

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

**Operações ferroviárias tipo push-pull aplicadas a serviços de trens
metropolitanos no Brasil**

Victor de Almeida e Silva

INTRODUÇÃO

Este trabalho é um resumo sobre uma nota técnica publicada na Revista Ferroviária em maio de 2015 e em seguida desenvolvido em um trabalho de conclusão de curso de Eng. Mecânica, sendo concluído em dezembro de 2016.

No trabalho foi realizado o cálculo da capacidade de transporte do ramal de Vila Inhomirim da SUPERVIA e verificou-se se a operação push-pull aumentaria esta capacidade.

A partir do cálculo da capacidade, avaliou-se a redução do investimento previsto para esse aumento, utilizando-se de outros tipos de material rodante.

O detalhamento das tarefas necessárias à implantação da operação push-pull e seus respectivos custos, feitos no trabalho original, foram omitidos nesse artigo, e a apresentação dos cálculos feitos no estudo de caso apresentada de forma sucinta de forma a permitir uma maior objetividade, exigida pelo padrão do congresso. Assim este artigo concentra-se na apresentação do problema e dos resultados obtidos.

O que é o trem push-pull?

O trem push-pull é uma solução intermediária entre um trem puxado por uma locomotiva e um trem unidade, opera basicamente de 2 formas:

- Usando uma locomotiva para puxar o trem e um carro com uma duplicata dos controles da locomotiva é usado quando a máquina empurra o trem;
- Com locomotivas em ambas as extremidades do trem.

A principal vantagem do sistema push-pull é o baixo custo de implantação devido a simplicidade do material rodante e equipamentos auxiliares, pois utiliza as mesmas locomotivas que o transporte de carga e os mesmos carros de passageiros do transporte tradicional, com mínimas alterações (GRACE, 2016). Os diagramas básicos de operação de um trem push-pull pode ser visto na figura 1:

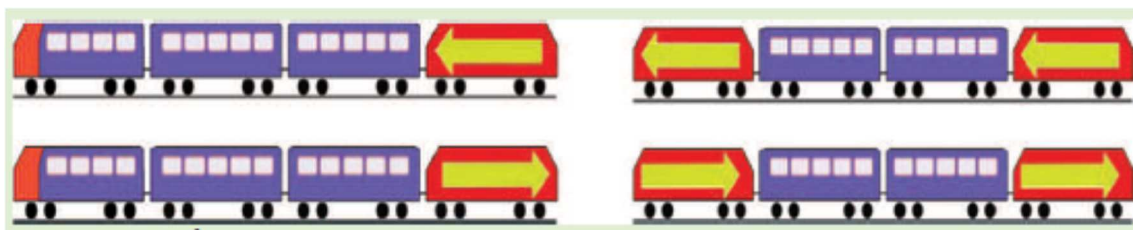


Figura 1 – Diagrama com os modos de básicos de operação push-pull, à esquerda, exemplo com apenas uma locomotiva; à direita, com locomotivas nas extremidades. Fonte: O autor.

Essa configuração significa que a locomotiva nunca precisa ser desacoplada do trem e garante tempos de retorno rápido nas estações terminais da linha, o que é especialmente interessante para trens de subúrbio.

No Reino Unido e em alguns outros países da Europa, os EUA e o Canadá, por motivos históricos e razões econômicas, são grandes operadores de trens com configuração push-pull. No Brasil esse tipo de operação quase não é utilizado.

No Reino Unido e em alguns outros países da Europa, o carro de controle é conhecido como um Trailer Condução, Driving ou Van Trailer (TVP), onde não há alojamento de passageiros; nos EUA e no Canadá, eles são chamados de cab cars.

Em baixas velocidades, alguns trens push-pull são operados com maquinistas apenas em uma locomotiva na traseira do trem, sem o uso de carros de controle. Essas composições são particularmente utilizadas em ferrovias de montanha, pois evita o acidente de um vagão se desprender da composição, como no trecho de cremalheira da MRS em São Paulo (BUZELIM et al, 2002).

Trens modernos usam sistemas de controle sofisticados, como o positive train control - PTC, para permitir o controle remoto total de locomotivas. No entanto, a operação push-pull ainda requer considerável cuidado para garantir que uma falha no sistema de controle não ponha em perigo os passageiros e também para garantir que, em caso de um descarrilamento, a locomotiva não empurre um trem descarrilhado em um obstáculo agravando o acidente (WEIKEL, 2005). É recomendável que a parte frontal do trem seja mais pesada e resistente, oferecendo proteção aos passageiros em caso de colisão. Um exemplo interessante desta prática de segurança são os Cabbage da Amtrak: São velhas locomotivas modelo EMD F40 convertidas em carros de controle, sem motores de tração, e com o alojamento do motor diesel convertido em espaço para bagagem, uma solução de baixo custo, que pode ser visto na figura 2:



Figura 2 – Cabbage ou NPCU - Non-powered Control Units (WEIKEL, 2005).

Duas locomotivas ou auxílio de cauda

Alternativamente, um trem de push-pull, especialmente longo, pode ter uma locomotiva em ambas as extremidades, de modo que existe sempre uma locomotiva empurrando e outra puxando o trem, esta configuração também serve para diminuir a ação do “efeito corda”.

Neste caso, o cuidado deve ser usado para certificar-se de que as duas locomotivas não colocarão muito esforço sobre os carros, para evitar o fenômeno de flutuação das rodas e por consequência causar um descarrilamento. Quando essa configuração é usada na

América do Norte, apenas uma locomotiva fornece energia elétrica para os carros rebocados, normalmente a locomotiva empurradora (sistema HEP: fornecimento de energia elétrica para o aquecimento, ar condicionado e iluminação) o que diminui sua potência disponível para tração e assim evita a flutuação dos carros. Esta formação de duas

locomotivas é utilizada nos trens multinível Corredor Nordeste da linha da Nova Jersey Transit nos EUA.

Essa forma de operação não é necessariamente adotada em função do comprimento do trem; às vezes é a maneira mais conveniente para configurar a operação push-pull evitando os riscos de ter um carro mais leve cheio de passageiros na frente do trem e sem a necessidade de dispor de um equipamento dedicado para essa função como o Cabbage (WEIKEL, 2005).

Locomotiva no meio e tração distribuída

As ferrovias utilizavam muito essa configuração quando os elos mecânicos usados para o controle não eram capazes de uma operação confiável para um número maior de carros ou vagões acoplados (GRACE, 2016). Onde considerações operacionais ou economia exigirem, os trens podem ter locomotivas controladas remotamente a partir da locomotiva principal uma forma bastante comum desse tipo de operação com trens de carga é o sistema LOCOTROL® da GE (GE TRANSPORTATION, 2016). As ferrovias suíças ainda utilizam este tipo de arranjo para ajustar o tamanho do trem a uma taxa de ocupação ótima, retirando ou inserindo conjuntos de locomotivas e vagões conforme a demanda.

