

## NOTA TÉCNICA

### ESCOLHA ENTRE A BITOLA LARGA BRASILEIRA E A BITOLA INTERNACIONAL PADRÃO PARA A LINHA 4 DO METRÔ DO RIO DE JANEIRO

Marcus Vinicius Quintella Cury

#### Resumo

A escolha da bitola mais adequada, em termos técnicos e econômicos, para ser implantada em uma linha férrea, de carga ou passageiro, gera muita discussão entre os especialistas em transporte metroferroviário, visto que não há consenso sobre a melhor bitola a ser adotada, dentre os diversos tipos existentes no mundo. A presente nota técnica tem o objetivo de apresentar argumentos técnicos e econômicos para subsidiar a tomada de decisão da escolha da bitola mais apropriada para a Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro, entre as duas bitolas em discussão: bitola larga brasileira, de 1,600 m, e bitola internacional padrão (bitola *standard*), de 1,435 m.

#### 1. AS BITOLAS NO BRASIL E NO MUNDO

Nos projetos de transportes metroferroviários, a definição do tipo de bitola a ser adotada como padrão é um dos pontos fundamentais, no caso específico da economicidade dos sistemas com bitolas diferentes.

A bitola da primeira via férrea comercial interurbana do mundo, inaugurada em 15 de Setembro de 1830, com a imortal locomotiva Rocket, de fabricação de George Stephenson, na Inglaterra, não foi o resultado de uma investigação científica, nem de estudos de engenharia ou de economia dos transportes. Simplesmente, foi adotada, para os trilhos, a distância mais comum encontrada entre as rodas das carruagens, diligências e carroções ingleses: 1,435 m. Essa distância entre os trilhos veio a ser a bitola mais empregada, ou veio a ser a bitola predominante, muito embora outras bitolas aparecessem logo após a inauguração. Ainda na Inglaterra, foram empregadas outras bitolas, como a bitola extra-larga, com 7' 1/4" (2,140 m), e bitola irlandesa, com 1,600 m, que deu origem à bitola larga brasileira.

No mundo, existem cerca de 16 medidas diferentes de bitola em uso, fruto das opções tecnológicas de cada país. No Brasil, é possível encontrar quatro tipos diferentes de bitola: a bitola métrica, com largura de 1,000 m; a bitola larga, com largura de 1,600 m; a bitola internacional ou *standard*, com 1,435 m; e a bitola mista, que conjuga na mesma linha as bitolas métrica e larga. Na prática, as bitolas com

medidas iguais ou acima de 1,435 m podem ser consideradas bitolas largas (*broad gauge*) e as bitolas com medidas em torno de 1,000 m são chamadas de bitolas estreitas (*narrow gauge*). No Brasil, no meio ferroviário, a bitola métrica é comumente chamada de “bitolinha” e a bitola de 1,600 m é denominada de “bitola larga brasileira”.

A história registra que, em 1964, durante o governo Castello Branco, foi aprovado o Plano Nacional de Viação, para os sistemas ferroviário e rodoviário, pela Lei 4.592/64, em substituição ao Plano Geral de Viação de 1934, que tinha a intenção de promover a unificação das bitolas em 1,600 m, em todas as vias férreas situadas ao sul do paralelo de Brasília. Mais tarde, em 1973, o governo Médici sancionou a Lei 5.917/73, em vigor até hoje, que trata da revisão do Plano Nacional de Viação de 1964 e mantém a bitola “oficial” brasileira com a medida de 1,600 m, convencionalmente denominada de bitola larga. Os motivos técnicos e econômicos para a escolha dessa bitola são desconhecidos e bastante discutíveis. Cabe ressaltar que as mais recentes ferrovias de carga construídas no Brasil, como a Ferronorte, Ferrovia do Aço, Estrada de Ferro Carajás, Transnordestina e Ferrovia Norte-Sul, adotaram a bitola larga de 1,600 m.

Apesar dessa regulamentação oficial, a rede ferroviária nacional, de carga e passageiros, opera com 78,3% de linhas em bitola métrica, 19,3% em bitola larga, 1,7% em bitola mista e 0,7% em bitola *standard*, conforme mostrado no Quadro 1.

**Quadro 1**

Extensão da Malha Ferroviária - 2009						
Extensões em km						
Operadoras Reguladas pela ANTT	Origem	Bitola				Total
		1,60	1,00	1,435	Mista	
ALLMO – América Latina Logística Malha Oeste	RFFSA	-	1.945	-	-	1.945
FCA – Ferrovia Centro-Atlântica	RFFSA	-	7.910	-	156	8.066
MRS – MRS Logística	RFFSA	1.632	-	-	42	1.674
FTC – Ferrovia Tereza Cristina	RFFSA	-	164	-	-	164
ALLMS – América Latina Logística Malha Sul	RFFSA	-	7.293	-	11	7.304
FERROESTE – Estrada de Ferro Paraná Oeste	-	-	248	-	-	248
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas	-	-	905	-	-	905
EFC – Estrada de Ferro Carajás	-	892	-	-	-	892
TNL - Transnordestina Logística	RFFSA	-	4.189	-	18	4.207
ALLMP - América Latina Logística Malha Paulista	RFFSA	1.463	243	-	283	1.989
ALLMN - América Latina Logística Malha Norte	-	500	-	-	-	500
VALEC/Subconcessão: Ferrovia Norte-Sul - FNS	-	571	-	-	-	571
<b>Subtotal</b>	-	<b>5.058</b>	<b>22.897</b>	-	<b>510</b>	<b>28.465</b>
Demais Operadoras	Origem	Bitola				Total
		1,60	1,00	1,435	Mista	
CBTU	-	63	149	-	-	212
CPTM/Supervia/Trensurb/CENTRAL	-	537	75	-	-	612
Trombetas/Jari	-	68	35	-	-	103
Corcovado/Campos do Jordão	-	-	51	-	-	51
E.F.Amapá	-	-	-	194	-	194
<b>Subtotal</b>	-	<b>668</b>	<b>310</b>	<b>194</b>	-	<b>1.172</b>
<b>TOTAL</b>	-	<b>5.726</b>	<b>23.207</b>	<b>194</b>	<b>510</b>	<b>29.637</b>

Fonte: DNIT (2010)

A bitola *standard* é a mais comum, no âmbito mundial, e pode ser encontrada em 60% das ferrovias espalhadas pelos cinco continentes. As bitolas largas, com medidas iguais ou superiores à bitola *standard*, respondem por 23% e as bitolas estreitas, por 17%. A construção de ferrovias com diferentes bitolas foi uma política muito comum em vários lugares do mundo, especialmente na Europa, por motivos estratégicos de segurança nacional. Os Estados Unidos e alguns países da Europa Ocidental desfrutaram das vantagens econômicas e operacionais de homogeneizar suas redes ferroviárias, mas outros grandes países ferroviários ainda sofrem os custos da diversidade, como é o caso de Austrália, Índia e a Península Ibérica.

