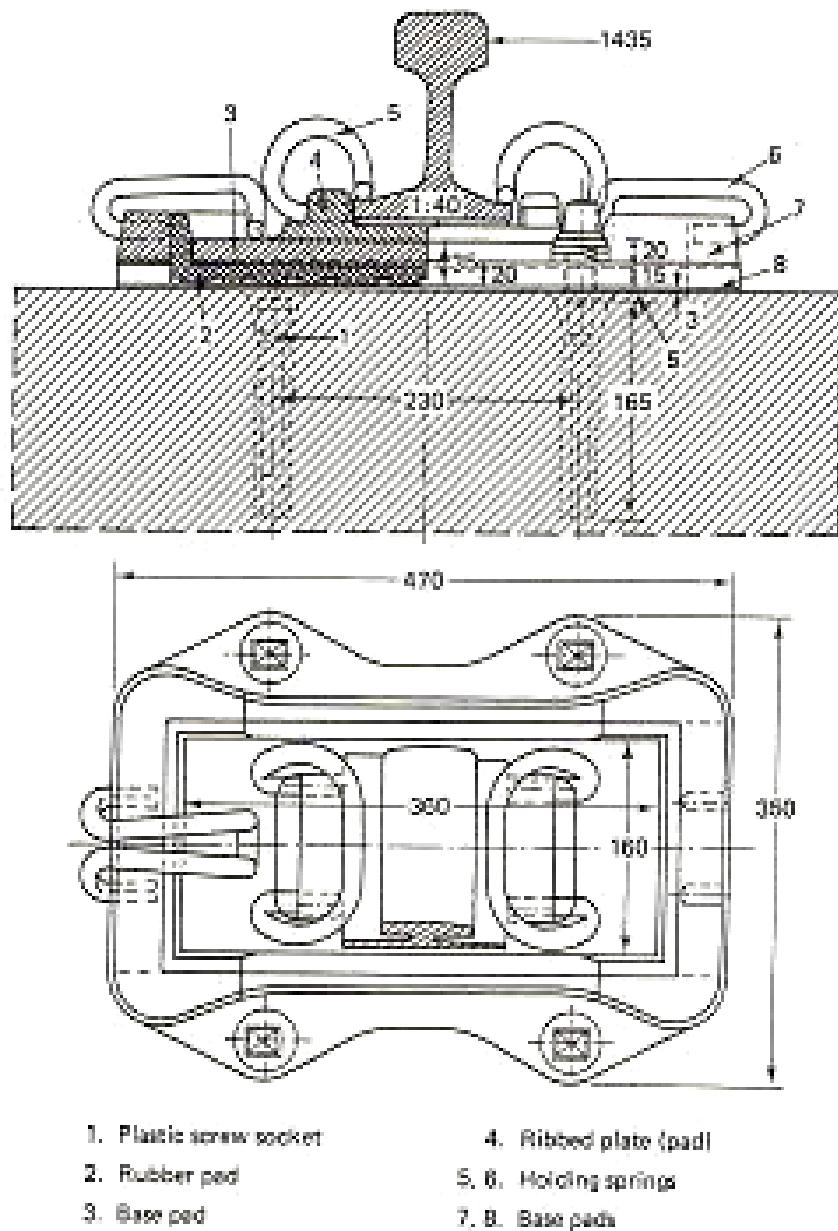


FIGURA 63– SEÇÃO TRANSVERSAL TRADICIONAL DE TRILHO – FONTE: VUCHIC

Mesmo sendo mais caros e exigentes do ponto de vista técnico e construtivo, esses trilhos fixados diretamente sobre o pavimento tem a vantagem de sofrerem menos manutenção que os convencionais assentados no lastro. Esse tipo de concepção de via é muito interessante quando se trata do VLT, já que é um veículo que deverá funcionar dentro de áreas urbanas, e que

muitas vezes nos depararemos com situações em VLT e automóveis compartilharão um mesmo espaço (VLT não segregado). A FIGURA 63 mostra perfis de vias que já foram aplicados em projetos de VLT. Para conseguir um maior conforto durante a viagem, é comum a aplicação de junções ou assentamentos constituídos de material flexível, no caso o asfalto. Ele tem a propriedade de absorver vibrações e ruídos. Há ainda exemplos em que pode ser utilizado grama na própria pista onde o veículo irá percorrer. Muitas cidades da França e Alemanha tiveram êxito no emprego do gramado, sendo sua principal função evitar que outros veículos eventualmente invadam a faixa exclusiva do VLT, mesmo sem a presença de uma barreira física.

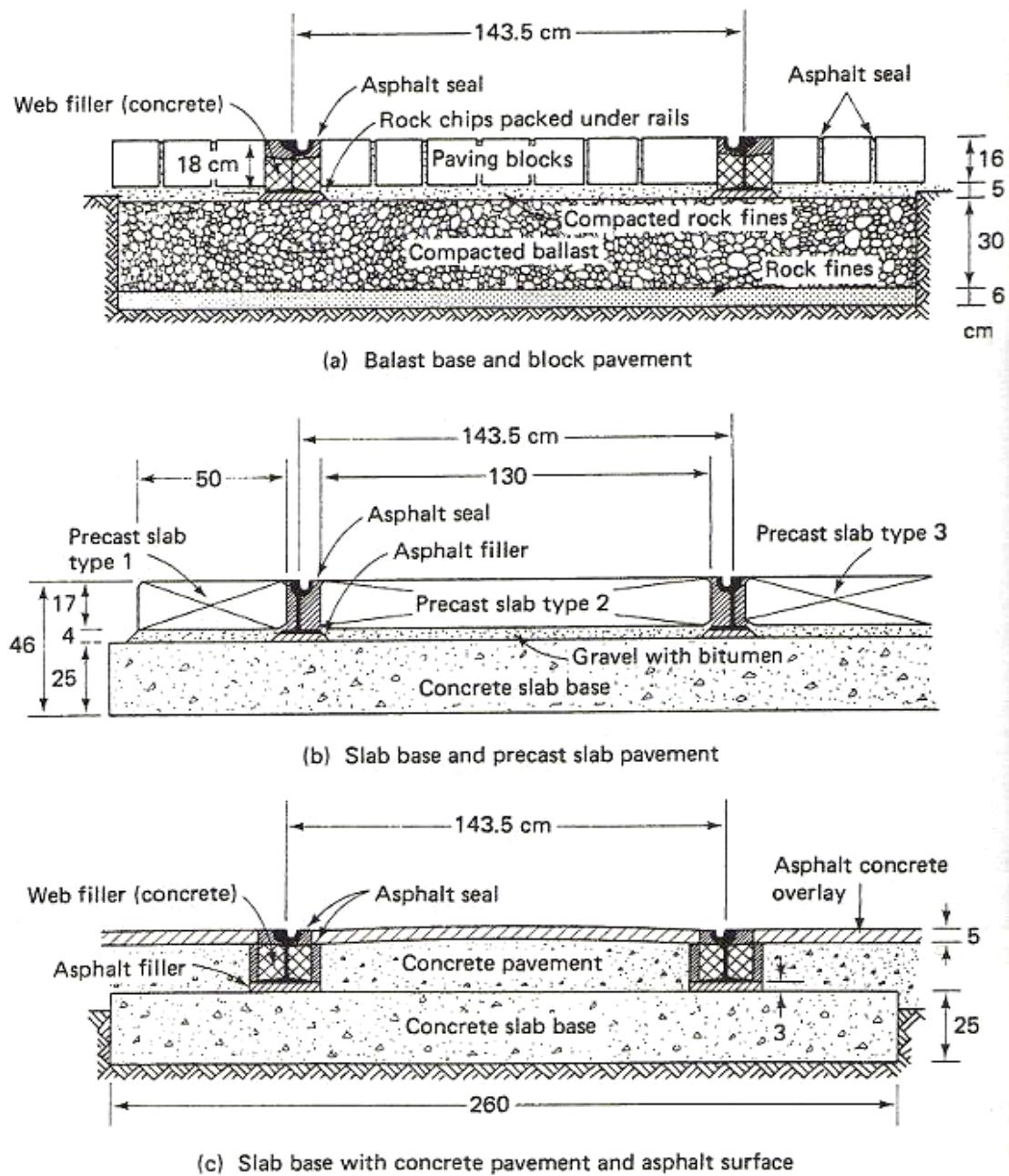


FIGURA 64 – PERFIS DE VIAS – FONTE: VUCHIC

Na questão de bitolas é mais comum o uso de bitola de 1.435m. Entretanto, para uso urbano, a bitola “métrica” é a mais adequada já que a largura da composição não deveria exceder a

largura das faixas de pista ocupadas por veículos como carros e ônibus.²⁰

Em alguns casos poderá haver interferência de redes de serviço, como tubulações e fiações, na construção dos trilhos, e nesses casos, essas redes deverão ser realocadas. Caso os trilhos passem logo acima de estruturas enterradas, deve-se realizar um estudo de carregamento dinâmico e estático referente à passagem do veículo por cima dessas estruturas, averiguando-se se essas podem suportar os esforços a elas aplicados. Quando há segregação total do sistema, devem-se, ainda, planejar acessos para manutenção e correção de problemas.

Em alguns casos é possível fazer apenas uma faixa de trilhos para operação nos dois sentidos. Nesse caso, é necessária a construção de pontos de passagem (locais com duas faixas de trilho) ao longo do trajeto. Apesar da redução de custo obtida, a capacidade do sistema é reduzida e são necessários equipamentos mais precisos para o controle da operação, garantindo a segurança da mesma. De uma maneira geral, a construção de duas faixas contínuas é a mais adotada.

²⁰ VUCHIC, Vukan R.. **Urban Transit Systems and Technology**. p 359. John Wiley & Sons, INC.