No Brasil existem poucos exemplos normalmente em trens de serviços como exemplo: a SUPERVIA que usa locomotivas em cada extremidade do trem para evitar problemas de frenagem com seus vagões e para facilitar manobras, as concessionárias de carga para transportes especiais.

Foram poucas aplicações para trens de passageiros no Brasil, uma delas é nos trens de subúrbio de Salvador-BA onde até a década de 1980 usavam locomotivas elétricas nas extremidades de carros de passageiros adaptados com cabos de MU e posteriormente carros motores substituirão estas locomotivas. A operação nesse caso parece ter persistido devido a impossibilidade de adquirir ou modernizar o material rodante (GORNI, 2003), pois somente em 2014 os carros motores e reboques foram reconstruídos e utilizados como base para fabricação de TUEs, sendo complementados ainda por TUEs de bitola métrica da CPTM repassados a CTS.

A Fepasa teve pelo ao menos duas operações push-pull: O Trem Inter Metropolitano - TIM na baixada santista e o subúrbio de Bauru-SP, ambos utilizavam carros reaproveitados e locomotivas velhas, diesel no caso de Santos e elétrica em Bauru. Em Bauru se adotou a estratégia de uso de locomotivas em ambas as extremidades do trem e carros de passageiros longa distância, o de Santos usava carros de TUEs Toshiba desativados e adaptados e estratégia de carro controle. Ambos não perduraram após privatização e extinção dos serviços de passageiros fora das capitais (BELLORIO 2013). O TIM, mostrado na figura 3, mais de uma década depois foi substituído pelo projeto do VLT da baixada santista.



Figura 3 – Cabine de controle dos carros de passageiros usados no TIM (BELLORIO, 1993).

DIAGNÓSTICO

Ao contrário dos EUA, no Brasil os sistemas de trens metropolitanos apoiam sua expansão primeiramente em duplicação, eletrificação e uso de vias exclusivas para os trens de passageiros. O jeito brasileiro é tecnicamente melhor, pois aumenta a capacidade de transporte, mas é mais caro o que atrasa sua execução e muitas vezes resulta a inviabilidade do projeto.

O Brasil sofreu e ainda sofre um sucateamento acentuado de suas ferrovias, se no exterior as ferrovias também encolheram sua participação na matriz de transportes, lá o papel social e sua importância econômica foram reconhecidas pelos governos que em geral garantiram os investimentos minimamente necessários para que o atendimento das demandas por trens de parte de suas populações, os EUA e o Canadá levaram a questão tão a sério que mesmo possuindo economias mais liberais do que na Europa criaram várias empresas estatais para garantir a manutenção de serviços de transportes públicos, especialmente serviços ferroviários (VIA, 2016).

A não utilização da tração de trens push-pull em larga escala no Brasil tem mais a ver com paradigmas gerenciais e questões de ordem política na organização do tráfego ferroviário, do que com problemas técnicos ou limitações operacionais.

O problema básico no Brasil é que se admite que regiões fiquem sem nenhum serviço de transporte ferroviário, ou até de qualquer outro serviço de transporte público, até que seja feita uma obra de implantação de um trem metropolitano de grande porte, ao invés de utilizar expedientes de menor custo para manter um serviço de capacidade intermediária até que se possa realizar a obra definitiva. Essa opção cria um paradoxo onde há um contínuo de “não atendimento” das demandas de transportes devido à falta de recursos necessários para a realização dos investimentos, quando os recursos finalmente são obtidos,

as necessidades já se alteraram, criando um círculo vicioso de estagnação representado graficamente como a “espiral da morte” (Almeida, 2011), mostrada na figura 4:



Figura 4 – A “Espiral da morte”, aplicada aos ciclos de estagnação em projetos de transporte público. Fonte: Própria.

Exemplos da opção pela supressão não faltam, o Metrô de Belo Horizonte que cessou os serviços de subúrbio de bitola métrica e até hoje não cobriu toda a extensão servida pelos velhos trens (GORNI 2003), a linha da Trensurb em Porto Alegre, que só chegou recentemente a extensão original da linha pré-eletrificação, a linha 2 do Metrô do Rio de Janeiro que levou mais de 20 anos para substituir mesmo que parcialmente a estrada de ferro Rio D'Ouro, etc.

Comparação entre trens push-pull, trens unidades e VLT

As demandas de passageiros para um determinado trecho podem ser atendidas de diversas formas pela mesma ferrovia, para isso é necessário definir qual material rodante se encaixa melhor no perfil da infraestrutura disponível e na demanda que se pretende atender.

Os principais tipos de composições ferroviárias são classificados conforme seu porte, sendo os de maior capacidade os trens maiores (mais pesados) e os trens menores (mais leves) sendo os de menor capacidade. Além do porte da composição o outro fator que determina qual é a capacidade de uma ferrovia é a frequência de operação, definida pelo intervalo mínimo entre trens, sendo esta diretamente proporcional a agilidade da composição e a facilidade de manobra, sendo que trens menores (mais leves) costumam ser mais ágeis que trens maiores.

Os principais tipos de trens são os trens convencionais e push-pull, os trens unidade e automotriz (metrô), e os VLTs (bondes), sendo os primeiros mais pesados que os últimos.

Os VLTs são mais indicados para linhas leves e onde há muita interferência urbana principalmente com uso de faixa de domínio não segregada para trens. Os VLTs podem se adaptar às vias singelas, mas sua capacidade em termos de número de passageiros por viagem é menor que a de trens convencionais, também possuem a velocidade máxima menor. Sistemas de via singela possuem naturalmente intervalos maiores, anulando as vantagens de maior agilidade das composições leves, o que aumenta a necessidade de aumentar o número de passageiros por viagem favorecendo o uso de trens mais pesados.

Os trens-unidade são mais adequados a sistemas metropolitanos de alta demanda com faixas exclusivas e intervalos curtos, apesar de terem boa flexibilidade para atendimento a demanda, necessitam de taxas de ocupação altas para operar sem déficit, devido ao custo operacional elevado e de grande investimento inicial, justamente pela necessidade de trilhos exclusivos sem interferência de qualquer outro tipo de trem.

Apesar de TUs e VLTs possuírem a capacidade de tração múltipla, são compostos por um número pré-determinado de carros, ao contrário de trens convencionais e push-pull onde o número de carros pode ser exatamente o necessário para o número de passageiros. Um resumo das áreas ideais de atuação de cada tipo de trem é apresentado na tabela 1:

Tabela 1– Aplicações típicas para os principais tipos de composições ferroviárias de passageiros. Adaptado de VAZ et al (2014), observando-se as práticas de operação adotadas pelas concessionárias de transporte ferroviário de passageiros no Brasil.