As redes ferroviárias espanhola e portuguesa contam com o predomínio da bitola de 1,668 m, conhecida como Bitola Ibérica, mas utilizam também outras medidas de bitola, inclusive a *standard*. A Bitola Ibérica foi adotada por motivos militares, para impedir invasões das tropas francesas na península, na primeira metade do século passado. Hoje, essa bitola vem causando problemas de intercâmbio comercial com o restante da Europa, para Portugal e Espanha.

Nos Estados Unidos, existiam mais de vinte diferentes bitolas, e somente 54% da rede de ferrovias adotava a bitola *standard*, em 1861. Em 1886, mais de 96% da rede já estava na bitola *standard*. Em grande parte da Europa Ocidental, as bitolas foram unificadas na segunda metade do século XIX e a bitola *standard* está presente desde a Inglaterra até a Turquia. A Holanda começou a construção de sua rede de ferrovias na bitola de 1,950 m, mas acabou por modificar sua estratégia, a partir de 1855, a fim de obter compatibilidade com as vias em bitola *standard* adotadas por seus vizinhos, Bélgica e Prússia. A Noruega mudou sua bitola, de métrica para *standard*, a fim de conectar-se à rede europeia. O Japão unificou a maioria de suas bitolas no início do século XX para a bitola de 1,067 m. A exceção são os trens de alta velocidade Shinkansen e algumas linhas em bitola *standard*.

Alguns países ainda não se conectam à rede europeia de bitola *standard*, como a República da Irlanda e Irlanda do Norte, que mantêm a bitola de 1,600 m. As repúblicas que formavam a União Soviética têm bitola de 1,520 m. A rede da Finlândia utiliza a bitola de 1,524 m. Várias linhas secundárias na Europa utilizam a bitola métrica (Espanha, Suíça, Suécia, Alemanha e França). Atualmente, a bitola de 1,600 m é encontrada somente na República da Irlanda, no Brasil e nos estados australianos de Victoria e Austrália do Sul.

Antes da independência da Austrália, cada região era responsável por sua rede de ferrovias, resultando, assim, na implementação de três bitolas principais. A Austrália pode ser considerada um exemplo clássico de falha das relações entre os governos dos estados e o governo nacional, no caso das bitolas diferentes de suas linhas férreas (bitolas estreita de 1,067 m, *standard* e larga de 1,676 m), pois ainda sofre as conseqüências negativas das decisões feitas há mais de cem anos.

Devido à quebra de bitolas, outros países, como a Argentina (bitolas métrica, *standard* e larga de 1,676 m), Índia (bitolas métrica e larga de 1,676 m), Espanha (métrica, *standard* e Ibérica) e Suíça (bitolas métrica e *standard*) apresentam sérias dificuldades de intercâmbio ferroviário.

Na América do Sul, existe uma rede ferroviária com 79.000 km de extensão, com prevalência das bitolas estreitas, de 0,914 m e 1,000 m, que estão presentes em 44.000 km de linhas férreas (56%). As bitolas largas, de 1,600 m e 1,676 m, são adotadas em cerca de 26.000 km de linhas (33%) e a bitola *standard*, de 1,435 m, é utilizada em apenas 8.760 km de linhas férreas (11%). A maior rede interconectada é a métrica na Argentina, Chile, Brasil e Bolívia, com 41.159 km. A segunda maior é a rede em bitola de 1,676 m na Argentina, com 19.967 km. Venezuela, Colômbia e Equador não possuem conexões ferroviárias internacionais e, ainda que as tivessem, não poderiam intercambiar equipamento de transporte, pois cada país tem uma bitola distinta. A região oeste da Venezuela tem 336 km na bitola *standard*, enquanto a rede principal da Colômbia está na bitola de 0,914 m e a rede do Equador usa a bitola de 1,067 m. O quadro 2 apresenta a situação das bitolas na América do Sul.

**Quadro 2**  
**Bitolas Ferroviárias da América do Sul**

	1,676	1,6	1,435	1,067	1	0,914	TOTAIS
Argentina	19.967		2.751		9.860		32.578
Brasil		4.305	194		24.045		28.544
Chile	1.706			139	3.754		5.599
Bolívia					3.500		3.500
Peru			1.822			141	1.964
Colômbia			150			1.991	2.141
Uruguai			2.993				2.993
Equador				966			966
Venezuela			846				846
Paraguai			4				4
<b>Totais</b>	<b>21.673</b>	<b>4.305</b>	<b>8.760</b>	<b>1.105</b>	<b>41.159</b>	<b>2.132</b>	<b>79.135</b>

Fonte: REVISTA DO BNDES, RIO DE JANEIRO, V. 16, N. 31, P. 195, JUN. 2009

No transporte urbano sobre trilhos, que abrange os sistemas de trens urbanos, bondes modernos e metrô leves e pesados, também são adotados diversos tamanhos de bitola, pelo mundo afora.

Os metrô europeus adotaram diversos tipos de bitola, como, por exemplo, a Linha 1 do Metrô de Barcelona, com bitola de 1,674 m (Bitola Ibérica Antiga), o Metrô de Madri, com bitola de 1,445 m, Bondes Elétricos de Lisboa, com bitola de

0,900 m, e os metrô de Metrô de Lisboa, Paris e Londres, com bitola *standard*. Nos demais metrô, podem ser encontradas diversas medidas de bitola, com predominância da bitola *standard*.

No Brasil, os sistemas de trens urbanos adotam os mesmos três tipos de bitolas que o transporte de carga, ou seja, as bitolas métrica, larga e *standard*.

A bitola larga foi adotada nas três primeiras linhas do Metrô de São Paulo e nas duas primeiras linhas do Metrô do Rio de Janeiro. Em seguida, a bitola larga continuou sendo utilizada nos Metrô de Belo Horizonte, Recife, Porto Alegre e Brasília, todos esses em operação, e no Metrô de Fortaleza, em fase final de construção. Os grandes sistemas de trens suburbanos de São Paulo e Rio de Janeiro também operam com bitola larga.

A bitola *standard* começou a ser adotada na Linha 5 do Metrô de São Paulo, em 2002, e, mais recentemente, no Metrô de Salvador e na Linha 4 do Metrô de São Paulo, ambos em término de construção. No Rio de Janeiro, a Linha 4, em início de construção, foi projetada com bitola *standard*.