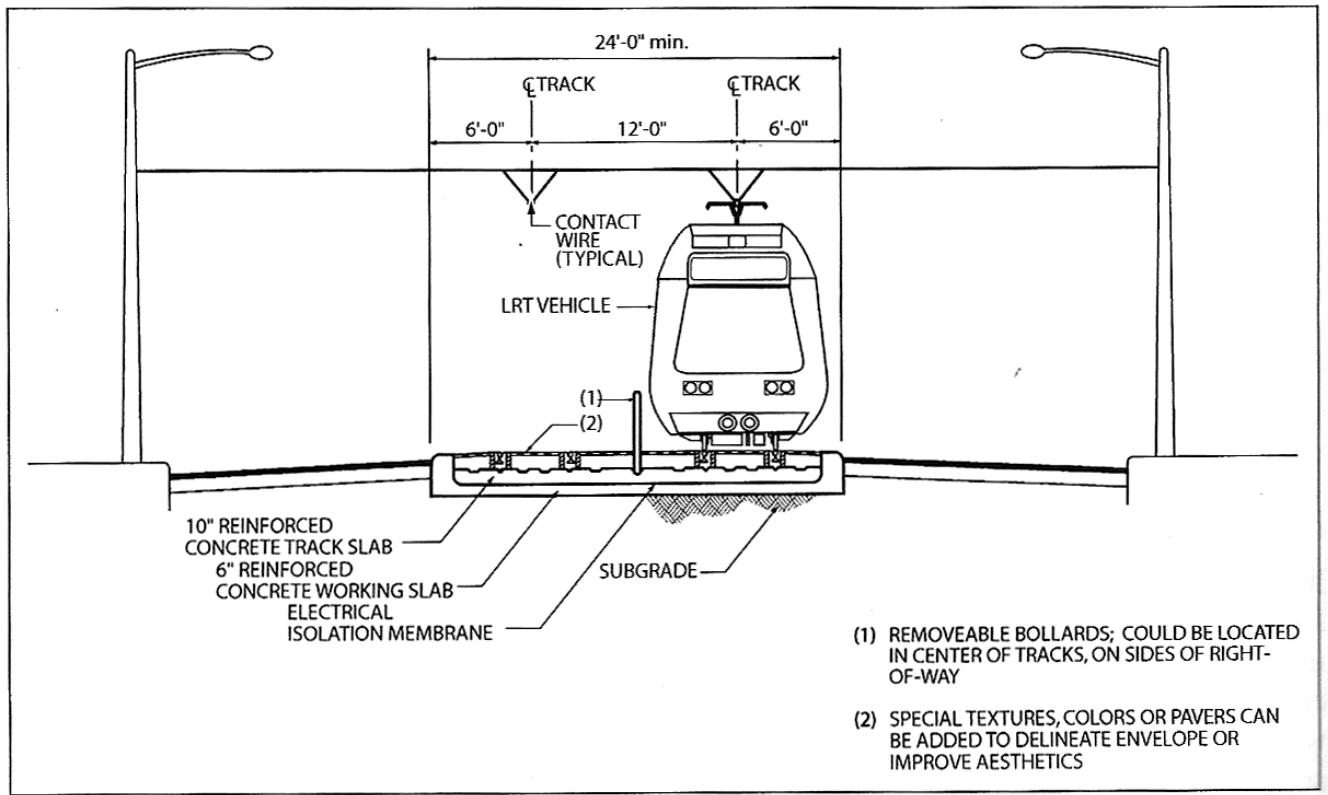


FIGURA 65– SEÇÃO TÍPICA DE UM VLT - *Fonte: SIGURD GRAVA*

5.2 PONTOS TERMINAIS

Os pontos terminais são estruturas que permitem o retorno do veículo para servir o outro sentido da linha. São estruturas simples, compostas basicamente de trilhos e aparelhos de mudança de via. Existem dois modelos clássicos de pontos terminais:

- Rotatória circular: O veículo retorna ao percorrer uma trajetória circular que conecta diretamente as duas faixas de

trilhos de sentidos opostos. Nesse caso, é consumido um grande espaço para a implantação desse trilho, porém, permite que o veículo tenha a cabine do condutor em apenas uma das pontas.

- **Uso de aparelhos de mudança de via (AMV):** Com o uso dos AMV, o retorno do veículo pode ser feito sobre um pequeno trecho de trilho terminal, onde ocorre a parada total, mudança de sentido e em seqüência a mudança de via. O espaço requerido por esse tipo de operação é muito pequeno, mas é obrigatório que se tenha cabines do condutor nas duas pontas do veículo.



FIGURA 66– ROTATÓRIA – BELO HORIZONTE - FONTE: WIKIPEDIA

5.3 ESTAÇÕES E PARADAS

As estações e paradas têm grande influência na capacidade do sistema de VLT. Nos casos em que se deseja atender grande demanda, é recomendável que sejam construídas estações fechadas com a cobrança feita na estação e não a bordo. Caso contrário, podem ser adotar paradas, de preferência com plataformas de altura igual ao do piso do veículo, para facilitar o embarque.

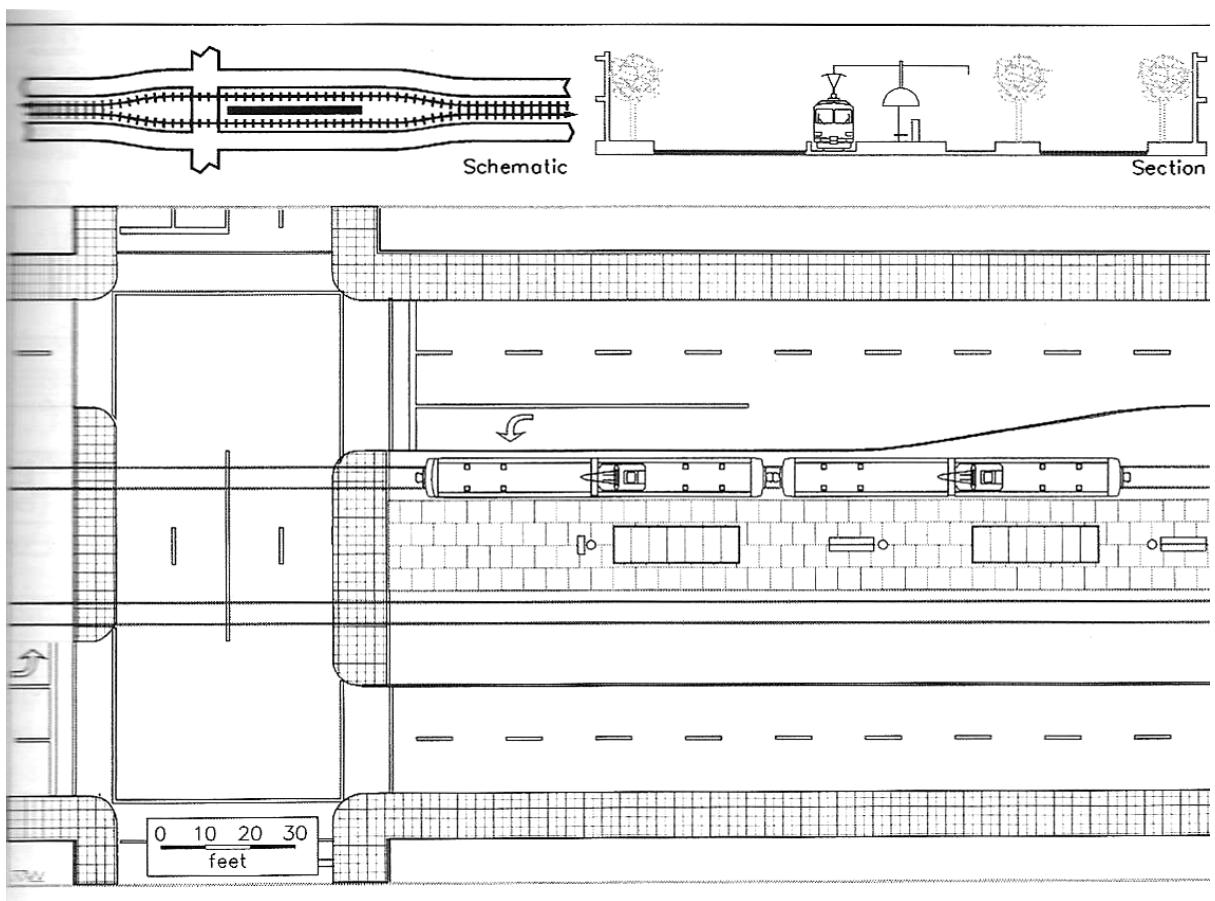


FIGURA 67– PLANTA DE PARADA NO CANTEIRO CENTRAL – FONTE: SIGURD GRAVA

As paradas e estações são projetadas de acordo com os veículos que trafegarão pela linha, sendo que suas características dimensionais devem ser adequadas ao modelo do veículo. O comprimento deve ser tal que permita o acesso a todas entradas e saídas do veículo e caso haja previsão de operação com mais carros acoplados no futuro, deverá se reservar espaço para a ampliação quando essa se demonstrar necessária. A altura das plataformas potencializa as taxas de embarque e desembarque quando são iguais à altura do piso dos veículos, eliminando a necessidade de degraus nas entradas desses e, também, de aparatos especiais para acesso de deficientes físicos. O acesso em nível permite um tempo de embarque/desembarque de 1 a 2 segundos por passageiro, enquanto que quando há degraus, esse valor sobe para 4 a 5 segundos. Nos casos em que o piso do veículo não é rebaixado, a construção dessa plataforma elevada na calçada pode criar um obstáculo aos pedestres. Quando a linha é totalmente segregada, as estações são muito semelhantes às dos trens urbanos ou às do metro (quando abaixo do solo).²¹

Outro fator que determina as características da estação é a forma como é feita a bilhetagem (tema abordado no capítulo “Capacidade”). Caso a bilhetagem seja feita na estação, deve-se ter total controle de entrada ou saída, ao contrário do que ocorre se a cobrança é feita dentro do veículo, o que por outro lado

²¹ GRAVA, Sigurd. *Urban Transportation Systems: choices for communities*. New York. McGraw-Hill. p. 483

implica em diversas outras desvantagens a serem abordadas no capítulo de Capacidade.

Em certas estações, a construção de estacionamentos para veículos seria de grande interesse, principalmente para estações mais afastadas dos centros urbanos. A implantação desses estacionamentos incentiva o usuário que deseja utilizar o serviço, mas mora a uma distância razoável da estação. É fato que não se pode depender apenas do acesso a pé às estações se desejamos criar um sistema de transporte público atraente à população. O acesso às estações em áreas centrais ou próximas aos centros pode ser realizado com o rearranjo das linhas de ônibus existentes na região.

5.4 PÁTIOS

Pátios são os locais destinados para estacionamento dos veículos quando não estão em uso. Pode-se descrevê-lo como uma grande área coberta por trilhos e de preferência protegida com muros ou cercas. Nesse local diversas atividades podem ser executadas, como limpeza, manutenção e até o reparo de veículos (o que exigiria uma estrutura mais complexa e equipamentos especializados). Caso o reparo não seja feito nos pátios, haverá uma necessidade de se transportar os veículos para as oficinas que farão o serviço, o que requer estruturas que permitam colocar

o trem sobre um veículo rodoviário ou uma ligação com outra malha ferroviária ligada a uma oficina, sendo essa ultima opção difícil de ser utilizada no Brasil pela escassa malha ferroviária atualmente existente no país.

5.5 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Quando o VLT é movido à energia elétrica requer uma rede de alimentação que pode ser feita por um terceiro trilho ou por fiação elevada, sendo o ultimo o mais comum atualmente.

Apesar de esteticamente menos aceita, a fiação elevada é mais segura ao usuário, uma vez que está fora do alcance do mesmo, enquanto que o terceiro trilho necessitaria de um sistema mais complexo de proteção quando há travessia em nível de pedestres sobre os trilhos.