Tipo de trem	Monotrilho	VLT	Metrô	Trem de subúrbio
Uso	Urbano	Urbano	Urbano	Interurbano
Via	Totalmente segregada	Mista	Totalmente segregada	Segregada
Tração	Elétrica	Diesel/elétrico	Elétrica	Diesel/elétrico
Velocidade Média (Km/h)	35	35	40	60
Velocidade Máxima (km/h)	80	80	80	120
Espaçamento máximo entre estações (km)	1,5	1	1,5	5
Espaçamento mínimo entre estações (km)	0,5	0,3	0,7	1
Capacidade mínima (mil passageiros/h por sentido)	12	2	15	15
Capacidade máxima (Mil passageiros/h por sentido)	30	25	80	80
Custo máximo de aquisição do material rodante (US\$ milhões)	6	5	5	3
Custo mínimo de aquisição do material rodante (US\$ milhões)	2	2	2	1
Custo mínimo de infraestrutura (US\$ milhões/km)	40	13	45	5

Custo máximo de infraestrutura (US\$ milhões/km)	100	40	350	25
Vida útil média do material rodante (anos)	20	30	30	30

Os trens push-pull são indicados para linhas com elevada demanda, que não seriam atendidas satisfatoriamente pelo VLT, em que há limitações de investimento em infraestrutura seja por questões financeiras ou por questões de direitos de passagem e compartilhamento de via, ou até mesmo devido a flexibilidade de demanda. Exatamente a maioria dos casos nas ferrovias brasileiras. O VLT normalmente é recomendado para pequenos trechos urbanos (linhas com menos de 60 km), pois têm baixa capacidade de ocupação, e onde há necessidade de compartilhar parte do espaço com ônibus e automóveis. (PASTORI, 2007), como pode ser visto na figura 4:

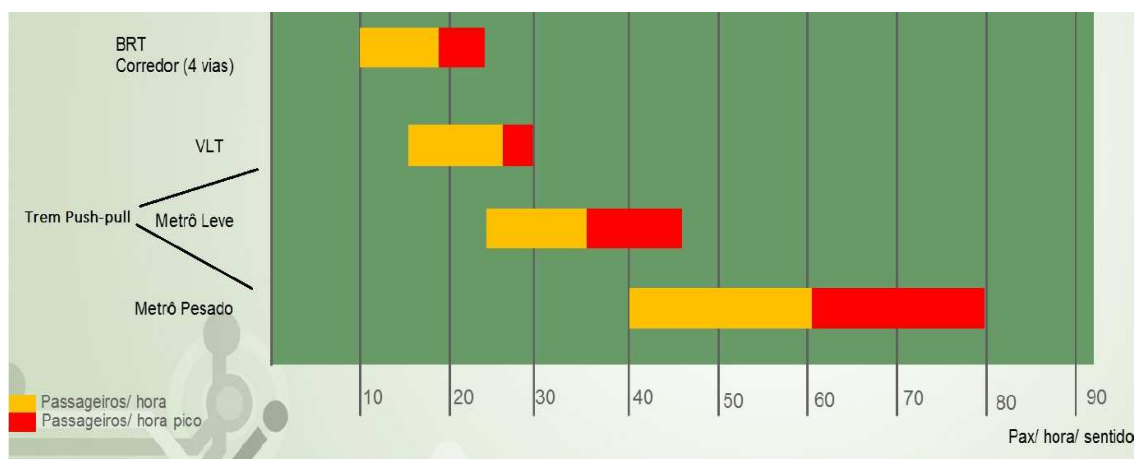


Figura 4 – Capacidades típicas para os principais tipos de composições ferroviárias de passageiros e de BRTs. Fonte: Adaptado de ANPTRLHOS (2013) considerando a faixa de operação permitida para um trem push-pull.

Demanda, oportunidades e implantação.

Não faltam possibilidade de emprego imediato na nossa realidade, seja em novos serviços ou melhoria dos existentes. O Brasil transportou em trens e metrô 2,6 bilhões passageiros em 2012. Esse total representa um crescimento de 8% em relação ao ano de 2011. A previsão é de um crescimento constante de 10% ao ano, porém o crescimento da malha ferroviária de passageiros não acompanhou o crescimento da demanda. O aumento inexpressivo da rede foi de apenas 3,2% em 2012, em comparação com 2011 (ANPTRLHOS, 2013).

Das linhas em operação temos os vários sistemas da CBTU no Nordeste, e a SUPERVIA onde há tração a diesel nas linhas de bitola métrica, que têm intervalos entre trens muito mais altos do que o demandado. Ambas se beneficiariam já que poderiam baixar os intervalos dos trens aumentando o número de viagens por dia com a mesma composição, reduzindo os tempos das manobras de reversão nas extremidades das linhas. A implantação também seria facilitada pois já possuem suas locomotivas adaptadas para comandar carros de passageiro, bastaria a montagem de uma cabine de comando nos carros em uso ou aquisição de carros comando.

A CBTU, que mostrava seu direcionamento para a aquisição de VLTs, parece ter reconsiderado a estratégia devido à recente compra de novas locomotivas (CBTU 2014) para as linhas de maior percurso onde a velocidade final dos trens ou a demanda pontual podem ser mais altas do que as alcançadas pelo VLT. Os sistemas de trens de Maceió e Natal, por exemplo, continuam operando uma composição convencional juntamente com os VLTs.

Uma das grandes discussões em relação a expansão de serviços de passageiros é o compartilhamento de linha de trens de carga e uso de ramais desativados para reduzir o custeio e o investimento necessários a implantação de trens de passageiros. Projetos de trens regionais devem demandar um baixo nível de investimento em material rodante, haja vista que boa parte da via permanente já existe, e carece de poucos investimentos para recuperação ou retificação do leito, substituição de trilhos e dormentes, sinalização, reforma de estações etc.

O uso de linha originalmente desenhada para cargas implica em problemas para a implantação da infraestrutura necessária a sistemas metropolitanos tradicionais, principalmente quando a linha está ativa para trens cargueiros. A disputa entre CPTM com MRS e ALL pela passagem em São Paulo é talvez o maior exemplo disso e não é o único (CFN x CBTU, CFN x Metrô Teresina, SUPERVIA contra MRS).

Mesmo nos EUA, a operação compartilhada é problemática e fonte de constantes atrasos nos trens da AMTRAK. As ferrovias cargueiras são as donas da via permanente e deixam janelas de horários estreitas para a passagem dos trens de passageiros, normalmente o trem de passageiros ao se atrasar perde a primeira janela perdendo a prioridade de uso da via para um trem de carga, gerando um atraso ainda maior que causa a perda de outras janelas de circulação, causando um atraso em cascata.

É uma questão sem solução imediata, um inconveniente calculado e aceito já que os sistemas que usam via compartilhada têm demanda menor que os sistemas metropolitanos principais e esses atrasos costumam ser compensados com uso de maior velocidade nos trens de passageiros em relação aos de carga nos trechos onde as janelas de circulação

permitem e com o uso de folgas operacionais nos intervalos previstos para os trens de passageiros de forma a permitir que o amortecimento dos atrasos evite a propagação em cadeia. Mesmo com esses problemas, os passageiros continuam a utilizar os trens que ainda assim são relativamente rápidos, baratos e confiáveis em relação a outros modais.