No caso do Metrô de São Paulo, a escolha da bitola larga para as suas três primeiras linhas apenas seguiu a tradição ferroviária do país, mas, para as Linhas 4 e 5, prevaleceu critérios técnicos e econômicos para a adoção da bitola *standard*. O motivo alegado pelo Metrô de São Paulo foi a possibilidade de redução de custos construtivos, com túneis mais estreitos e as vantagens operacionais com a bitola *standard*, devido a predominância de equipamentos disponíveis no mercado internacional para esse tipo de bitola. Todavia, há controvérsias sobre esses argumentos para a escolha da bitola *standard*, que serão discutidos mais adiante.

A bitola estreita vem sendo utilizada pelos sistemas de trens urbanos de pequeno porte, nas cidades de Maceió, João Pessoa, Natal, Recife, Fortaleza, Salvador e Rio de Janeiro.

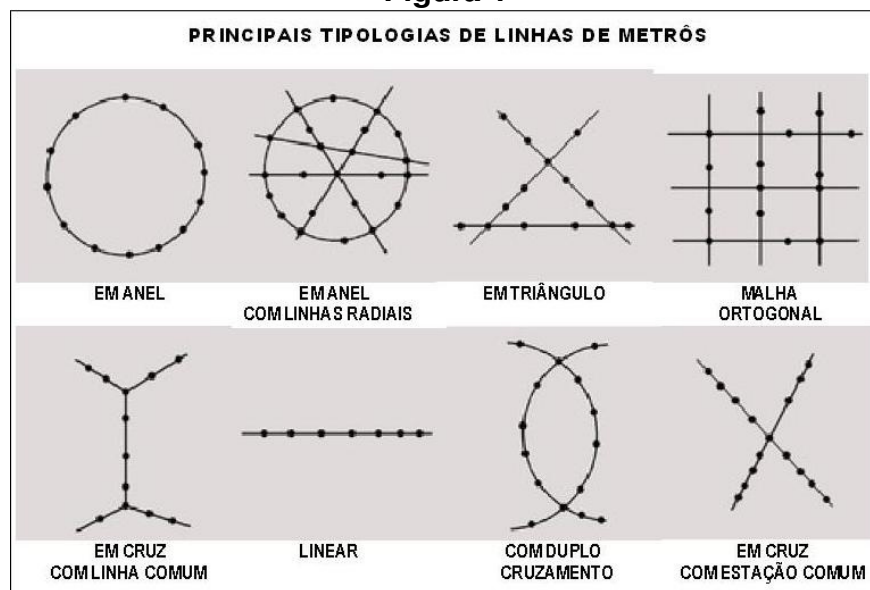
## **2. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS E OPERACIONAIS DOS TIPOS DE BITOLA**

Na prática da operação ferroviária, os desempenhos operacionais do transporte de cargas ou passageiros, em redes de bitola métrica ou larga, não são significativamente diferentes, mas os custos econômicos das quebras de bitola são substancialmente elevados. A existência de diferentes bitolas, dentro de uma rede ferroviária, impede a utilização do mesmo material rodante em toda a extensão das vias, bem como o aproveitamento dos mesmos equipamentos de manutenção e correção e via. Essa situação ilustra a perda de flexibilidade operacional ocasionada por mudanças de bitola, para que possam ser utilizados, de forma racional e otimizada, o material rodante se encontra a demanda por transporte.

No transporte de cargas, por exemplo, se existe uma demanda não esperada na rede em bitola *standard* na Argentina e, ao mesmo tempo, existem vagões ociosos na rede métrica no Brasil, não é possível transferir as locomotivas e vagões para onde esses veículos sejam mais úteis. As locomotivas e vagões ficam presos nos limites de cada rede, com uma bitola diferente, situação que prejudica a criação de um mercado regional de arrendamento de equipamentos. As variações de bitola também aumentam os custos pela necessidade de realizar trasbordos de carga entre trens que operam em diferentes bitolas, o que aumenta o tempo de trânsito e demanda investimentos.

No caso do transporte de passageiros, especialmente em sistemas metroferroviários, esse custo econômico com a eventual perda de tempo com a mudança de bitolas, e conseqüente processo de transferência de passageiros entre linhas, depende da tipologia do metrô em questão. Os sistemas de metropolitano estão normalmente organizados em rede, isto é, as várias linhas estão desenhadas por forma a que o tráfego de passageiros seja feito da melhor e mais rápida forma possível. Nessa medida é necessário providenciar várias ligações entre as linhas do sistema, que podem ter bitolas diferentes, sem prejuízo operacional do sistema. A figura 1 mostra as principais tipologias existentes, que podem conter bitolas diferentes em suas linhas independentes. Os metrôs de Recife e Rio de Janeiro obedecem à tipologia em cruz, com linha comum, o metrô de São Paulo, em cruz, com estação comum, e os de Belo Horizonte e Porto Alegre, a tipologia linear.

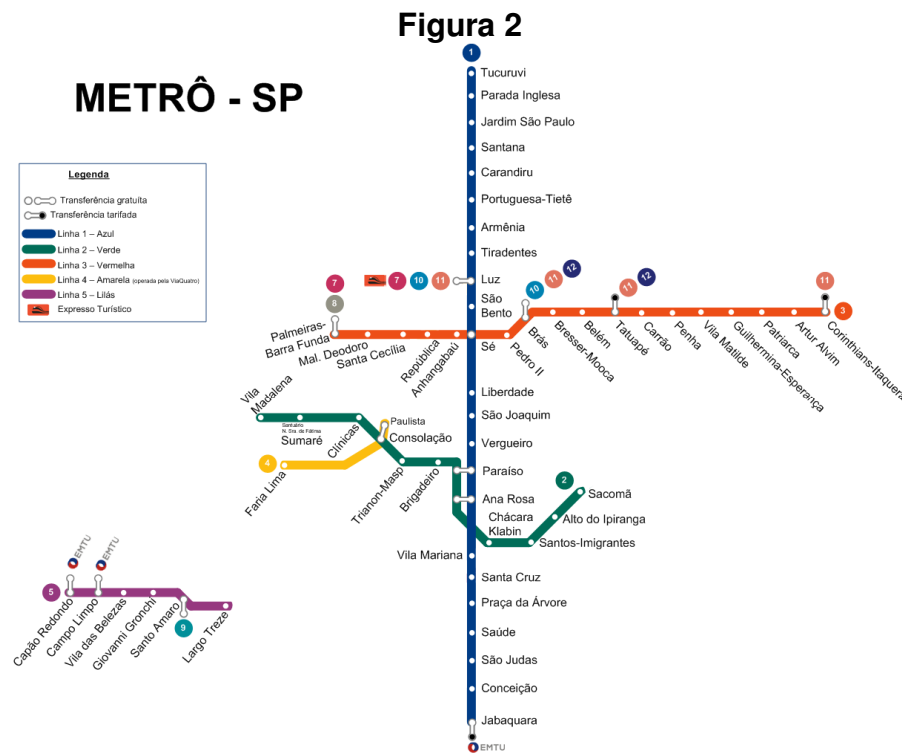
**Figura 1**



O planejamento das redes de metrôs é feito com base na necessidade de atendimento ao transporte da população da região abrangida, levando-se em consideração a geografia física e topografia do terreno, além das condições

econômicas dos empreendedores do projeto. A escolha do tipo de bitola não depende da tipologia da rede de metrô, mas tão somente de critérios técnicos e operacionais, como será visto adiante.