Além da rede de alimentação propriamente dita, são necessários, também, transformadores que irão baixar a voltagem da rede de alta tensão para a voltagem adequada requerida pelos veículos. Esses elementos devem estar distribuídos ao longo da via. A distância média entre eles é em torno de 1 km ²².

²² GRAVA, Sigurd. **Urban Transportation Systems: choices for communities.** New York. McGraw-Hill. p. 485

5.6 VIA

Em relação aos trilhos, é importante salientar que existem aqueles que são mais adequados para a modalidade VLT de transporte. A capacidade de suportar cargas é menor se comparado aos trilhos de trens de carga. Alguns valores encontrados sugerem algo de 5500 kg/roda e 19000 kg/roda para VLT e trens de carga respectivamente²³. Há a preocupação quanto ao desgaste dos trilhos devido à fadiga e ao atrito. Em curvas os esforços de contato chegam a submeter os trilhos a uma magnitude de duas vezes, o que leva projetistas a escolherem tanto perfis de trilho e rodas que trabalhem de forma harmoniosa entre si. Tal providência ajuda a diminuir o estresse no contato trilho-roda tanto nos cantos da roda (a parte que se encaixa na bitola) quanto na base da roda.

A seguir temos ilustração de alguns tipos de trilhos e rodas usados em VLTs em cidades americanas:

²³ TRRP Report p.57

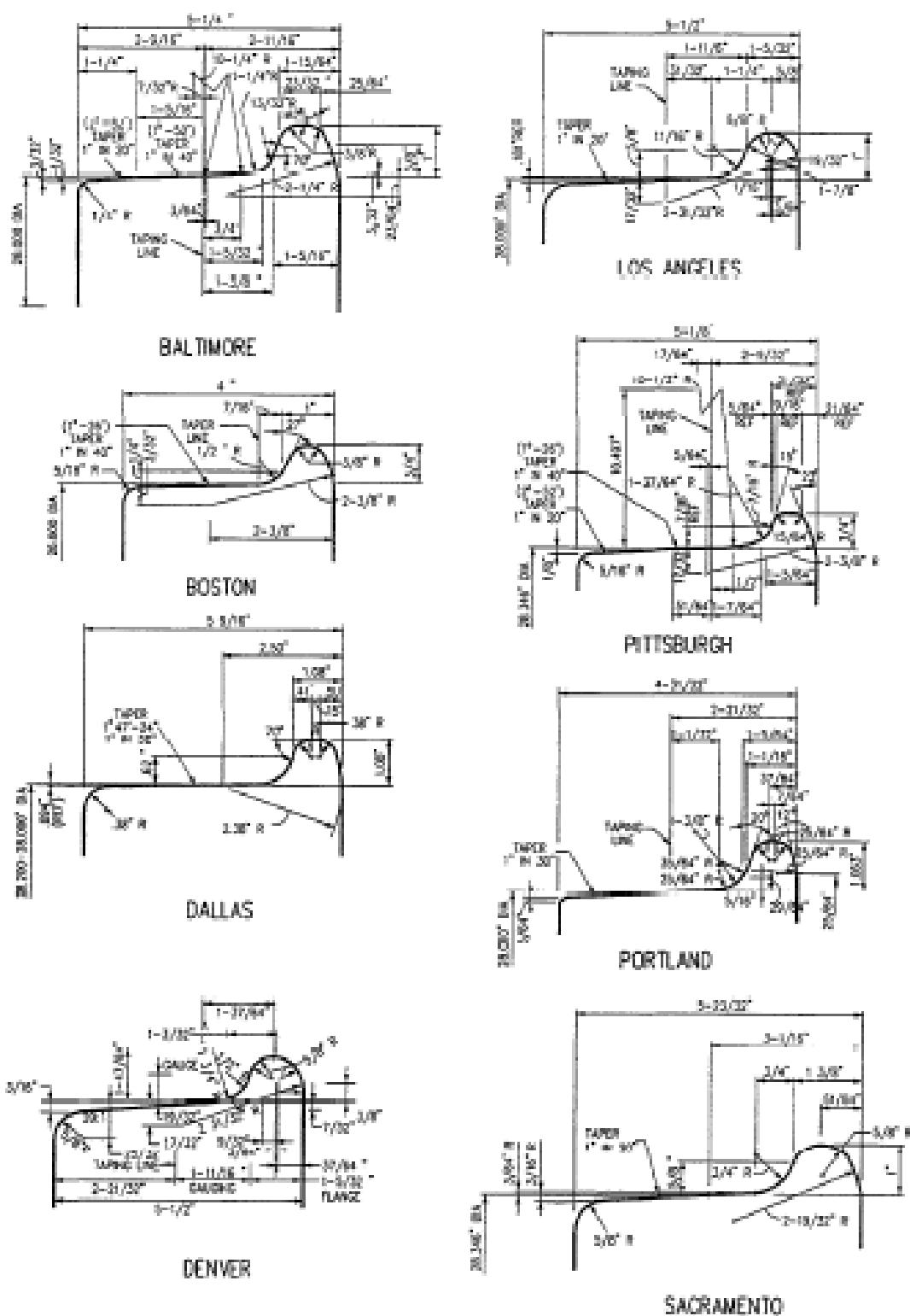


Figure 2.6.1 Wheel Profiles (U.S.)

FIGURA 68– MODELOS DE RODAS UTILIZADAS NOS EUA – FONTE: TCRP REPORT 57

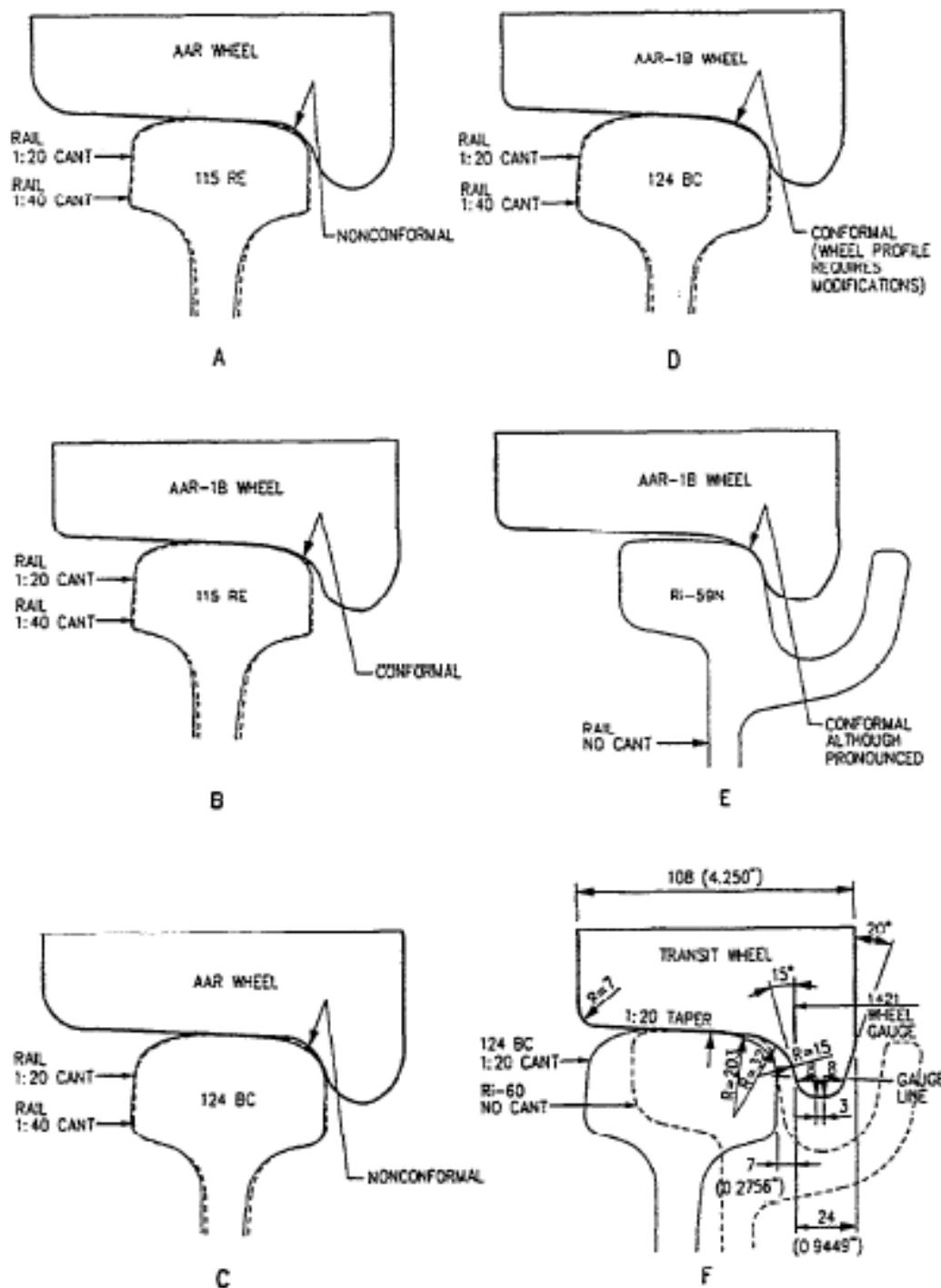


FIGURA 69– MODELOS DE RODAS UTILIZADAS NOS EUA – FONTE: TCRP REPORT 57

A FIGURA 69– MODELOS DE RODAS UTILIZADAS NOS EUA mostra a conformidade e não conformidade entre trilhos e rodas. Estão presentes os perfis de roda AAR e AAR-1B. O primeiro tipo é considerado como mais ultrapassado, pois ela toca o trilho em dois pontos gerando menores áreas de contato. Por serem menores, tais áreas sofrem mais com a fadiga se desgastando mais. Em contrapartida, um contato apenas proporciona uma área maior de contato, proporcionando menor desgaste à fadiga.

Estaremos expondo dois tipos básicos de trilhos:

- “Tee Rail”, que estaremos traduzindo como Trilho “T”;
- “Girder Groove Rail”;

5.6.1 Tee Rail

O Tee-Rail que tem a seção do perfil moldada em forma de “T” é aquele que muito embora tenha sido desenvolvido para vias sobre base de lastro, também poderá ser encontrado em meios como o metrô, alguns vlt's também. Mesmo em meio urbano é possível usá-lo. Mas deve-se garantir uma fenda em que passe as rodas do VLT.