No caso brasileiro deve-se ressaltar que muitas das linhas a terem uso compartilhado são subutilizadas pelas operadoras de carga, ao contrário do que acontece nos EUA, diminuindo o impasse gerado pelo compartilhamento de vias, tornando as usuárias da linha parceiras ao invés de rivais, pois podem melhorar a relação custo de manutenção / taxa de utilização.

Também deve-se ressaltar que o fato de já haver em vários pontos do país essas operações interferentes, significando que as técnicas e soluções para os conflitos já foram desenvolvidas, por exemplo o metrô de Teresina no Piauí usa majoritariamente linhas onde passam trens de carga da Transnordestina Logística e no Rio de Janeiro a MRS e a SUPERVIA, que durante anos tiveram um cruzamento de trens metropolitanos sobre uma rota crítica da MRS, operam sem registros de maiores problemas com trens da MRS cruzando com os da SUPERVIA no ramal de Belford Roxo, para acessar o porto do Rio e outros clientes ao longo do ramal.

O uso das linhas onde há tráfego de cargas, com baixa densidade em conjunto com trens de passageiros push-pull é a maior oportunidade de implantação de trens de passageiros existente no Brasil.

Com a adequada regulamentação, as operadoras de cargas não devem se opor à implantação dos trens de passageiros. As operadoras de carga podem ser colateralmente beneficiadas por ter uma operadora de passageiros como parceira, tal como já ocorre com a

15

Rumo (antiga ALL) e a Serra Verde Express no Paraná. Uma forma de incentivar o apoio das concessionárias seria o operador do trem de passageiros pagar a recuperação inicial da via permanente, isso eleva os custos de implantação, mas não tanto quanto construir uma faixa de domínio do zero.

Nos dois exemplos acima para os trens de passageiros trafegarem com segurança e rapidez será necessário reformar toda a via permanente, para a MRS na baixada fluminense se esse custo inicial fosse bancado por um terceiro seria bom pois ela poderia aumentar a tonelagem e a velocidade de seus trens resolvendo alguns problemas de segurança patrimonial existentes hoje no trecho, o mesmo vale para a linha entre Campinas a Jundiaí que voltando a ser dupla ajudaria a concessionária com a congestionada travessia da região metropolitana de São Paulo.

Mesmo que a negociação para uso de trecho compartilhados seja difícil ou infrutífera pode se buscar a implementação em trechos desativados. Atualmente não faltam trechos com potencial para transporte de passageiros sem utilização. Trechos com essas características como o anel ferroviário em torno da Baía de Guanabara no RJ, Ambaí-Saracuruna-Itaboraí (terminal da futura linha 3 do metrô RJ), em Macaé em opção ao VLT e em Campos, ou em Minas Gerais na área metropolitana de Belo Horizonte.

A questão nesse caso é que seria necessário recuperar a faixa de domínio e a superestrutura da ferrovia aumentando o custo de implantação, mas esse aumento não é tão alto, cerca de 20% menor em relação a um trecho novo, devido aos custos de desapropriação mais baixos, aproveitamento de aterros cortes, bueiros e outros elementos da infraestrutura civil (BNDES 2011) e a natureza da operação push-pull, pelo ao menos a princípio, mais simples.

Custos e material rodante disponível

Atualmente no mercado brasileiro há oportunidade de formar várias composições push-pull a um preço baixo comparado a aquisição de outros tipos de trem novos, os custos típicos de aquisição, observando-se as compras feitas no estado do Rio de Janeiro são mostrados na tabela 2:

Tabela 2– Custo típico de aquisição de material rodante para trens de passageiros. Fonte: Alouche (2007), adaptado, observando-se as aquisições de material rodante feitas no Rio de Janeiro e em São Paulo na última década.

Custos típicos de aquisição			
Material rodante	Custo unitário (R\$ milhões)	Custo por carro (R\$ milhões)	Custo por passageiro (R\$ mil)
Push-pull, adaptado	1,6	0,4	1,14
Push-pull, novo	18,4	4,6	61,3
TUE, novo	15	3,85	15
VLT, novo	7,5	3,75	18,75

A SUPERVIA (GERJ, 2015) e a CPTM (FILHO; MACHADO 2015) são as duas maiores operadoras de trens de subúrbio do Brasil e passam por um processo de renovação de suas frotas, retirando de circulação vários TUEs em condições de uso (RF, 2009), existem também cerca de 393 locomotivas; 4.353 vagões encostados pela RFFSA (BERTA, 2016), alguns dos quais em condições de serem recuperados (AUGUSTO, 2012), ao mesmo tempo concessionárias de carga, devido a modernização de suas frotas, estão retirando de circulação grande quantidade de locomotivas diesel de 1ª e 2ª geração ou relegando-as a serviços secundários. Um exemplo são as locomotivas modelo G12 da VL, originalmente utilizadas para transporte de cargas. Após serem reformadas pela Locofer, foram operar na

SUPERVIA transportando passageiros nos ramais de Vila Inhomirim e Guapimirim. As locomotivas modelos U23C, SD38 e SD18 da MRS podem acabar seguindo o mesmo caminho, além da possibilidade de adquirir boas locomotivas usadas no exterior. Também deve-se levar em conta que embora o preço apresentado na tabela para uma unidade push-pull pareça próximo ao de um TUE, ao contrário do TUE, o trem push-pull com uma locomotiva diesel não necessitará de infraestrutura nova dedicada ao seu tráfego como sistemas eletrificados com rede-aérea e sinalização diferenciada de trens de carga.

Deve-se levar em conta que além dos custos de adaptação da locomotiva, os custos de reforma e adaptação para a formação do trem, dependem muito do estado de conservação de todo o material rodante que se pretende utilizar e também do nível de conforto e automação pretendido na operação.

O custo de repasse de um TUE desativado, mas ainda em condições de uso e de uma locomotiva ainda em condições operacionais é bem menor que a aquisição de um equipamento novo. No leilão de trens desativados da SUPERVIA organizado pelo GERJ era possível adquirir um carro de TUE de aço inox recém desativado por cerca de R\$ 11 mil. (LOTTI, 2016).

Assim pode-se considerar a utilização dos materiais ainda em boas condições disponíveis tanto nas operadoras de carga como de passageiros.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para fins de estimativa de custo e avaliação da viabilidade técnica, foi utilizado como referência o emprego de composições tipo push-pull no ramal de Vila Inhomirim na SUPERVIA. Considerando os ganhos de capacidade que seriam atingidos pela adoção de trens push-pull no ramal, chega-se à conclusão de que é mais vantajosa a substituição das composições em operação ao invés da adaptação dos trens já em circulação no ramal. Assim deve-se proceder a avaliação da viabilidade técnica da conversão das unidades que substituirão os trens em circulação.