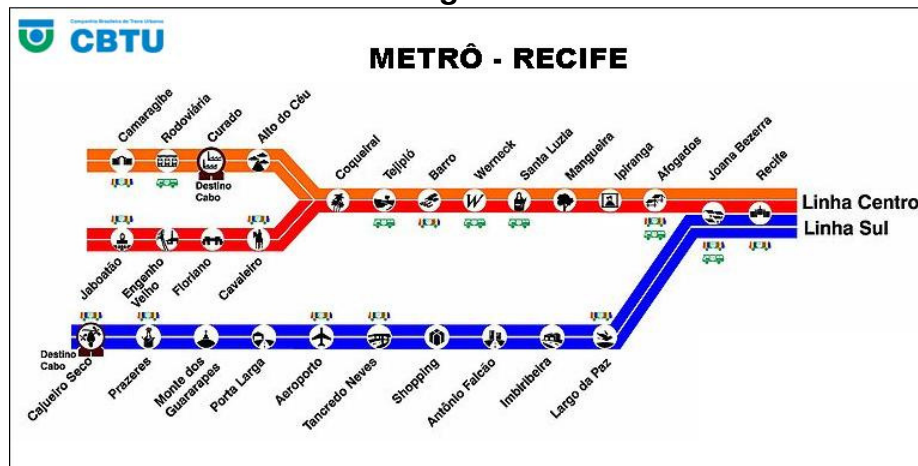
Os metrôs, geralmente, são planejados com vias independentes, ou seja, com as conexões entre duas ou mais linhas ocorrendo através de uma ou duas estações, não consecutivas e comuns às linhas consideradas. Nesses casos, podem ser adotadas bitolas diferentes nas linhas, pois a conexão entre elas sempre ocorrerá nas estações de transferência ou transbordo. Nesse caso, a diferença entre bitolas não afeta a operação ferroviária, como é o caso do Metrô de São Paulo, onde suas Linhas 1, 2 e 3 são em bitola larga e as Linhas 4 e 5, em bitola *standard*, dentro de uma tipologia em cruz, com estações comuns, como mostra a figura 2.



Entretanto, existem metrôs onde essa regra não é seguida e algumas linhas são compartilhadas, em trechos comuns, como é o caso, no Brasil, dos metrôs de Recife e Rio de Janeiro. Esse caso também ocorre nos metrôs de Lisboa e de Bruxelas, entre outros. Nesse caso, as bitolas devem possuir a mesma medida, pois o material rodante de uma linha trafega na outra e vice-versa. Não há registro de metrôs que possuam linhas compartilhadas em bitola mista. A figura 3 mostra o mapa esquemático do Metrô de Recife, onde os trens da Linha Centro A, Recife – Jaboatão, e os trens da Linha Centro B, Recife – Camaragibe, compartilham a linha

de bitola larga, no trecho Recife – Coqueiral. A Linha Sul, também em bitola larga, opera de forma independente, no trecho Recife – Cajueiro Seco, onde existe a integração com a Linha Sul Diesel, em bitola métrica, no trecho Cajueiro Seco – Cabo. Dessa forma, o sistema de trens urbanos de Recife opera com duas bitolas, métrica e larga.

Figura 3



Em termos de velocidade, estudos realizados em 1835 previam que a bitola *standard* permitiria uma velocidade baixa, entre 35 e 40 km/h, e propunham uma nova bitola de 2,134 m. Essa nova locomotiva seria mais estável, teria uma maior superfície aquecida e, portanto, mais potência e maiores velocidades. Entretanto, em 1841, Stephenson conserva a bitola *standard* e aumenta a potência da locomotiva com o alongamento da caldeira, definindo a forma tradicional das locomotivas a vapor. Em 1845, na Inglaterra, uma comissão real foi encarregada de definir a largura das linhas ferroviárias e os ensaios realizados, com diferentes bitolas, estabeleceram a superioridade das bitolas maiores. Contudo, a necessidade de padronização tem por objetivo evitar os numerosos e custosos transbordos de passageiros e de cargas. A bitola *standard* já era a mais utilizada e, por isso, a comissão real proibiu a construção de outro tipo de bitola, com exceção da Irlanda, onde a norma era construir com a bitola de 1,600 m. Portanto, a bitola *standard* não era a ideal, uma vez que as bitolas maiores permitiam uma melhor estabilidade, além de potências maiores, mas foi escolhida por questões econômicas, pois reconstruir as estradas de ferro existentes teria um custo muito alto.

No caso das vias estreitas, com bitola métrica, havia um consenso de economia, pois as plataformas seriam menos largas e os raios de curvatura menores, além de melhor adaptação à topografia do terreno. Essa característica contribuiu para a construção de diversas estradas com bitolas menores do que um metro, entre 0,60 a 0,70 m, principalmente nas regiões montanhosas. A linha com



bitola de 0,60m foi utilizada pelo engenheiro francês Paul Decauville, dando o seu nome a esse tipo de via, a qual foi utilizada no mundo inteiro na agricultura, na indústria e até mesmo no uso militar. No Brasil, a Decauville foi muito utilizada na plantação de bananas ao longo do litoral.

No Brasil, o gabarito útil do material rodante de carga da bitola métrica oferece maior capacidade de oferta de espaço e de peso que a maior parte das ferrovias européias, asiáticas e africanas. O Japão, que utiliza a bitola estreita de 1,067 m, opera vagões-cegonha de dois andares, destinados ao transporte de automóveis.

No transporte urbano, a Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) opera em bitola métrica os sistemas de João Pessoa, Natal e Maceió e um trecho da Linha Sul de Recife. No caso de Maceió e Linha Sul de Recife, a CBTU está começando a operação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), de bitola métrica, recém adquirido, que possui praticamente a mesma capacidade de transporte de passageiros, por carro, do trem unidade elétrico (TUE) do Metrô de Recife, em bitola larga. A figura 3 mostra o TUE da CPTM, em bitola larga, e o VLT da CBTU, em bitola métrica.