5.6.2 Girder Groove Rail e Girder Guard Rail

O Girder Groove Rail e Girder Guard Rail são de concepção diferenciada em relação ao Tee Rail, pois eles proporcionam uma via sobre trilhos em meio urbano de maneira mais simples, construtivamente. O formato como é fabricado permite que seja envolto por concreto e que mantenha-se uma fenda por onde deverá guiar as rodas do veículo. A diferença básica entre o Girder Groove Rail e o Girder Guard Rail, é que o último está desenhado e confeccionado para trechos curvos e o primeiro para trechos tangentes. Em seguida mostraremos as etapas de construção da via para Vlt destinada a meios urbanos:

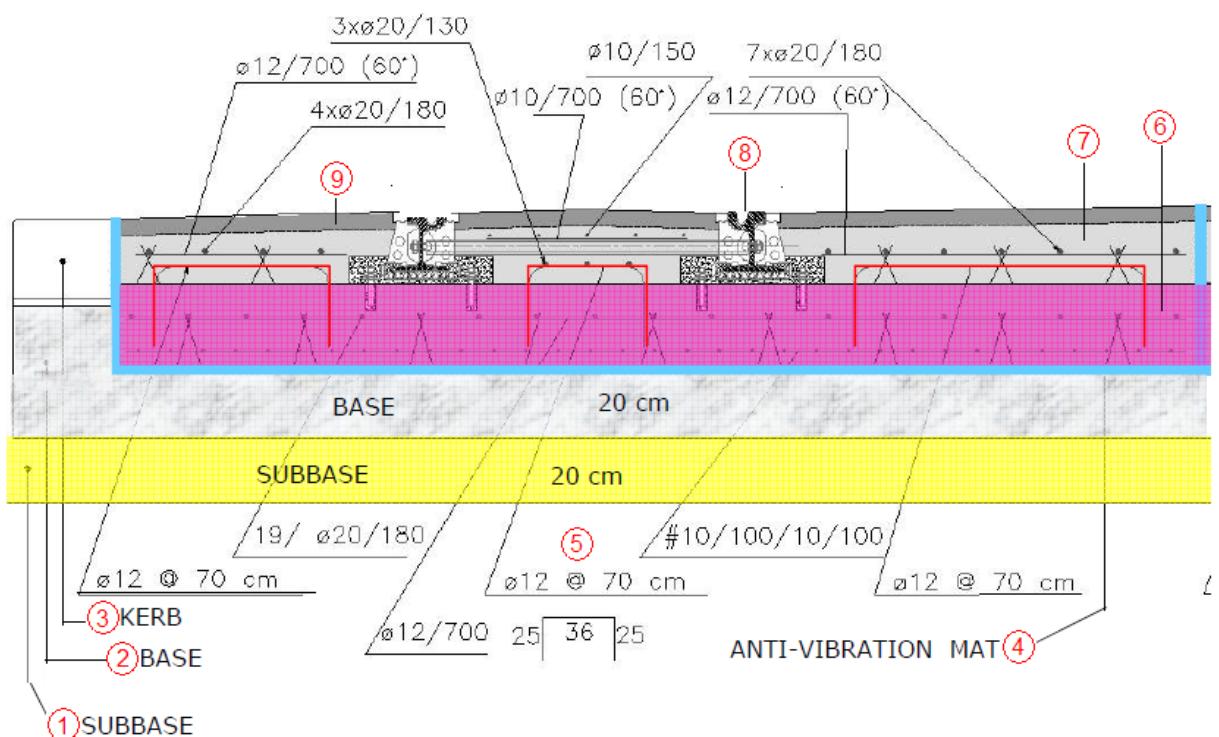


FIGURA 70 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA VIA, APRESENTA OS ELEMENTOS BÁSICOS DE UMA VIA DESTINADA A MEIO URBANO: 1-SUB-BASE, 2-BASE, 3-MEIO-FIO, 4-MANTA PARA AJUDAR

A CONTER VIBRAÇÕES, 5-ARMADURAS, 6-CONCRETO (APOIA-SE OS TRILHOS, SOFRE MAIS), 7-CONCRETO QUE ENVOLVE OS TRILHOS, 8-GIRDER GROOVE RAIL E 9-ACABAMENTO



FIGURA 71 - APÓS PREPARO DE BASE E SUB-BASE É FEITO O TRATAMENTO CONTRA VIBRAÇÕES

Em vias que usam lastro, os ruídos produzidos pelas vibrações associadas ao tráfego são menores que em vias fixas. O lastro por não ser algo contínuo, consegue absorver uma parcela das vibrações, portanto parte do ruído é dissipada. Já nas fixas, temos elementos rígidos fixos, os quais trabalham as deformações e movimentações solidariamente, são como cordas de violão mais tensionadas e, portanto, geram maior freqüência.

Por estarmos tratando de zonas urbanas, o tratamento do pavimento para vibrações é fundamental. Os materiais usados para tal fim são desenvolvidos para absorver a energia de vibração provenientes do tráfego do aparelho. Tais vibrações produzem indesejáveis ruídos, prejudiciais ao conforto. Por exemplo, seria fundamental respeitar este quesito caso

estivéssemos passando com uma via próximo a hospitais e escolas. Ao se negligenciar o tratamento acústico é possível haver prejuízos ao mercado imobiliário.

Tipos de material que podem ser usados são aqueles que possuem boa resiliência, e preparados para ter uma vida útil economicamente aceitável quanto a variações de temperatura.

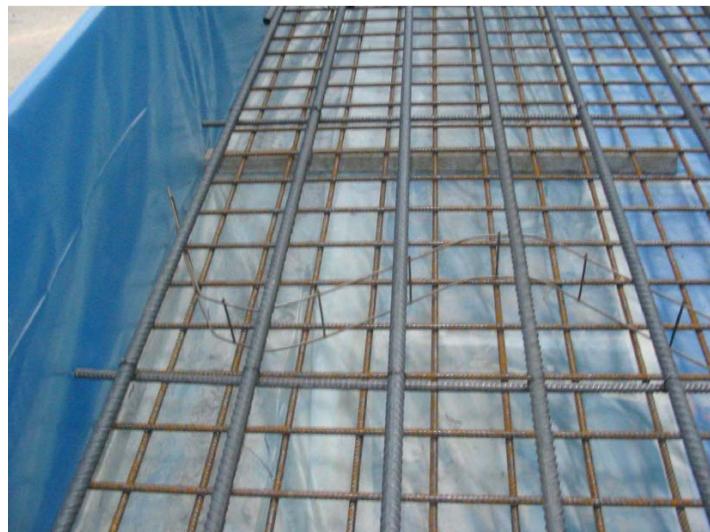


FIGURA 72 - ARMADURAS JÁ ARRANJADAS – FONTE: FEBELCEM



FIGURA 73 - CONCRETAGEM DA LAJE ONDE SERÃO APOIADOS OS TRILHOS – FONTE: FEBELCEM



FIGURA 74 - CONCRETAGEM DA LAJE ONDE SERÃO APOIADOS OS TRILHOS- FONTE: FEBELCEM



FIGURA 75 – ARMADURAS PARA ADERÊNCIA DA SEGUNDA CAMADA DE CONCRETO- FONTE: FEBELCEM



FIGURA 76 - CONCRETAGEM DA SEGUNDA CAMADA DE CONCRETO – FONTE: FEBELCEM



FIGURA 77 – CURA DO CONCRETO – FONTE: FEBELCEM



FIGURA 78 - PAVIMENTO SENDO POSTO EM USO – FONTE: FEBELCEM

6 MATERIAL RODANTE

Existem diversos modelos prontos de VLTs produzidos por diversas empresas, porém o mais comum é que para cada novo projeto seja concebido um novo modelo que atenda às características específicas requeridas pela aquela operação. As características básicas que determinam o modelo são:

- Dimensões: Largura, comprimento e bitola;
- Piso rebaixado ou não;



FIGURA 79 - VLT COM PISO REBAIXADO - NAGASAKI - JAPÃO – FONTE: WIKIPEDIA



FIGURA 80 - VLT SEM PISO REBAIXADO - ARAKAWA - JAPÃO - FONTE: WIKIPEDIA

- Disposição e número de assentos;

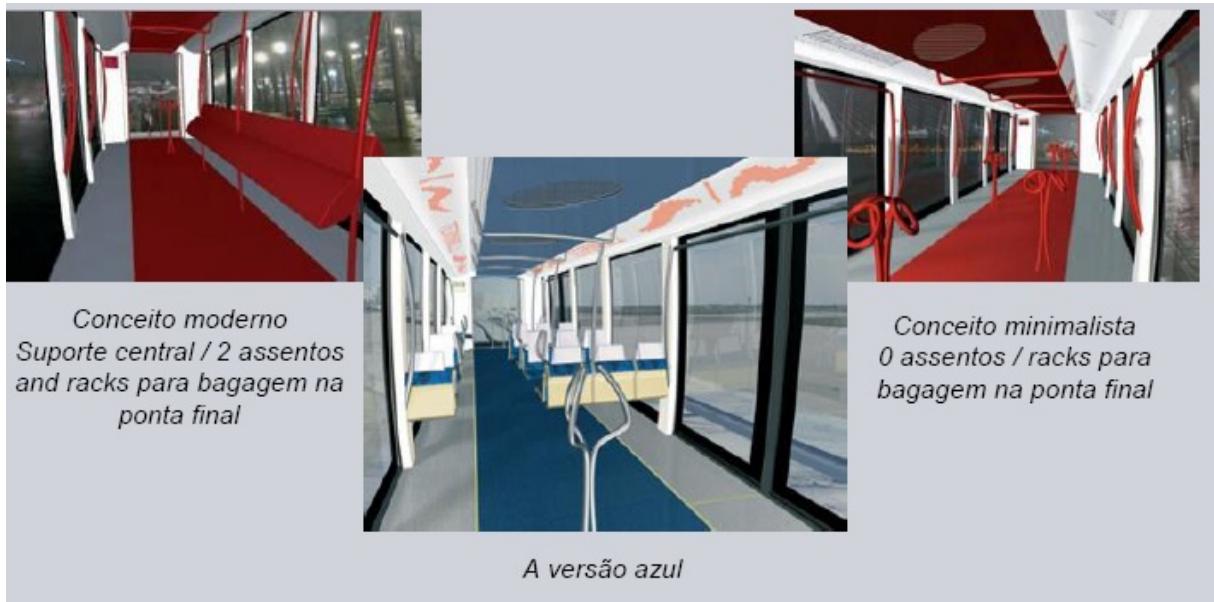


Figura 81 - OPÇÕES DE DISPOSIÇÃO INTERNA - FONTE: SIEMENS

- Modo de acoplamento de carros: carro único, articulado, duplo articulado;
- Características técnicas: fonte de alimentação, potência e sistemas de controle.