Nesta análise foi descartada a alternativa de comprar trens push-pull novos, devido ao custo de aquisição da ordem de R\$ 4,6 milhões por carro (VALE, 2014). A ordem de grandeza desse custo, superior ao da aquisição de trens-unidade, mais adequados a serviços a curta distância e de maior frequência do que carros de passageiros, juntamente com a disponibilidade de equipamentos usados no mercado nacional de material rodante, faz com que seja mais conveniente utilizar como base trens-unidades desativados pela menor quantidade de intervenções a serem realizadas sobre o material rodante.

Tendo como base o equipamento adequado, o processo de conversão de um TUE fora de atividade para uma unidade push-pull é simples. As principais ações para a adaptação seriam:

- Localização de trens desativados, mas ainda em condições de serem rebocados e de uma locomotiva;

- Adaptação de um dos carros do TUE para a operar rebocados (Remoção de equipamentos de tração);
- Instalação no carro controle de um controlador para permitir o comando da locomotiva; comando compatível com as locomotivas diesel, padrão AAR 27 pinos (Railway technical web pages, 2016).
- Revisão geral dos componentes mecânicos e elétricos dos trens, em especial do sistema de freios;

Para a situação do ramal de Vila Inhomirim, de bitola métrica, onde, a princípio, os trens a serem adaptados a operação push-pull poderiam ser oriundos de trechos de bitola larga ainda há a necessidade do rebitolamento, que restringe as opções de aquisição de material rodante e eleva os custos de adaptação.

O ramal atende a um número limitado de passageiros, em função da baixa velocidade operacional que é em média de 21 km/h, inferior à média de 40km/h dos demais ramais da SUPERVIA, e do intervalo entre composições que varia entre 34 a 113 min. (SUPERVIA 2016).

A capacidade máxima ainda é limitada pelo fato de que a maior parte das viagens feitas no ramal se destina ao transporte dos passageiros entre a região atendida e o município do Rio de Janeiro (GERJ, 2014), para que este transporte seja feito é necessária a baldeação dos passageiros do ramal de Vila Inhomirim para os trens do ramal de Saracuruna, que também possuem intervalos de no mínimo 20 min (SUPERVIA 2016).

A utilização atual do ramal de Vila Inhomirim é de 1560 passageiros / h sendo que com a melhora nos serviços oferecidos há um potencial para atender uma demanda reprimida, que

pode chegar a 10,6 mil passageiros / h (GERJ, 2014). A taxa de crescimento anual estimada é de 1,64% ao ano levando-se em conta apenas o crescimento vegetativo da população atendida pelo ramal, ignorando-se a questão da demanda reprimida (CARVALHO, 2013).

O ramal de Vila Inhomirim, possui uma janela de operação de 19h15, o tempo de viagem entre Saracuruna e Vila Inhomirim é de 45min.

Os trens são do tipo convencional. As locomotivas após o término da viagem desengatam do trem e são manobradas em um desvio, através do qual se posicionam na outra extremidade do trem e são novamente engatadas.

A manobra de reversão é executada com o apoio de um funcionário dedicado a essa função e, leva no mínimo 7min. Durante a manobra de reversão, nas estações terminais do ramal, também é realizado o embarque e desembarque de passageiros e se aguarda o licenciamento do trem.

A via do ramal é singela (há apenas uma via para o tráfego do trem em ambos os sentidos) e permite o cruzamento dos trens em Piabetá e Imbariê, não permitindo cruzamentos de trens com passageiros nas estações terminais.

São operadas três composições dedicadas ao ramal, cada composição é formada por uma locomotiva com três carros de passageiro com capacidade de 200 passageiros por carro (GORNÍ, 2005).

Cálculo de capacidade teórica máxima

A capacidade teórica é o número de trens que trafegam em uma rota, em um determinado período de tempo definido, em condições ideais, caracterizado por um cenário virtual em que os trens apresentam movimento constante com headway mínimo entre eles.

O número máximo de viagens possíveis em cada sentido pode ser dado em função de uma simplificação da fórmula de Colson (BRINA, 1988), que descreve a capacidade máxima de uma ferrovia em via singela:

$$n = k \frac{1440 - Tvp}{Te + Ti + Tl}$$

Onde:

n: capacidade em pares trens/dia

K: fator de eficiência operacional (%)

tvp: tempo médio diário de manutenção da via permanente (minutos)

te: tempo de viagem entre os dois pátios de cruzamento sentido exportação (minutos)

ti: tempo de viagem entre os dois pátios de cruzamento sentido importação (minutos)

tl: tempo de cruzamento entre trens (minutos)

A diferença entre o tempo total disponível em um dia e o Tvp corresponde a janela de operação (J), ou seja, o tempo disponível para o tráfego de trens.

A soma($Te + Ti + Tl$), corresponde ao tempo de ciclo de uma composição, que será calculado adiante.

O fator k , é diferença entre a capacidade máxima e a capacidade prática, que é o limite de número de trens que podem se movimentar na linha ferroviária com certo nível de confiabilidade. A capacidade prática é dada por fatores físicos e operacionais, que afetam tanto a operação convencional quanto a push-pull e que, portanto, pode ser desprezado para a comparação entre os dois modelos de operação.

Com os dados apresentados anteriormente podemos calcular o intervalo mínimo entre trens, headway. Entre os trens em um determinado sentido, utilizando-se da metodologia de cálculo do tempo do ciclo de carregamento, o intervalo mínimo pode ser calculado segundo a equação abaixo com as variáveis oferecidas na tabela 3 (Oliveira G. D. 2006):

$$I_c = \frac{(2xT_p + 2xT_r)}{N_c}, I_c = \frac{(2x45) + (2x7)}{3}, I_c = 34,66 \text{ min}$$

Tabela 3 – Variáveis utilizadas no cálculo de headway. Fonte: Própria.

	Variável	Prática operacional atual da SUPERVIA
I	Intervalo entre trens convencionais	34
I_c	Intervalo mínimo ótimo entre trens convencionais	A calcular
I_p	Intervalo mínimo ótimo entre trens push-pull	A calcular
T_p	Tempo gasto no percurso	45 min
T_r	Tempo mínimo necessário para a reversão do trem convencional	7 min
T_l	Tempo mínimo necessário para a reversão do trem push-pull	1,53 min
N_c	Número de composições utilizadas no trecho.	3

O menor intervalo praticado no ramal, é de 34min, podemos inferir dessa forma que a SUPERVIA consegue operar os trens do ramal sem perdas nos cruzamentos ao longo do trecho, ou seja $T_l = 0$.

Com uma operação push-pull o procedimento da manobra de reversão seria eliminado, reduzindo o tempo do trem parado no terminal para 1,53min, já considerado o tempo necessário para o deslocamento do maquinista entre as cabines de comando, o licenciamento e o embarque e desembarque de passageiros (TIMOTEO et al, 2011), então o intervalo mínimo estimado seria:

$$I_p = \frac{(2xT_p + 2xT_l)}{N_c}, I_p = \frac{(2x45) + (2x1,53)}{3}, I_p = 31\text{min}$$

A janela de operação no ramal de Vila Inhomirim é de 19,25 horas (SUPERVIA 2016), de tal forma que se aplicando a fórmula de Colson simplificada a capacidade máxima no ramal é:

$$n = \frac{J}{I'}, n = \frac{19,25 \times 60 \text{min}}{34 \text{min}}, n = 33$$

Onde n é o número máximo de viagens por dia, J é tempo da janela de operação disponível.