**Figura 3**



Na prática, o tamanho da bitola tem pouca influência nas dimensões do material rodante ferroviário de passageiros e, conseqüentemente, na capacidade de transporte do sistema, que depende, fundamentalmente, da tipologia das linhas, das características geométricas das vias, do tamanho da frota, do tipo de sinalização e da tecnologia do controle operacional da rede. O quadro 2 apresenta as dimensões dos principais modelos de trens utilizados nos sistemas de metrô brasileiros e suas respectivas bitolas. Pode-se observar que todos os modelos possuem dimensões muito semelhantes, independentemente da bitola adotada.

**Quadro 2**  
**DIMENSÕES E BITOLAS DOS PRINCIPAIS MATERIAIS RODANTES EM OPERAÇÃO NO BRASIL**

Dimensões em metros

Operadora	Tipo	Bitola	Largura	Altura	Comprimento
CPTM / SP	TUE	1,600	2,930	3,897	22,184
Metrô BH e Recife / CBTU	TUE	1,600	2,975	3,900 - 4,400	22,000
Metrô SP Linha 4	TUE	1,435	2,800	3,930	21,190
Metrô SP Linha 5	TUE	1,435	2,800	3,860	21,370
Metrô Salvador / CTS	TUE	1,435	3,060	4,100	19,790
Metrô Fortaleza / METROFOR	TUE	1,000	2,660	4,050	11,000
Trens Urbanos de Maceió e Recife / CBTU	VLT Diesel	1,000	2,850	3,760	18,000

Fonte: CBTU

A mudança da bitola dos trilhos em uma via férrea é uma tarefa árdua e cara, pois exigirá a substituição de toda a dormentação existente, no caso de linhas com dormentes de concreto bi-bloco ou monobloco. No caso de dormentes de madeira, existe a possibilidade aproveitamento da dormentação, dependendo de seu estado de conservação e do tipo de fixação existente.

Na prática, a mudança de bitola seria mais fácil se efetuada de uma bitola mais larga para outra mais estreita. Nesse caso, a mudança de bitola ocorreria pelo estreitamento do espaço entre os trilhos e sem necessidade de modificações da infraestrutura da via, mas com alteração da superestrutura ferroviária, pois haveria necessidade de retirada e recolocação das fixações e trilhos, sem contar a substituição dos dormentes. Existe também a técnica de inserção de um terceiro trilho, transformando a linha de maior bitola em linha de bitola mista, chamada na Península Ibérica de linha bi-bitola. Esse tipo de linha é muito comum nas ferrovias brasileiras de carga, com linhas que atendem as bitolas larga e métrica. Já a bitola mista composta pela bitola larga brasileira e a bitola *standard*, com uma diferença de apenas 16,5 cm entre dois dos três trilhos, não é utilizada no Brasil e muito pouco vista pelo mundo afora. Todavia, existe a tecnologia para isso, com a utilização dos dormentes bi-bitola, em ferrovias portuguesas e espanholas, conforme mostrado na figura 4.

**Figura 4**



As linhas bi-bitola, larga e *standard*, possuem a vantagem de permitir a colocação das duas bitolas em serviço simultâneo, mas existem muito mais desvantagens, principalmente nas ferrovias suburbanas e metrô. Nas vias eletrificadas por rede aérea, a catenária não ficará centrada no trem de menor bitola e os problemas nos pantógrafos ocorrerão rapidamente. Existirá o problema nas plataformas de embarque e desembarque, que foram dimensionadas para a bitola larga. De um lado da plataforma, aumentará o espaço em relação ao trem, e, do outro lado, a plataforma não comportará o trem. Haverá limitações de velocidade nos trechos em bi-bitola, especialmente nos AMVs, em razão da complexidade desse tipo de aparelho e da pequena diferença entre a bitola larga e bitola *standard*. A adoção da bitola bi-bitola ou bitola mista é mais adequada para linhas de carga de baixa velocidade comercial e não eletrificada, como acontece em algumas linhas brasileiras.

Na Espanha, a bi-bitola é uma experiência sem aplicação comercial, mas existe um plano de migração da bitola Ibérica para a *standard*, com a instalação de dormentes polivalentes, para que a unificação de bitola com o resto da Europa possa acontecer, no futuro. Cabe ressaltar que o dormente bi-bitola é diferente do dormente polivalente, visto que esse último permite a fixação de somente um trilho, seja de bitola larga Ibérica ou bitola *standard*.

Por outro lado, a mudança de uma bitola estreita existente para bitola larga pode ser mais complexa, pela eventual necessidade de adaptações importantes das obras de arte, dormentes, lastro, aterros e cortes. Essa possibilidade vem sendo motivo de discussões sobre a conveniência de mudança entre as bitolas larga, *standard* e métrica no Cone Sul, nas ferrovias de carga.

Atualmente, encontra-se em discussão o caso de mudança de bitola no Metrô do Rio de Janeiro, motivo da presente nota técnica. Nesse caso, existe a possibilidade de adoção da bitola *standard* na Linha 4 do Metrô do Rio, conforme consta do projeto original dessa linha, ou a mudança para a bitola larga brasileira, para unificação com as Linhas 1 e 2. Como a Linha 4 encontra-se no início das escavações, ainda existiria a possibilidade de mudança da bitola constante do projeto original, sem problemas construtivos significativos.

No caso de metrô subterrâneos, existe uma tendência equivocada de se achar que a seção de túnel a ser escavada será maior ou menor, em função do tamanho da bitola escolhida para o projeto. A CBTU, por exemplo, adota o mesmo gabarito de túneis para carga e passageiros, independentemente da bitola a ser utilizada, que, normalmente, pode ser métrica ou larga de 1,600 m. A figura 5 mostra que as seções dos túneis são rigorosamente as mesmas para ambas as bitolas, cujas larguras e alturas são, respectivamente, de 10,800 m e 9,040 m. As entrevias medem 4,250 m, em ambos os gabaritos. Na realidade, os gabaritos dos túneis são dimensionados para receber a seção do material rodante escolhido, que, no caso da CBTU, é padronizado com largura de 2,975 m e altura máxima de 4,400 m. Portanto, pode-se concluir que um metrô em bitola *standard* poderia ser perfeitamente construído pelo gabarito da figura 5, ainda mais que o material rodante para esse tipo de bitola possui dimensões bem próximas ao trem de bitola larga (ver quadro 2). O projeto do Metrô de Curitiba, em desenvolvimento, com apoio da CBTU, a princípio, adotará a bitola larga de 1,600 m e obedecerá ao gabarito da figura 5.