FIGURA 82 - FONTE DE ALIMENTAÇÃO AÉREA – FONTE: WIKIPEDIA

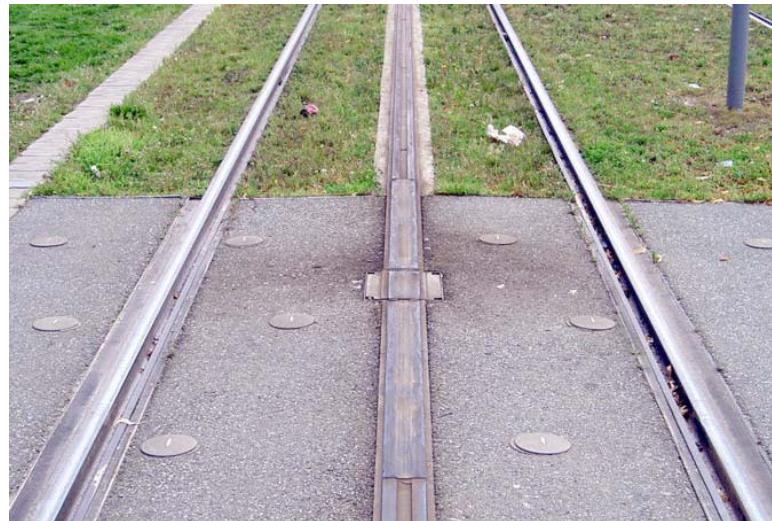


FIGURA 83 - ALIMENTAÇÃO POR TERCEIRO TRILHO - FONTE: WIKIPEDIA

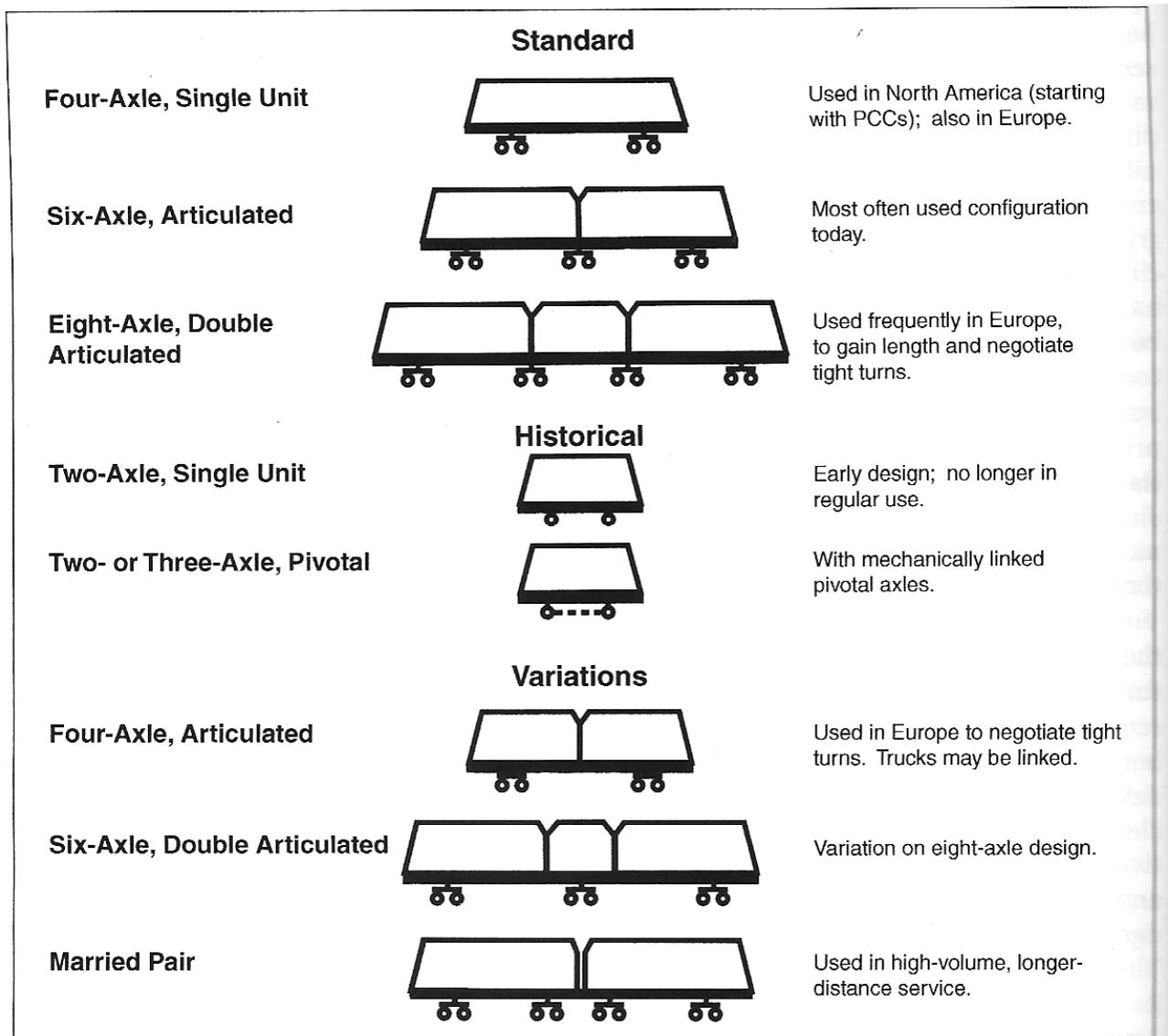


FIGURA 84- DISPOSIÇÃO DE EIXOS E TIPOS DE ACOPLAGEMENTOS – FONTE: SIGURD GRAVA

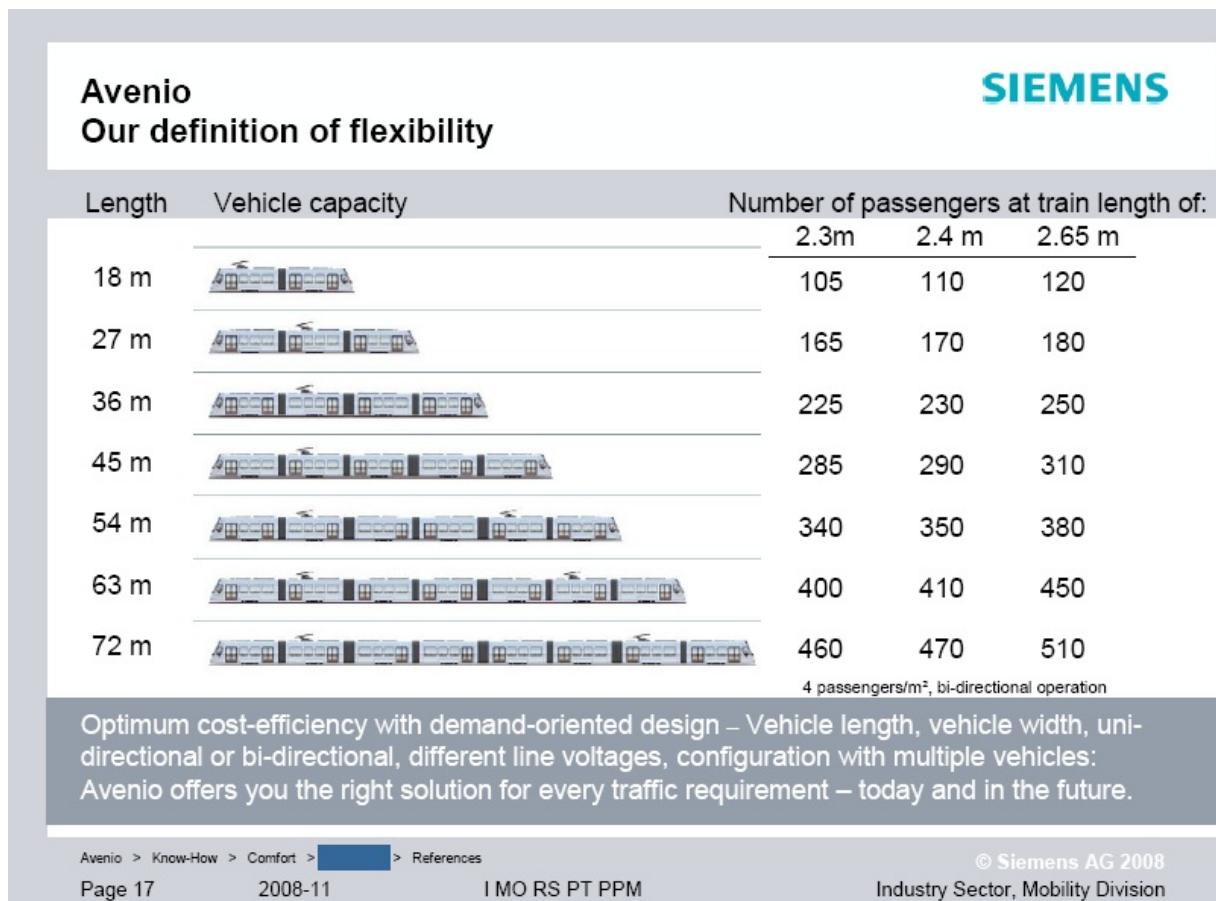


FIGURA 85 - EXEMPLOS DE DIFERENTES VEÍCULOS DE UM MESMO FABRICANTE – FONTE: SIEMENS

7 PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DE MODOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

O planejamento e seleção dos modos de transporte público são iniciados por uma definição de algumas características funcionais inerentes ao sistema como um todo, as quais consistem basicamente em:

- Nível de Serviço requerido pelos passageiros;
- Custo-benefício;
- O papel a ser desempenhado pelo sistema de transporte no funcionamento e desenvolvimento da cidade

Uma vez que esses elementos forem definidos, um ou diversos modos de transporte público podem ser selecionados, mas para tal seleção é preciso que suas características individuais sejam analisadas.