A quantidade máxima possível de viagens por dia é de 33 viagens em cada sentido, com a configuração atual, correspondendo a uma capacidade em passageiros / dia / sentido (P_t) que é dada pela multiplicação da capacidade máxima de um trem pelo número de viagens (Oliveira G. D. 2006):

$$P_t = Cc \times n, P_t = 600 \times 33, P_t = \frac{19.800 \frac{\text{passageiros}}{\text{dia}}}{\text{sentido}}$$

Deve-se observar que a capacidade máxima calcula para a configuração atual do ramal é de 33 viagens/sentido/dia e que a prática operacional da SUPERVIA é de 17 viagens/sentido/dia.

Para a comparação entre a diferença da capacidade máxima com a operação push-pull e a operação convencional, embora a diferença entre os intervalos I e I_p pareça ser pequena, com a adoção de trens tipo push-pull passaríamos a ter a seguinte quantidade máxima de viagens por dia (n_p):

$$n_p = \frac{I}{I_p}, n_p = \frac{19,25 \times 60 \text{min}}{31 \text{min}}, n_p = 37$$

Ou seja, 37 viagens em cada sentido por dia. Estas 4 viagens a mais por dia correspondem a um aumento de oferta de capacidade (Δ_1), calculado pela equação:

$$\Delta_1 = \frac{(n_p - n)}{n} \times 100\%, \Delta_1 = \frac{37 - 33}{33} \times 100\%, \Delta_1 = 12,12\%$$

O aumento de capacidade descrito acima corresponde apenas os ganhos obtidos pela adoção da técnica de operação push-pull com a adaptação do material rodante já empregado no ramal. Os 12,12% obtidos correspondem a absorção do crescimento vegetativo da demanda de cerca de 7 anos, considerando-se um aumento linear (CAMPOS, 2013).

Porém cabe observar que a operação push-pull abre outras possibilidades de ganhos de capacidade, com melhor aproveitamento da infraestrutura existente. Considerando-se que sem a necessidade da manobra reversão, o espaço nas plataformas de embarque utilizado pela locomotiva pode ser ocupado por carros de passageiros adicionais, então há também um aumento da quantidade de passageiros por viagem.

A adoção de carros adicionais também aumentaria a eficiência na conversão do trem convencional para push-pull, pois ao invés de reformar os carros reboque em operação, com a construção de uma cabine de comando, pode-se remanejar carros dos TUEs recentemente baixados pela SUPERVIA para este serviço, realizando-se apenas o rebitolamento dos mesmos e a demais tarefas relacionadas a conversão. O gabarito da via no ramal de vila Inhomirim permite a utilização de carros de bitola larga, já foram empregados carros de bitola larga no ramal da década de 1980 até o início dos anos 2000. Estes carros possuem capacidade entre 218 e 246 passageiros (GORNI, 2005). Para efeito de cálculo de capacidade, será utilizada a média entre as capacidades dos trens, que é de 224 passageiros / carro. Aproveitando-se dessas características a formação do trem passaria a ser como a informada na tabela 4:

Tabela 4 – Comparação de capacidade entre o trem push-pull, com alongamento, e os trens em operação. Fonte: Própria.

	Número de carros por trem	Passageiros por carro	Capacidade total por trem
Trem em operação no ramal	3	200	600
Trem push-pull com carros adicionais	4	224	896

Nesse caso além do aumento de oferta pela diminuição dos intervalos nos trens também teríamos o aumento de oferta pelo aumento da capacidade de cada trem (Δ_2), que seria dado pela equação abaixo utilizando-se das variáveis apresentadas na tabela 4, da seguinte forma:

$$\Delta_2 = \frac{C_p - C_c}{C_c} \times 100\%, \Delta_2 = \frac{(896 - 600)}{(600)} \times 100\%, \Delta_2 = 49,3\%$$

Tabela 5 – Variáveis para a comparação de capacidade entre o trem push-pull, com alongamento, e os trens em operação. Fonte: Própria.

Variável	Valor
Δ_1	Diferença de capacidade devido ao aumento da frequência
Δ_2	Diferença de capacidade devido ao número de carros do trem
Δ_t	Diferença de capacidade total
C_p	Número de passageiros do trem push-pull com carros adicionais (série 400)
C_c	Número de passageiros do trem convencional atualmente em operação
P_{tcp}	Capacidade máxima total para o trem push-pull (considerando alongamento e aumento de frequência), em passageiros / dia / sentido.
P_t	Capacidade máxima, em passageiros / dia / sentido.
np	Número máximo de viagens do trem push-pull.
n	Número máximo de viagens do trem convencional.

Determina-se o ganho máximo total de capacidade numa conversão simples da operação convencional para push-pull como sendo a diferença entre a capacidade máxima total da operação push-pull e a capacidade máxima total atual (P_t).

A capacidade máxima total (P_{tcp}) é dada pela combinação dos ganhos de aumento de frequência e de aumento da capacidade de cada trem. A capacidade máxima atual, foi apresentada pela anteriormente, sendo de 19.800 passageiros / dia /sentido, a capacidade máxima total pode ser calculada com a mesma equação, substituindo-se as variáveis da operação atual (n e Cc) pelas variáveis da operação push-pull (n_p e Cp), constantes na tabela 4 conforme mostrado a seguir:

$$P_{tcp} = Cp \times n_p, P_{tcp} = 896 \times 37, P_{tcp} = \frac{33.152 \frac{\text{passageiros}}{\text{dia}}}{\text{sentido}}$$

Dessa forma, de posse dos valores de P_{tcp} e de P_t , pode-se calcular o ganho máximo total de capacidade, Δ_t :

$$\Delta_t = \frac{P_{tcp} - P_t}{P_t} \times 100\%, \Delta_t = \frac{33152 - 19.800}{19.800} \times 100\%, \Delta_t = 67,43\%$$

Lembrando-se que devido as deficiências estruturais do ramal, principalmente em relação a conservação da via permanente, a capacidade máxima ainda poderia ser elevada, principalmente através da redução do tempo de ciclo, com o aumento da velocidade média.