Figura 5



### 3. ASPECTOS ECONÔMICOS DOS TIPOS DE BITOLA

Há um consenso entre os especialistas em transporte que a uniformidade de bitola é o fator que mais contribui para a economicidade do êxito comercial de um sistema ferroviário, de carga ou passageiro, e, não, o tamanho da bitola, propriamente dita. Os operadores metroferroviários buscam obstinadamente o escoamento fácil, rápido e confiável do tráfego em suas linhas, independentemente

do tipo de bitola utilizado. Por isso, a uniformização da bitola deve ocorrer na direção do tipo de bitola que oferece menores custos de implantação, manutenção e operação.

No caso de duas linhas de metrô existentes, com bitolas diferentes, *standard* e larga de 1,600 m, em que seja planejada uma alteração na operação e os trens de bitola *standard* passem a compartilhar o tráfego na linha de bitola larga, serão necessárias modificações estruturais importantes. Nesse caso, seria mais adequada a colocação de um trilho interno na via de bitola larga, para estreitar a bitola, transformando, assim, a via de bitola larga em bitola mista. Entretanto, essa transformação acarretaria em sérios problemas nas plataformas de embarque e desembarque, como já foi comentado anteriormente, uma vez que o trem de bitola *standard* não conseguiria entrar nas plataformas existentes da linha de bitola larga, devido ao tamanho de sua seção transversal, que é praticamente a mesma do trem de bitola larga. Além disso, haveria a necessidade de adaptações na captação de energia dos trens de bitola *standard*, que pode ser aérea ou por terceiro trilho. Por fim, o maior problema seria a substituição de toda a dormentação da linha de bitola larga, para a instalação dos dormentes bi-bitola, conforme já mostrado na figura 4. O caso contrário também seria complexo, ou seja, os trens de bitola larga entrando na bitola *standard*, em linhas existentes. Nesse caso, os mesmos problemas ocorreriam, nas plataformas, dormentação e captação de energia, além de aumento da seção de lastro e da entrelaça. Os custos dessas intervenções seriam absurdamente altos e, certamente, haveria inviabilidade econômica do projeto.

No caso específico da Linha 4 do Metrô do Rio, existe a dúvida quanto ao tipo de bitola a ser escolhida: manter a *standard*, do projeto original, ou adotar a larga, para uniformizar com a Linha 1. Em termos econômicos, haverá poucas diferenças se a escolha recair numa ou noutra bitola, pois a diferença de 16,5 cm entre as duas bitolas não acarretará numa proporcionalidade direta nos custos envolvidos, se considerarmos a seção do túnel escavado, a dimensão dos dormentes, as plataformas, o material rodante e a sinalização. Cabe ressaltar que há tempo hábil para as adequações no projeto da Linha 4, em termos de mudança de bitola.

Há uma clara tendência, em todo o mundo, de ocorrer a uniformização das bitolas pela bitola *standard*, uma vez que a maior parte dos investimentos em material rodante (locomotivas, vagões, TUE, VLT, limpa-trilhos e equipamentos de manutenção de via), realizados nas últimas décadas, está seguindo as especificações dessa bitola, especialmente no caso dos metrôs. Todavia, isso não significa que o material rodante em bitola *standard* seja melhor e mais barato. O quadro 3 apresenta uma pesquisa da CBTU com os valores das mais recentes aquisições de TUE e VLT realizadas por empresas governamentais, convertidos para a moeda americana, base atual. A pesquisa mostra que os preços unitários dos carros variam bastante, independentemente da bitola, que não é um fator determinante na composição de preço do material rodante. As grandes diferenças de preços são decorrentes do mercado da época da compra, da origem do fabricante, e da inflação e taxa de câmbio da moeda original para o dólar americano de hoje.

### Quadro 3

AQUISIÇÕES DE TUE E VLT FEITAS PELA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA DESDE JANEIRO DE 2004

Contratante	Utilização	Tipo	Bitola (m)	Fabricante	Data Base	Quantidade		Preço por Carro US\$ (jan/11)
						TUE	Carros	
CENTRAL	Trens Urbanos do RJ	TUE	1,600	Mitsui / Coréia	jan/04	20	80	1.440.755,09
CENTRAL	Trens Urbanos do RJ	TUE	1,600	CNR / China	jan/09	30	120	1.679.405,63
CPTM	Trens Urbanos de SP	TUE	1,600	CAF / Espanha	set/07	40	320	1.844.986,22
CBTU	Metrô de Recife	TUE	1,600	CAF / Brasil	dez/10	15	60	2.122.661,18
CONDER	Metrô de Salvador	TUE	1,435	Mitsui / Coréia	jun/05	6	24	1.785.649,67
METROFOR	Metrô de Fortaleza	TUE	1,000	Ansaldo / Itália	jul/09	20	60	2.251.591,59
CBTU	Trens Urbanos de Recife	VLT	1,000	Bom Sinal / Brasil	jul/08	21	21	2.087.094,10
CBTU	Trens Urbanos de Maceió	VLT	1,000	Bom Sinal / Brasil	nov/09	24	24	1.815.782,90

Fonte: CBTU

Cotação do dólar: R\$1,70 (05/01/11)

Na prática, os pontos importantes das especificações técnicas que influenciam no preço do material rodante são os seguintes: dimensões do veículo, estrutura do veículo, tipo de aço da caixa, portas e janelas, cabine, sistema de tração e configuração da motorização dos carros, climatização, sonorização, radiocomunicação, truques, sistemas pneumáticos, tipo de engate, isolamento térmico e acústico, controle automático do trem, taxas de aceleração e desaceleração, forma de energização do trem, sobressalentes, acabamento interior e identidade visual. O tamanho da bitola é praticamente irrelevante na composição do preço do TUE ou VLT, ainda mais que as dimensões dos veículos são muito semelhantes, conforme mostrado anteriormente no quadro 2.

Do ponto de vista econômico, a escolha da bitola deve seguir um critério que visa balancear os custos de construção da via e o desempenho operacional dos trens, dadas as características físicas da linha férrea em estudo.