A avaliação das diversas alternativas pode ser realizada utilizando-se diferentes metodologias. A mais utilizada contempla alguns parâmetros, que serão descritos em seguida:

- Econômico-financeiros: investimentos e custos de operação;
- Quantitativos: número de passageiros atendidos, previsão da redução no total de automóveis utilizados devido à implantação do sistema de transporte;
- Qualitativos: qualidade do serviço, aumento da mobilidade para determinados grupos de usuários, impacto no uso do solo das regiões atendidas pelo novo sistema

O processo de planejamento de transportes pode ser orientado pelos passos mostrados no fluxograma abaixo:

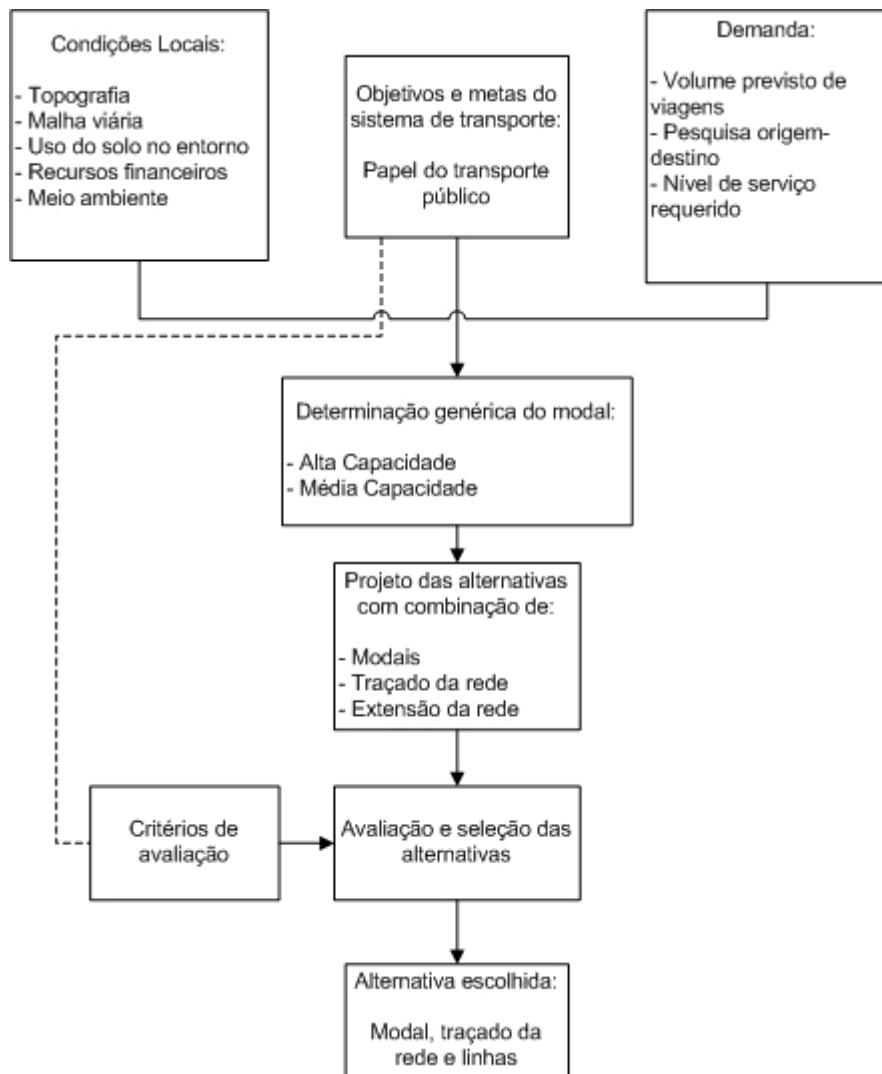


FIGURA 86 - FLUXOGRAMA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Estudos de relação custo-benefício e de taxa de retorno do investimento são comumente realizados quando se possui diversas alternativas, pois fornecem uma primeira noção dos investimentos e sua eficácia. Os parâmetros econômico-financeiros costumam ser preponderantes sobre os demais, uma vez que fornecem uma valoração mais simples e de fácil entendimento para cada uma das alternativas, porém nem sempre se constitui como a saída mais adequada. A oferta de transporte público em áreas urbanas exerce impactos grandes e permanentes que são de difícil mensuração econômica, principalmente quando se considera toda a vida útil do sistema.

Considerando-se as dificuldades encontradas na avaliação econômica dos benefícios e custos, tem-se que os impactos e externalidades inerentes às diferentes alternativas de projeto são mais complexos de serem estimados do que os custos diretos. Tal fato acaba resultando em um parecer menos favorável às alternativas de maior capacidade e maior durabilidade, pois é comum que soluções de baixo-custo sejam divulgadas como superiores às soluções de alto-custo, porém sem mencionar as diferenças entre seus desempenhos e os impactos positivos permanentes na cidade.

Sendo assim, os critérios econômicos devem ser utilizados na escolha entre alternativas com função e desempenho semelhantes, que se diferenciem basicamente em quesitos tecnológicos.

Principalmente no planejamento de longo prazo, quando os elementos básicos do sistema - como linhas e redes básicas - estão definidos, o processo de planejamento segue para o estudo preliminar, o qual consiste em revisar e detalhar as demandas previstas e os componentes do sistema, de modo a se ter condições de alimentar o fluxograma de decisão apresentado abaixo:

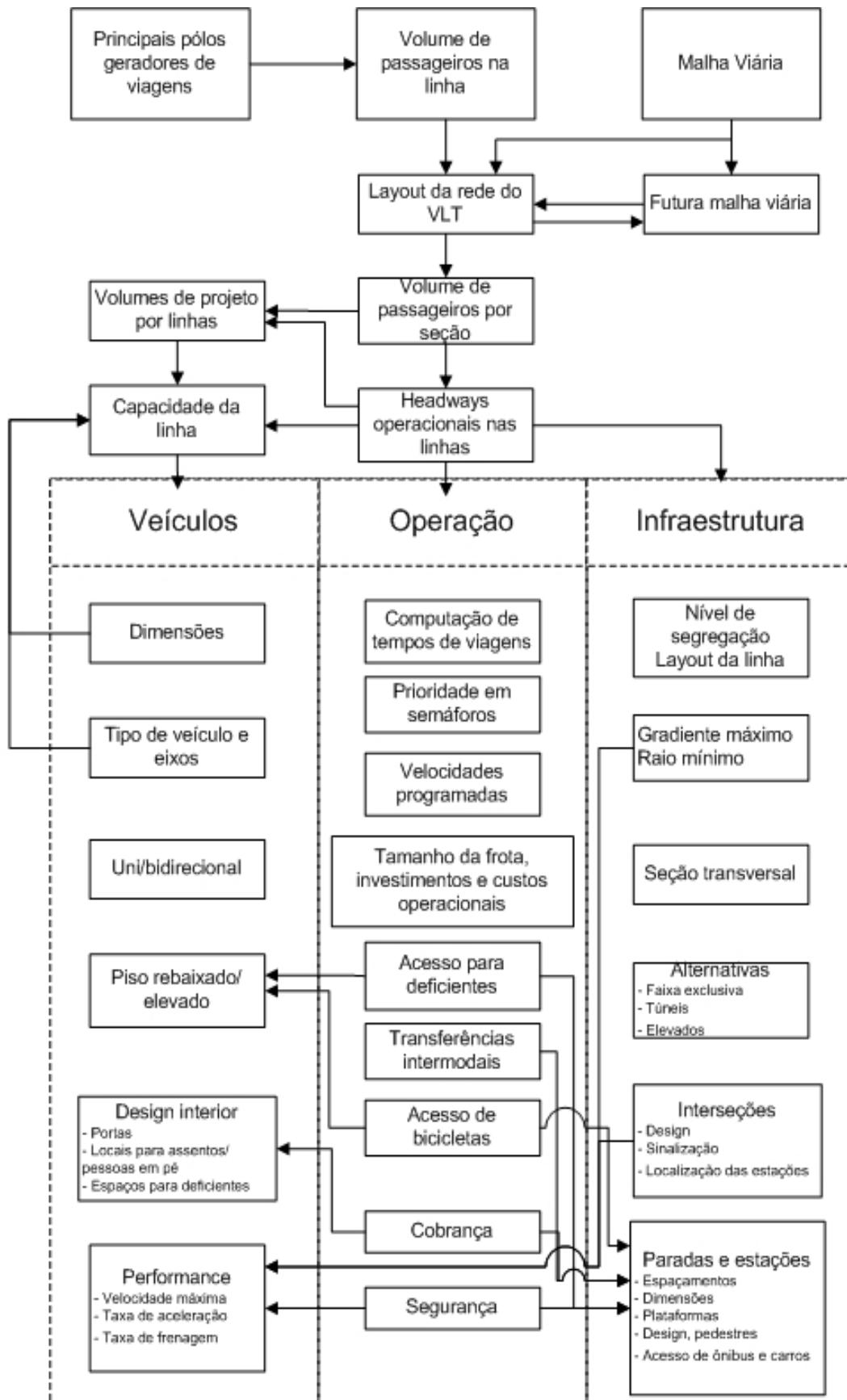


FIGURA 87 - FLUXOGRAMA DE ESCOLHA DE ALTERNATIVAS

8 CUSTOS ASSOCIADOS AO SISTEMA VLT

Os custos envolvidos na implantação da infraestrutura do VLT dependem muito do tipo e localização do projeto. Há uma série de condicionantes que conduzem a diferentes custos. Vale lembrar também que os custos são fundamentais ao se partir para uma alternativa de transporte.

De um modo geral os custos podem ser influenciados por:

- Importação de tecnologia, ou desenvolvimento da mesma;
- Modificações no meio que a via será implantada;
- Desapropriações;
- Tipo de alimentação, como as já citadas em infraestrutura: catenária, terceiro trilho;
- Em algumas situações há a possibilidade de aproveitar a via existente (antigas ferrovias não mais operadas), fazendo devidas adaptações, o que pode representar economia em infraestrutura;
- Necessidade de preservar locais tidos como patrimônio da humanidade, como locais históricos;
- Obras de arte especiais, como viadutos, pontes, túneis e vias elevadas. Em VLT TIPO IV (monotrilhos), por exemplo, as vias são, assim como as estações, elevadas. A construção de túneis é algo que pesa e eleva bruscamente os custos, gerando valores de infraestrutura da ordem de metade dos custos por km do metrô.

A seguir apresentamos custos de alguns recentes casos implantados na Europa. Apresentam-se junto a eles alguns comentários gerais de como se prosseguiu com o projeto.