Sendo realizadas obras civis de correção da infraestrutura da via permanente do ramal tais como reforço do lastreamento, adequação ou eliminação de passagens de nível irregulares, remoção de invasões da faixa de domínio e troca de trilhos, poderia-se adotar para o ramal de Vila Inhomirim a mesma velocidade média dos demais ramais da SUPERVIA. O tempo de viagem de um trem cairia de 45min para 28,13min, assim o número possível de viagens (n_p)

e o aumento de capacidade relacionado as melhorias na via permanente passariam a ser como descrito a seguir:

$$n_p = \frac{19,25 \times 60 \text{min}}{28,13 \text{min}}, n_p = 41,$$

$$\Delta_{vp} = \frac{(n_p - n)}{n} \times 100\%, \Delta_{vp} = \frac{41 - 33}{33} \times 100\%, \Delta_{vp} = 24,24\%$$

O aumento de capacidade (Δ_{vp}) mostrado na equação é significativo, independentemente da adoção da troca do material rodante. Porém apesar de ainda haver a necessidade de levantamento detalhado dos custos relacionados a esta melhoria, o que não faz parte do escopo deste trabalho, a estimativa é de US\$ 1,64 milhões / km (BNDES, 2011), que para o ramal de Vila Inhomirim resultaria num investimento de cerca de US\$ 25,17 milhões, valor investido superior ao da conversão do ramal em push-pull e com um aumento de capacidade menor.

Assim fica demonstrada uma necessidade de se repensar as estratégias atualmente utilizadas para a melhoria dos serviços no ramal de Vila Inhomirim, sendo que por esta avaliação deve-se priorizar os investimentos na troca do material rodante.

Investimento em push-pull comparado ao do VLT

O GERJ anunciou em 2014 que pretende modernizar as operações dos ramais de Vila Inhomirim e Guapimirim através da compra de sete trens tipo VLT com 18 carros no total no valor de US\$ 36,97 milhões, além de outros 2 trens a serem recebidos da prefeitura de

Macaé com um total de 4 carros totalizando R\$ 15 milhões (OLIVEIRA E., 2014). A

distribuição dos equipamentos seria a da tabela 6:

Tabela 6 – Principais características dos VLTs a serem comprados pelo GERJ (Modificado – Bom Sinal, 2013).

Origem	Capacidade	Número de carros	Quantidade	Custo médio por carro R\$ milhões
Novo	600	3	4	6,78
Novo	400	2	3	6,78
Macaé	400	2	2	3,75
TOTAL	4400	22	9	6,23

Para atingir com VLTs o mesmo nível de aumento do desempenho operacional que o alcançado pela adoção de uma operação push-pull, temos de modelar como seria a substituição dos atuais trens pelo VLT, a modelagem pode ser feita considerando a substituição pelo mesmo número de composições, já que o ramal possui via singela e limitações na frequência máxima de operação, devido a necessidade de cruzamento entre trens.

Assim o investimento necessário para atender com VLTs a mesma demanda suportada por trens tipo push-pull, seriam necessárias 3 composições de VLTs no ramal de Vila Inhomirim.

Os VLTs possuem a mesma capacidade de passageiros que as composições operadas atualmente e por possuírem cabines de comando em ambas as extremidades obteriam os mesmos ganhos de aumento de frequência que os da operação push-pull.

O VLT como o push-pull também se beneficiaria do aumento do espaço livre nas plataformas de embarque podendo trabalhar em tração múltipla. Numa comparação com a operação

push-pull onde se adote a estratégia de rebitolar carros de TUE, para aumentar o tamanho do trem, seria necessário que os VLTs operando na mesma frequência transportassem a mesma quantidade de passageiros por viagem que o trem push-pull, que seria de 896 passageiros:

Para tal, como a capacidade do VLT é de 200 passageiros por carro, seriam necessários no mínimo 5 carros de VLT por composição. Assim seria necessário que em cada composição de VLT operassem 2 VLTs em tração múltipla, com um VLT de 3 carros acoplado a um de 2 carros, o investimento para as três composições com essa configuração passaria a ser de R\$ 93,45 milhões; 16,42 vezes maior que o da substituição das composições em operação por trens push-pull.

Com a configuração apresentada a composição de VLT teria uma capacidade (C_v) de 1000 passageiros por viagem, ligeiramente superior a da composição push-pull, assim a capacidade total com o VLT (P_{tv}) seria de:

$$P_{tv} = C_v \times np, P_{tcp} = 1000 \times 37, P_{tcp} = \frac{37.000 \frac{\text{passageiros}}{\text{dia}}}{\text{sentido}}$$

O ganho total de capacidade máxima do VLT em relação a operação atual (Δ_v) seria de:

$$\Delta_v = \frac{37000 - 19.800}{19.800} \times 100\%, \Delta_v = 86,87\%,$$

CONCLUSÕES

Embora o ganho operacional com o VLT seja maior que com a operação push-pull, esse ganho é obtido através de um nível de investimento muito maior, mesmo levando em conta a relação entre o investimento feito pela vida útil do equipamento, considerando o uso de trens reformados, que possuem uma vida útil 40% inferior ao de trens novos (FILHO; MACHADO, 2015), a ordem de grandeza da diferença de investimentos é tal que ainda assim é vantajosa a conversão para a operação push-pull.

As taxas de juros para o investimento na modernização são de 7,5% ao ano (BNDES, 2016), de acordo com as regras do Finem - Infraestrutura Ferroviária, programa do BNDES que visa a implantação, expansão, modernização e recuperação da infraestrutura ferroviária, incluindo aquisição de equipamentos e sistemas operacionais de movimentação de carga e passageiros. Com essa taxa percebe-se que apenas os juros sobre capital aplicado na aquisição das composições de VLT em um ano seria de R\$ 7,01 milhões, 1,23 vezes o total necessário para a conversão de uma composição para push-pull.

Apresenta-se a seguir a tabela 7, com um resumo dos resultados obtidos na comparação entre a aquisição de VLTs, a conversão de TUEs para a operação push-pull e a opção pelo investimento na melhoria da via permanente ao invés da compra de material rodante novo:

Tabela 7 – Resumo dos resultados obtidos, na comparação dos investimentos em VLT, push-pull e na via permanente. Fonte: Própria..

Tipo de investimento	Atual	Push-pull	VLT	Via permanente
Número máximo de viagens por dia.	33	37	37	41
Quantidade máxima de passageiros por viagem	600	896	1.000	600
Quantidade máxima de passageiros por dia.	19.800	33.152	37.000	24.600
Ganho de capacidade máxima (%).	-	67,43	86,87	24,24
Custo total (R\$ milhões)	-	5,69	93,45	83,06
Custo relativo: $\frac{(\% \text{ de ganho})}{(\text{R\$ milhões})}$	-	11,85	0,93	0,29

Dos cálculos podemos concluir que, no caso do ramal de Vila Inhomirim, dadas as características de demanda e da condição de tráfego, através de uma linha singela que prejudica frequências altas de trens, a vantagem tende para a adoção de composições mais pesadas, tais como o push-pull, do que para um VLT, pois trens maiores podem transportar uma quantidade maior de passageiros por viagem reduzindo a necessidade de um aumento de frequência.

Mesmo que o sistema possa ser modernizado através do investimento em obras civis ao invés do investimento no material rodante propriamente dito, essa estratégia tende a demandar uma relação de investimento inicial pelo ganho operacional muito maior.