Nas ferrovias de carga, os custos de construção favorecem a adoção de bitolas estreitas, especialmente a bitola métrica. Quanto menor a distância entre os trilhos, menores os custos de construção da via, por causa do menor volume de lastro, do menor tamanho dos dormentes e da menor largura das pontes e viadutos. Os aterros e cortes também são menores, o que reduz a quantidade de terra movimentada. A menor distância entre os trilhos permite ainda que sejam construídas curvas mais acentuadas, o que, por sua vez, contribui para diminuir o tamanho dos aterros e cortes. Portanto, quanto mais inclinado o terreno através do qual a ferrovia é construída, maiores os custos relativos da bitola larga. O desempenho operacional, por outro lado, favorece bitolas mais largas, que permitem maior estabilidade lateral aos trens e maior volume de carga por vagão. Maior estabilidade lateral permite aos trens desenvolver maiores velocidades, principalmente em segmentos em curva, e reduz o risco de tombamento dos vagões. As ferrovias construídas em terrenos planos adotaram, em geral, bitolas largas. Na Argentina, as ferrovias construídas na região dos pampas, cujas inclinações são mínimas, adotaram a bitola larga, enquanto as ferrovias no nordeste do país, com terrenos mais acidentados, elegeram a bitola métrica. Dos países andinos, somente



o Chile adotou a bitola larga, em uma parte de sua rede. Todos os demais elegeram as estreitas. No Brasil, onde existe uma cadeia de montanhas, desde o nordeste até o sul, próxima ao litoral e que avança em alguns pontos até o interior, a bitola mais comum é a métrica. Outros exemplos de regiões montanhosas com ferrovias em bitola estreita são Japão, Taiwan e o norte da Espanha.

A diferença entre os custos de construção de ferrovias de bitola larga ou estreita em regiões montanhosas é significativa. Mas a diferença entre o desempenho operacional de ferrovias de carga em diferentes bitolas é relativamente pequena. Isso porque o desempenho operacional de uma ferrovia de carga é função dos ângulos das curvas e da inclinação das vias, o que determina sua velocidade comercial; da qualidade dos trilhos, o que limita tanto a quantidade máxima de carga por vagão (peso por eixo) quanto à potência máxima das locomotivas; e da bitola de carga, isto é, a largura e a altura dos túneis e pontes. As bitolas estreitas são um limitante para ferrovias de passageiros de altas velocidades, pois nesse caso a estabilidade lateral dos trens é muito importante.

Nas ferrovias suburbanas e metrô, elevados, enterrados ou de superfície, existe também diferenças de custos de construção entre as linhas em bitola métrica e bitola larga, notadamente nas obras civis. Por outro lado, as diferenças entre as linhas em bitola larga e bitola *standard* não são tão significativas quanto o caso anterior, visto que a diferença entre as duas bitolas é de apenas 16,5 cm. Certamente, o aumento de custos de construção da mudança de uma linha em bitola *standard* para bitola larga não é diretamente proporcional ao aumento percentual de 11,5% do aumento da bitola, ainda mais que foi mostrado anteriormente que os custos do material rodante são equivalentes e as seções dos túneis praticamente não se alteram. Haverá pouquíssimas alterações na infraestrutura e superestrutura ferroviária para a construção de uma linha de metrô enterrado em bitola larga ou *standard*.

#### **4. A ESCOLHA DA BITOLA**

Como já foi colocado no início desta nota técnica, a escolha da bitola da primeira via férrea comercial interurbana do mundo ocorreu em 1830 e não teve origem em estudos engenharia ou de economia dos transportes. Simplesmente, foi adotada como bitola a distância mais comum encontrada entre as rodas das carruagens, diligências e carroções ingleses, que mediam 1,435 m. Em seguida, surgiram outras medidas de bitola e a discussão em torno desse tema tornou-se acirrada no início da década de 1840, pois a extensão ferroviária explodira e, como era inevitável, surgiram os problemas de tráfego mútuo, decorrentes das quebras de bitola. Começou, então, a época alcunhada de *Battle of the Gauges* (batalha das bitolas), por volta de 1845, quando foi criada a *Government Gauge Commissioners* (comissão governamental para as bitolas).

No Brasil, já ocorreu essa batalha e, de certa forma, ainda ocorre uma grande discussão sobre a bitola mais conveniente para as linhas de carga. Por exemplo, as linhas remanescentes da antiga Leopoldina, em bitola métrica, agonizam por impossibilidade de intercâmbio de tráfego com regiões das quais dependem os fluxos que nela se originam ou que a demandam, pela quebra de bitola. Agora, surge uma nova discussão no âmbito dos metrô do Rio e de São Paulo, cujas novas linhas estão sendo concebidas em bitola *standard*, enquanto as suas primeiras linhas foram construídas em bitola larga.

Na verdade, os metrô carioca e paulistano jamais poderão discutir a unificação das bitolas pela bitola *standard*, visto que isso seria inviável economicamente e de difícil execução operacional. No caso do metrô do Rio, onde ainda há tempo para uma discussão sobre a bitola mais adequada para a Linha 4, deve-se analisar a possibilidade de unificação de toda a rede para a bitola larga, de 1,600 m, ou de construção dessa nova linha na bitola *standard*.

O Metrô de São Paulo esclareceu, em nota oficial em seu site, que seus trens foram concebidos originalmente com bitola larga de 1,600 m por ser tradição das ferrovias brasileiras e essa decisão direcionou a implantação das três linhas iniciais, a Linha 1-Azul, a Linha 3-Vermelha e a Linha 2-Verde. As interligações entre essas três linhas cumpriram um papel estratégico na construção do metrô, por etapas, das linhas 2 e 3, apoiadas pelo pátio de manutenção e estacionamento de trens da Linha 1-Azul, em Jabaquara. Tendo em vista o crescimento da malha metroviária na capital paulista, a construção da Linha 4-Amarela foi projetada para ser implantada de uma única vez, com frota de trens e pátio próprios, em bitola *standard*, com o propósito de ser operada por terceiros, como já ocorre no Metrô do Rio. A proposta de autonomia operacional da Linha 4 não invalida sua grande integração com o transporte público existente, já que se conectará diretamente com as linhas 1, 2 e 3 do Metrô e com toda a malha de trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).

Segundo o Metrô de SP, a escolha da bitola *standard* foi amparada em várias vantagens de natureza construtiva e operacional, como a construção de túneis de menores dimensões, com redução de custos de escavação, sem perda de espaço para todos os sistemas e equipamentos necessários a uma operação eficiente, que seguiram uma tendência consagrada em nível internacional. O Metrô de SP partiu da premissa que grande parte dos sistemas de transporte sobre trilhos em todo o mundo, especialmente os metrô, adotaram a bitola *standard*, considerando o maior desenvolvimento tecnológico nela concentrado e a conseqüente economia de escala na produção, que permite a diminuição nos valores de aquisição dos equipamentos, bem como menor tempo para o recebimento das encomendas e, ainda, possibilidades maiores de escolha entre os fornecedores do mercado mundial. O Metrô de SP afirma que todas as vantagens da bitola *standard* foram avaliadas e aprovadas por ocasião do trecho inicial da Linha 5-Lilás, construído pela CPTM e operado pelo Metrô, desde 2002. O Metrô de SP também se baseou no fato que 2/3



dos metrôes no mundo utilizam a bitola *standard* e, dessa forma, sua escolha de bitola está comprovadamente acertada.