VLT				
		EM MILHÕES		
CIDADE	COMPRIMENTO DA VIA (KM)	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM £	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM €	COMENTÁRIOS
Birmingham (previsão)	20,1	6,6	9,3	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULO). 18 KM DE VIA FÉRREA FORAM REAPROVEITADAS.
Bonn, Auerberg	1,4	7,1	10,1	VIA FÉRREA E NOVA CONCEPÇÃO DA RUA
Bonn, Bad-Goldesberg	2,5	42,3	59,8	VIA 100 % ENTERRADA
Bordeax	27	16,3	23	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULO). NOVA CONCEPÇÃO DA RUA
Bremen (linha 4)	3,5	2,2	3,1	APENAS AS VIAS
Bremen (linha 6)	2,5	8,4	11,9	VIAS SEGREGADAS E OBRAS DE ARTE
Buffalo	10,3	57,7	81,6	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS), SENDO 77% DA VIA ENTERRADA
Croydon (previsão)	28	6,1	8,6	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS), VIA FÉRREA É REAPROVEITADA
Duisburg		3,7 - 4,1	5,2 - 5,8	VIA CONSIDERANDO APENAS TRILHOS E REDE AÉREA DE ALIMENTAÇÃO
Le Mans (previsão)	13,5	9,8	13,8	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS)
Lyon	18,7	13,2	18,7	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). NOVA CONCEPÇÃO DE RUA
Manchester (1992)	31	4,7	6,6	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). APENAS 3 KM SÃO NOVAS CONSTRUÇÕES
Manchester (1999)	6,7	12,3	17,4	CONSTRUÍDO EM ÁREA COM DESENVOLVIMENTO PORTUÁRIO
Montpellier	18	13,2	18,6	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). NOVA CONCEPÇÃO DE RUA, LINHA 1
Nantes	14,4	17,8	25,2	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). VIA FÉRREA É REAPROVEITADA, LINHA 1
Orléans	18	11,2	15,8	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). NOVA CONCEPÇÃO DE RUA, LINHA 1
Paris (T1)	9	10	14,1	CUSTO TOTAL (SEM INCLUIR VEÍCULOS E NOVA CONCEPÇÃO DE RUA)
Paris (T2)	10,3	6	8,5	CUSTO TOTAL (SEM INCLUIR VEÍCULOS). VIA FÉRREA REAPROVEITADA, 1,2KM DE TÚNEL
Pittsburg estágio I	16,9	30,3	42,8	VIA ENTERRADA EM ZONA URBANA
Pittsburg estágio II	19,3	13,5	19,1	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULO). 23% DAS VIAS ENTERRADAS
Portland	24,3	9	12,8	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS)
Saarbrücken (previsão, linha completa)				CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). VIA FÉRREA É REAPROVEITADA.
Sacramento	29,4	5,2	7,4	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). VIA FÉRREA É REAPROVEITADA
Sheffield	29	7,8	11,1	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULOS). VIA FÉRREA É REAPROVEITADA E NOVA CONCEPÇÃO DE RUA
Strasbourg (linha A)	12,6	14,6	20,7	CUSTO TOTAL (INCLUINDO O VEÍCULO), 10% DA VIA ENTERRADA, NOVO DESENHO DA RUA
Strasbourg (linha B)	12	10	14,2	CUSTO TOTAL (INCLUINDO O VEÍCULO)

FIGURA 88 – TABELA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS VLT

Para efeito comparativo apresenta-se também a tabelas com custos de modalidades com capacidades comparáveis ao VLT.

VLP GUIADO				
		EM MILHÕES		
CIDADE	COMPRIMENTO DA VIA (KM)	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM £	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM €	COMENTÁRIOS
CAEN	15,7	8,7	12,2	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULO), NOVA CONCEPÇÃO DE RUA
CLERMONT-FERRAND	12,0 + 2,0	12,8	18	CUSTO TOTAL (INCLUINDO TRANSLOHR), NOVA CONCEPÇÃO DE RUA
EINDHOVEN	15	2,8	4	APENAS A VIAS, ESTAÇÕES E NOVA CONCEPÇÃO DA VIA
NANCY	9	13,2	18,7	CUSTO TOTAL (INCLUINDO VEÍCULO E VIA PRA TRÁFEGO MISTO)
PADUA	10,5	4,3	6	CUSTO TOTAL (INCLUINDO TRANSLOHR)
ROUEN	26,3	4,3	6,1	CUSTO TOTAL (INCLUINDO ÔNIBUS ARTICULADO), NOVA CONCEPÇÃO DE VIA

FIGURA 89 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA VLT

CORREDOR DE ÔNIBUS (UMA FAIXA)				
		EM MILHÕES		
CIDADE	COMPRIMENTO DA VIA (KM)	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM £	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM €	COMENTÁRIOS
DORTMUND	0,3	5700	8000	APENAS A PINTURA
BERLIN	1	8600	12200	APENAS A PINTURA
DUISBURG	1	180000	254000	RECAPEAMENTO E TRATAMENTO DE JUNTAS
BONN	0,6	267000	377000	RECAPEAMENTO E TRATAMENTO DE JUNTAS
EDINBURGH (GREENWAYS)	26	298000	421000	CORREDORES TRAZEM DISPOSITIVOS À VIA PRINCIPAL QUE ATENUAM A VELOCIDADE DE TRÁFEGO
LONDON (M4)	5,6	340000	481000	LINHA ÚNICA EM VIA RESERVADA

FIGURA 90 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA VLP

CORREDOR DE ÔNIBUS (DUAS FAIXAS)				
		EM MILHÕES		
CIDADE	COMPRIMENTO DA VIA (KM)	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM £	CUSTO POR KM (VIA DUPLA) EM €	COMENTÁRIOS
AMSTERDAM (KERNTRAJECT)	24	8	11,3	CUSTO TOTAL SEM INCLUIR O VEÍCULO
OTTAWA (PRIMEIRO ESTÁGIO)	20,6	5,9	8,3	INCLUI ESTAÇÕES
PARIS (TRANS VAL DE MARNE)	12,5	4,9	7	
PITTSBURG (EAST BUSWAY)	9,9	11,2	15,8	
PITTSBURG (EAST BUSWAY EXTENSION)	3,7	10,2	14,4	
PITTSBURG (SOUTH BUSWAY)	6,4	4,9	6,9	
PITTSBURG (WEST BUSWAY)	14,5	14	19,8	INCLUI 2 TÚNEIS, 4 ESTAÇÕES E 4 ÁREAS DE ESTACIONAMENTO
QUITO	11,2	2,8	3,9	CUSTO TOTAL (INCLUI TROLLEYBUS)
UTRECHT	7	14,1	20	PARTE DO TRAÇADO PASSA PELA PARTE HISTÓRICA DA CIDADE

FIGURA 91 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA VLP

Na FIGURA 92 apresentamos alguns valores sugeridos de custo para 4 modalidades de transporte. Na nossa nomenclatura, Metrô Pesado, Metrô Leve, VLT e BRT são chamados de Metrô, VLT Tipos IV e III e VLP respectivamente.

	Metrô Pesado	Metro Leve	VLT (Tramway)	BRT (Corredor de ônibus)
Capacidade Máxima do Trecho mais Carregado.	80.000 pass/h/sentido	40.000 pass/h/sentido	25.000 pass/h/sentido	20.000 pass/h/sentido
Velocidade Média hora/pico	35 km/h	35 km/h	28 km/h	25 km/h
Custo da Obra Civil em subterrâneo.	60 milhões US\$ / km	40 milhões US\$ / km	-	-
Custo da Obra Civil em elevado.	30 milhões US\$ / km	25 milhões US\$ / km	-	-
Custo da Obra Civil em superfície	20 milhões US\$ / km	15 milhões US\$ / km	5 milhões US\$ / km	5 milhões US\$ / km
Custos das Instalações Fixas	25 milhões US\$ / km	18 milhões US\$ / km	3,5 milhões US\$ / km	1 milhões US\$ / km
Custo do Material Rodante para demanda de 80.000 pass/h/sentido	Headway 90 seg (40 composições de 8 carros por hora) 27,4 milhões US\$ / km	-	-	-
Custo do Material Rodante para demanda de 60.000 pass/h/sentido	Headway 90 seg (40 composições de 6 carros por hora) 20,6 milhões US\$ / km	-	-	-
Custo do Material Rodante para demanda de 40.000 pass/h/sentido	Headway 134 seg (27 composições de 6 carros por hora) 13,7 milhões US\$ / km	Headway 63 seg (57 composições de 4 carros por hora) 13 milhões US\$ / km	-	-
Custo do Material Rodante para demanda de 25.000 pass/h/sentido	Headway 211 seg (17 composições de 6 carros por hora) 5,8 milhões US\$ / km	Headway 100 seg (37 composições de 4 carros por hora) 8,4 milhões US\$ / km	Headway 100 seg (37 composições de 4 carros por hora) 10,3 milhões US\$/km	-
Custo do Material Rodante para demanda de 20.000 pass/h/sentido	Headway 263 seg (14 composições de 6 carros por hora) 7 milhões US\$ / km	Headway 128 seg (28 composições de 4 carros por hora) 6,4 milhões US\$ / km	Headway 122 seg (29 composições de 4 carros por hora) 8,4 milhões US\$ / km	Headway 27 seg (133 ônibus por hora) 2,6 milhões US\$ / km

FIGURA 92 – TABELA COMPARATIVA DE CUSTOS DOS SISTEMAS

Outra fonte sugere para VLT Tipo IV (Monotrilho) os seguintes valores:

MONOTRILHO				
Segmento	Custo Total US\$ (milhões)	Custo por milha US\$ (milhões)	Custo por estação US\$ (milhões)	Custo por interferência
Trens e sistemas de controle	255	18		
Estações	135		8	
Vigas, colunas, fundações	300	22		
Interferência	120			60
Maintenance Facility	30	2		
Sistema de alimentação	95	7		
Utility Relocation	80	6		
Rights of Way	30	2		
Materiais perigosos	10	1		
Projeto	235	17		
Total	1290	75	8	60

FIGURA 93 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA DE MONOTRILHO

9 CONCLUSÃO

Por meio da análise realizada neste trabalho, podemos perceber que cada um dos tipos de VLT possui uma determinada vocação em termos de capacidade, custos e nível de serviço. Também se pode concluir que as particularidades físicas, econômicas e sociais de cada cidade ou região onde se queira implantar um sistema de transportes eficiente, interferem diretamente nas decisões a serem tomadas, pois alteram os fatores de custo-benefício que, por sua vez, alteram grandemente os resultados das avaliações comparativas. Isto se aplica não apenas na comparação entre os tipos de VLT, mas também na comparação com os outros modais de transportes disponíveis.