Cabe ressaltar que não há registro de estudos comprobatórios da tese defendida pelo Metrô de SP quanto à escolha da bitola *standard*, principalmente em relação aos custos de construção mais baixos, em comparação com a bitola larga.

Vale lembrar que há um mito no setor metroferroviário que existe material rodante em bitola *standard* “de prateleira”, ou seja, pronto para fornecimento pelos maiores fabricantes do planeta. O termo “de prateleira” é apenas uma forma figurativa de se dizer que os fabricantes já possuem projetos prontos e peças de reposição em estoque, para pronto fornecimento. Não é verdade. Mesmo em bitola *standard*, cada projeto de material rodante tem especificações próprias, com características construtivas exclusivas e exigências de desempenho diferentes. Cada caso é um caso. Qualquer fabricante de material rodante metroferroviário demora, no mínimo, 15 meses para entregar o primeiro trem, independentemente da bitola.

A experiência brasileira recente comprova essa tese de que não existe material rodante *standard* “de prateleira”, em função dos cronogramas de entrega dos trens adquiridos para os metrôes de Salvador e São Paulo, que são semelhantes aos cronogramas às aquisições dos trens em bitola larga de 1,600 m, feitas pela CBTU, para o metrô de Recife, e pela CENTRAL, para o subúrbio do Rio de Janeiro.

Na prática do mercado, não resta a menor dúvida que os materiais rodantes em bitola *standard* são os mais encomendados no mundo, atualmente, mas todos os fabricantes aceitam normalmente pedidos de materiais rodantes em bitolas métrica e larga de 1,600 m.

## **5. CONCLUSÕES**

Para a escolha da bitola mais adequada para a Linha 4 do Metrô do Rio, deve-se conhecer o traçado definitivo e as estações de transferência, além da definição se haverá ou não compartilhamento de linhas. Em alguns cenários de traçado propostos ao Governo do Estado do Rio de Janeiro, há previsão de compartilhamento entre as Linhas 1 e 4, situação que inviabiliza operacionalmente a quebra de bitola, ou seja, implantação da bitola *standard* na Linha 4 e manutenção da bitola larga na Linha 1. Nesses cenários, a unificação de bitola é a solução óbvia, ou seja, a Linha 4 deve ser construída em bitola larga brasileira, para que seja mantida a mesma bitola da Linha 1.

Em outros cenários de traçado apresentados, as Linhas 1 e 4 são independentes. Nesses cenários, a escolha da bitola da Linha 4 deve seguir critérios econômicos ou operacionais. No caso da Linha 4 independente da Linha 1, a

conexão entre ambas as linhas ocorreria em uma determinada estação de transferência e a escolha da sua bitola poderia recair sobre qualquer uma das duas em questão. Entretanto, com base numa visão sistêmica e integrada para o Metrô do Rio, em que pese a divisão gerencial e operacional atualmente definida, com duas concessionárias distintas, a bitola larga de 1,600 m parece ser a mais adequada para a Linha 4, para que haja a unificação de bitola, também nesse caso. Essa escolha é a mais conveniente em termos operacionais e econômicos, pois permite que seja deixado aberto um canal de comunicação entre as duas concessionárias, para possíveis parcerias nos investimentos em oficinas de manutenção, equipamentos de oficina para reparo de rodaios, máquinas de manutenção da via permanente, como socadoras, niveladoras e alinhadoras, bem como para empréstimos de material rodante ou consórcios para aquisição de novos trens, com maior poder de barganha no mercado. A unificação de bitola deve ser vista como uma grande vantagem competitiva para as concessionárias de ambas as linhas, pois produzirá grandes benefícios operacionais para os usuários do Metrô do Rio.

A presente nota técnica também permite a conclusão de que a bitola não é um elemento determinante para a definição do traçado e das características construtivas de uma linha de metrô. Além disso, os elementos aqui apresentados servem para demonstrar que é equivocada a afirmação de que existe material rodante “de prateleira” e mais barato, além da idéia de que os custos de construção em bitola *standard* são significativamente menores do que em bitola larga de 1,600 m.

Em última análise, diante dos argumentos técnicos, econômicos e operacionais apresentados na presente nota técnica, pode-se concluir que a bitola mais adequada para a Linha 4 é a bitola larga brasileira, para os dois cenários possíveis, com a Linha 4 independente ou com o compartilhamento entre as Linhas 1 e 4.

## 6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D. Bitola métrica ou larga: um estudo do ponto de vista econômico das ferrovias. **Centro-Oeste**, São Paulo, n° 15, abril-maio 1986. Disponível em: <http://vfco.brazilia.jor.br/ferrovias/bitolas/15bitMetricaOuLarga.htm>. Acesso em: 10 dez. 2010.

ARAÚJO, D. O caso das ferrovias da Inglaterra. **Centro-Oeste**, São Paulo, n° 65, abril 1992. Disponível em: <http://vfco.brazilia.jor.br/ferrovias/bitolas/15bit.htm>. Acesso em: 10 dez. 2010.

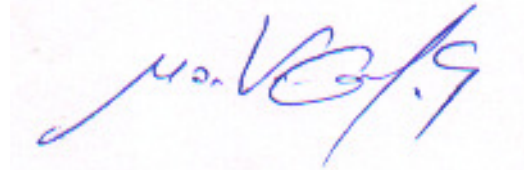
LACERDA, S. M. *Ferrovias Sul-Americanas: a integração possível*. **Revista do BNDES**, v.16, n.31, p. 185-214, Jun: 2009.

QUINTELLA CURY, M. V. Notas de aula da disciplina Sistemas Ferroviários do Mestrado em Engenharia de Transportes. **Instituto Militar de Engenharia - IME**, 2010.

CBTU, Relatórios técnicos dos Departamentos de Engenharia e de Material Rodante da Diretoria Técnica. **Companhia Brasileira de Trens Urbanos**, 2010.

METRÔ-SP, Informações retiradas do site oficial, na seção de notícias. **Companhia do Metropolitano de São Paulo**. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2010.

Rio de Janeiro, 05 de janeiro de 2011



**Marcus Vinicius Quintella Cury**

Engenheiro Civil CREA-RJ nº 50.622-D

Mestre em Transportes pelo IME

Doutor em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