10 ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - TÁXIS DE SÃO PAULO – FONTE: WIKIPEDIA	7
FIGURA 2 - TÁXI EM SÃO FRANCISCO – FONTE: WIKIPEDIA	7
FIGURA 3 - TÁXI LONDRINO – FONTE: WIKIPEDIA	7
FIGURA 4 – MODELO SPTRANS – FONTE: SPTRANS	10
FIGURA 5 - MODELO SPTRANS– FONTE: SPTRANS	11
FIGURA 6 – BILHETAGEM ELETRÔNICA– FONTE: SPTRANS	11
FIGURA 7 – CHAMATIVO ÔNIBUS LONDRINO – FONTE: WIKIPEDIA	11
FIGURA 8 - EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS – FONTE: WIKIPEDIA	14
FIGURA 9 - EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS – FONTE: WIKIPEDIA	15
FIGURA 10 – VEÍCULO EM VIA EXPRESSA – FOTO: DIOGO DONATE	15
FIGURA 11 - ESQUEMA DA CONCEPÇÃO DA REDE	16
FIGURA 12 – ESQUEMA DA REDE – FONTE: URBS	17
FIGURA 13 – VEÍCULOS UTILIZADOS – FONTE: URBS	18
FIGURA 14 – VEÍCULOS UTILIZADOS – FONTE: URBS	19
FIGURA 15 – ESQUEMA DOS TERMINAIS – FONTE: URBS	20
FIGURA 16 – RESUMO OPERACIONAL 2007 – FONTE: URBS	21
FIGURA 17 - REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE	22
FIGURA 18 – VLP STAN-BUS-BAHN-NANCY	23
FIGURA 19 - TRAMWAY DE CAEN RAIL	23
FIGURA 20 - SEÇÃO TRANSVERSAL TRILHO GUIA	24
FIGURA 21 – VLP GUIADO POR TRILHO, “TRANSLOHR”	24
FIGURA 22 – SISTEMA DE GUIAGEM POR TRILHO	24
FIGURA 23 - REDE DO METRÔ E CPTM – FONTE: CPTM	28
FIGURA 24 - LINHA LILÁS DO METRÔ	29
FIGURA 25 - ESTAÇÃO LIBERDADE DO METRÔ	29
FIGURA 26 – LAYOUT INTERNO METRÔ DE SÃO PAULO – FOTO: DIOGO DONATE	29
FIGURA 27 - REDE DA CPTM– FONTE: CPTM	32
FIGURA 28 – TREM DA SÉRIE 4800	32
FIGURA 29 - TREM DA SÉRIE 5000	33
FIGURA 30 - TREM DA SÉRIE 2000	33
FIGURA 31 - BONDE MOVIDO À TRAÇÃO ANIMAL – FONTE: WIKIPÉDIA	36

FIGURA 32 - LOCOMOTIVA “INVICTA” – FONTE: WIKIPÉDIA	37
FIGURA 33 - “HALLIDIE CABLE CAR”, 1873 – FONTE: www.cablecarmuseum.org	38
FIGURA 34 - “CABLE CAR” – FONTE: WIKIPÉDIA	38
FIGURA 35 - VOLKS ELECTRIC RAILWAY – FONTE: www.volksselectricrailway.co.uk	39
FIGURA 36 - VLT DE MINNEAPOLIS – ESTADOS UNIDOS – FONTE: WIKIPÉDIA	41
FIGURA 37 - METRÔ LEVE – DOCKLANDS – INGLATERRA – FONTE: WIKIPÉDIA	41
FIGURA 38 – VLT DE ESTRASBURGO – FRANÇA – FONTE: WIKIPÉDIA	43
FIGURA 39 – VLT DE BUENOS AIRES – ARGENTINA – FONTE: WIKIPÉDIA	43
FIGURA 40 - FAIXA DE CAPACIDADES DOS PRINCIPAIS MODAIS DE TRANSPORTE	51
FIGURA 41 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO POR ROW	53
FIGURA 42 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE FRENAGEM	69
FIGURA 43 - CAPACIDADE DA VIA X VELOCIDADE – FONTE: VUCHIC	74
FIGURA 44 - DISTÂNCIA X TEMPO – FONTE: VUCHIC	77
FIGURA 45 - CAPACIDADE DA ESTAÇÃO X VELOCIDADE ENTRE ESTAÇÕES	82
FIGURA 46 - TEMPO NA PARADA X NUMERO DE PASSAGEIROS – FONTE: VUCHIC	86
FIGURA 47 - LAYOUTS DE PARADAS – FONTE: VUCHIC	88
FIGURA 48 - BONDE DE SANTA TERESA – RIO DE JANEIRO – FONTE: WIKIPÉDIA	91
FIGURA 49 – BONDE DE KAGOSHIMA – JAPÃO – FONTE: WIKIPÉDIA	91
FIGURA 50 – VLT DE GENT – HOLANDA – FONTE: WIKIPÉDIA	93
FIGURA 51 – VLT DE MADRI – ESPANHA – FONTE: WIKIPÉDIA	93
FIGURA 52 – VLT DE NEW JERSEY, EUA – FONTE: WIKIPÉDIA	93
FIGURA 53 – VLT DO CARIRI – CE – BRASIL – FONTE: PREFEITURA DE JUAZEIRO - CE	94
FIGURA 54 – VLT DE AUSTIN, TX, EUA – FONTE: WIKIPÉDIA	96
FIGURA 55 – SKYTRAIN – VANCOUVER - CANADÁ – FONTE: www.bcbudget.gov.bc.ca	96
FIGURA 56 – MONOTRILHO DE SIDNEY - AUSTRALIA – FONTE: WIKIPÉDIA	97
FIGURA 57 – MONOTRILHO DE TACHIKAWA – TÓQUIO – JAPÃO – FONTE: WIKIPÉDIA	98
FIGURA 58 – MONOTRILHO SUSPENSO – CHIBA – JAPÃO	98
FIGURA 59 – REPRESENTAÇÃO DE UM MONOTRILHO SUSPENSO – FONTE: GRAVA	99
FIGURA 60 – MONOTRILHO DE WUPPERTAL – ALEMANHA – FONTE: WIKIPÉDIA	99
FIGURA 61 – PLATAFORMA LATERAL - MONOTRILHO DE LAS VEGAS – FONTE: WIKIPÉDIA	100
FIGURA 62 – MÉTODO DE EVACUAÇÃO COM VEÍCULOS DE RESGATE – FONTE: HITACHI	100
FIGURA 63 – SEÇÃO TRANSVERSAL TRADICIONAL DE TRILHO – FONTE: VUCHIC	103
FIGURA 64 – PERFIS DE VIAS – FONTE: VUCHIC	105

FIGURA 65– SEÇÃO TÍPICA DE UM VLT - FONTE: SIGURD GRAVA	107
FIGURA 66– ROTATÓRIA – BELO HORIZONTE - FONTE: WIKIPEDIA	108
FIGURA 67– PLANTA DE PARADA NO CANTEIRO CENTRAL – FONTE: SIGURD GRAVA	109
FIGURA 68– MODELOS DE RODAS UTILIZADAS NOS EUA – FONTE: TCRP REPORT 57	114
FIGURA 69– MODELOS DE RODAS UTILIZADAS NOS EUA – FONTE: TCRP REPORT 57	115
FIGURA 70 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA VIA	117
FIGURA 71 - TRATAMENTO CONTRA VIBRAÇÕES	118
FIGURA 72 - ARMADURAS JÁ ARRANJADAS – FONTE: FEBELCEM	119
FIGURA 73 - CONCRETAGEM DA LAJE ONDE SERÃO APOIADOS OS TRILHOS	119
FIGURA 74 - CONCRETAGEM DA LAJE ONDE SERÃO APOIADOS OS TRILHOS	120
FIGURA 75 – ARMADURAS PARA ADERÊNCIA DA SEGUNDA CAMADA DE CONCRETO	120
FIGURA 76 - CONCRETAGEM DA SEGUNDA CAMADA DE CONCRETO – FONTE: FEBELCEM	121
FIGURA 77 – CURA DO CONCRETO – FONTE: FEBELCEM	121
FIGURA 78 - PAVIMENTO SENDO POSTO EM USO – FONTE: FEBELCEM	122
FIGURA 79 - VLT COM PISO REBAIXADO - NAGASAKI - JAPÃO – FONTE: WIKIPEDIA	123
FIGURA 80 - VLT SEM PISO REBAIXADO - ARAKAWA - JAPÃO - FONTE: WIKIPEDIA	123
Figura 81 - OPÇÕES DE DISPOSIÇÃO INTERNA - FONTE: SIEMENS	124
FIGURA 82 - FONTE DE ALIMENTAÇÃO AÉREA – FONTE: WIKIPEDIA	124
FIGURA 83 - ALIMENTAÇÃO POR TERCEIRO TRILHO - FONTE: WIKIPEDIA	125
FIGURA 84– DISPOSIÇÃO DE EIXOS E TIPOS DE ACOPLAMENTOS – FONTE: GRAVA	125
FIGURA 85 - EXEMPLOS DE DIFERENTES VEÍCULOS DE UM MESMO FABRICANTE	126
FIGURA 86 - FLUXOGRAMA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	128
FIGURA 87 - FLUXOGRAMA DE ESCOLHA DE ALTERNATIVAS	130
FIGURA 88 – TABELA DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS VLT	132
FIGURA 89 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA VLT	132
FIGURA 90 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA VLP	133
FIGURA 91 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA VLP	133
FIGURA 92 – TABELA COMPARATIVA DE CUSTOS DOS SISTEMAS	134
FIGURA 93 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA DE MONOTRILHO	134

11 BIBLIOGRAFIA

BERMAN, Marshall. **Tudo que é sólido desmancha no ar: a aventura da modernidade.** 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

HAUG, W. F. **Crítica da Estética da Mercadoria.** Ed. UNESP. São Paulo.

GRAVA, S. **Urban Transportation Systems: Choices for Communities.** McGraw-Hill. New York.

VUCHIC, V.R. (2007) **Urban Transit Systems and Technology.** John Wiley and Sons

VUCHIC, V.R. (2005). **Urban Transit Operation, Planning and Economics.** John Wiley and Sons.

Wikipedia. **Light Rail.** Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Light_rail>. Acesso em: 28 mai. 2009.

Wikipedia. **Tram.** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Tram>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Wikipedia. **Monorail.** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Monorail>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Wikipedia. **Rail Transport.** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Railways>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Siemens. **Mobility.** Disponível em: <<http://w1.siemens.com/entry/cc/en/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Bombardier. Transportation. Disponível em: <<http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles?docID=0901260d8000a52b>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Alstom. Rail Transport. Disponível em: <http://www.alstom.com/home/activities/rail_transport/index.EN.php?languageId=EN&dir=/home/activities/rail_transport/>. Acesso em: 28 mai. 2009

Hitachi-rail. Monorail System. Disponível em: <http://www.hitachi-rail.com/products/monorail_system/>. Acesso em: 28 mai. 2009

ExpansãoSP. Disponível em: <<http://www.expansao.sp.gov.br/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Companhia do Metropolitano de São Paulo. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br>>. Acesso em: 28 mai. 2009

CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. Disponível em: <<http://www.cptm.sp.gov.br/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

LRTA – The Light Rail Transit Association. Disponível em: <<http://www.lrt.org/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Light Rail Now. Disponível em: <<http://www.lightrailnow.org/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

The Monorail Society. Disponível em: <<http://www.monorails.org/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

Avaliação Comparativa das Modalidades de Transporte Público Urbano. NTU e Jaime Lerner Associados, 2009.

San Francisco Cable Car Museum. Disponível em: <www.cablecarmuseum.org/>. Acesso em: 28 mai. 2009

VERA. Disponível em: <<http://www.volksselectricrailway.co.uk/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

URBS – Urbanização de Curitiba. Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/PORTAL/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

CBTU – Companhia Brasileira de Trens Urbanos. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/>>. Acesso em: 28 mai. 2009

ALOUCHÉ, Peter. **Corredores Urbanos de Transporte para Altas Demandas.** Seminário: Soluções Integradas de Transporte. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/eventos/serie/portoalegre/07tendencias.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2009