Com a atual situação econômica do GERJ com perda de arrecadação e por consequência da capacidade de investimento fica reforçada a importância de se obter soluções que demandem menor investimento inicial e máximo aproveitamento dos recursos existentes, para evitar a "espiral da morte" onde se enquadra a adoção da operação push-pull. Este momento é especialmente favorável a adoção de composições push-pull devido a modernização das frotas de trens de subúrbio citadas anteriormente, como pode-se perceber ao longo do trabalho o reaproveitamento de material rodante diminui os custos.

Caso não adotada essa estratégia, futuramente pode haver mudança deste cenário, sendo preferível o investimento na melhoria da via permanente ao invés da compra de material rodante novo. Haveria então a necessidade de novas avaliações específicas para levantamento de custos, pois também se percebe a forte influência de variáveis instáveis sobre os custos, tais como a taxa cambial do dólar.

Pode-se confirmar que a operação push-pull possui potencial para melhorar significativamente o desempenho dos sistemas de trens metropolitanos a diesel existentes no Brasil bem como também seria uma ferramenta de simplificação das operações de alguns trens. A flexibilidade de emprego deste tipo de trem, o baixo custo de implantação e a existência de material rodante disponível para aplicação tornam o uso dessa técnica recomendável nos trens de passageiros brasileiros.

A adoção de trens mais simples como os push-pull em ferrovias subutilizadas também tem benefícios pois ajuda a extrair o máximo desempenho da infraestrutura implantada, reduzindo a necessidade de investimentos e aumentando a oferta de serviços ferroviários.

Sugere-se a realização de outros trabalhos acadêmicos avaliando a aplicação de operações push-pull a outros trechos, tanto em operação tal como os operados pela CBTU no Nordeste ou em trechos sem serviço ferroviário como no entorno sul de Brasília. Também se poderia buscar avaliar mais detalhadamente as estratégias de aumento de capacidade de sistemas ferroviários em geral realizando uma comparação mais detalhada dos resultados esperados por investimentos em via permanente comparados aos investimentos em material rodante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. M. K. (2011) Engenharia Econômica e Sistema de Custos. FEG – UNESP.

Guaratinguetá-SP. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/4176283/>. Acesso set.

2016.

ALOUICHE, L. P. (2007) Corredores urbanos de transporte para altas demandas. Seminário:

Soluções Integradas de Transporte, Porto Alegre-RS. Disponível em:

[http://mail.trensurb.com.br/intranet.nsf/0/c31baf9eefcf04f503256e3e00697f0c/\\$FILE/08-](http://mail.trensurb.com.br/intranet.nsf/0/c31baf9eefcf04f503256e3e00697f0c/$FILE/08-Tend%C3%Aancias%20Tecnol%C3%B3gicas%20para%20Transp%20Urbano.pdf)

[Tend%C3%Aancias%20Tecnol%C3%B3gicas%20para%20Transp%20Urbano.pdf](http://mail.trensurb.com.br/intranet.nsf/0/c31baf9eefcf04f503256e3e00697f0c/$FILE/08-Tend%C3%Aancias%20Tecnol%C3%B3gicas%20para%20Transp%20Urbano.pdf). Acesso ago.

2016.

AUGUSTO, Leonardo: Vagões do trem que transportava passageiros de BH para o Rio estão

abandonados. O Estado de Minas, Belo Horizonte, 12 nov. 2012. Gerais. Disponível em:

[http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/11/12/interna_gerais,329144/vagoes-do-](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/11/12/interna_gerais,329144/vagoes-do-trem-que-transportava-passageiros-de-bh-para-o-rio-estao-abandonados.shtml)

[trem-que-transportava-passageiros-de-bh-para-o-rio-estao-abandonados.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/11/12/interna_gerais,329144/vagoes-do-trem-que-transportava-passageiros-de-bh-para-o-rio-estao-abandonados.shtml). Acesso mai.

2016.

ANPTRILHOS, Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos (2013).

Balanço do setor metroferroviário de passageiros 2012/2013. Disponível em:

<http://anptrilhos.org.br/wp-content/uploads/2015/03/BALANCO-20123.pdf>. Acesso em: mai. 2016.

BERTA, Ruben. Estatal dos trens teima em não parar: Litígios e inventário impedem que

RFFSA, extinta em 2007, feche as portas. O Globo, Rio de Janeiro, 15/02/2016. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/brasil/estatal-dos-trens-teima-em-nao-parar-18673831#>.

Acesso fev. 2016.

BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2016). Finem -

Infraestrutura Ferroviária: Financiamento a partir de R\$ 20 milhões para expansão e modernização da infraestrutura ferroviária do país. Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-infraestrutura-ferroviaria/>. Acesso. Out. 2016.

BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2011). Pesquisas e estudos técnicos destinados a avaliação técnica, econômico financeira e jurídico regulatória de soluções destinadas a viabilizar o sistema logístico ferroviário de cargas entre os portos no sul/sudeste do Brasil e os portos do Chile. Vol. 8. Pág. 44-45. Disponível em:

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Apoio_a_estudos_e_pesquisas/BNDES_FEP/prospeccao/chamada_corredor_arquivos.html.

Acesso em: ago. 2016.

BOM SINAL (2013). Catálogo de produtos. Disponível em:

<http://www.bomsinal.com/produtos/vlt-mobile.html>. Acesso em Abr. 2016

BUZELIM, J. E. C; COELHO, Eduardo; e SETTI, J. B. (2002). MRS Logística: A ferrovia de Minas, Rio e São Paulo. Brasil: Ed. Memória do trem, 1ª edição. pg. 29 e 71 a 74.

CAMPOS, V. B. G. (2013). Planejamento de transportes: Conceitos e Modelos. Ed. Interciência.

FILHO, E. B. R.; MACHADO, M. (2015). Renovação da frota de trens eleva padrão de conforto.

Revista Brasil Engenharia, São Paulo, nº 61, Engenharia Transporte, 2 pg. Disponível em:

http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao613/art_renovacao_613.pdf. Acesso Mai. 2016

GERJ, Governo do estado do Rio de Janeiro (2015). Estado e SUPERVIA realizam leilão de 97 vagões antigos do sistema ferroviário: O valor das vendas atingiu R\$ 1.049.350 e será repassado aos cofres públicos para melhorias no sistema. Disponível em:

<http://www.rj.gov.br/web/setrans/exibeconteudo?article-id=2534116>. Acesso em Mai. 2016.

GE TRANSPORTATION, General Electric Company (2016). LOCOTROL® Distributed Power System. Disponível em: <http://www.getransportation.com/railconnect360/locotrol-distributed-power-systems>. Acesso em fev. 2016.

GORNI, A. A. - A Eletrificação nas Ferrovias Brasileiras. Disponível em:

http://www.GORNI.eng.br/GORNI_ElectroBras_2003.pdf. Acesso em: mai. 2016.

GRACE, Chris (2016). Push-pull operation. Disponível em: <http://www.railway-technical.com/pu-pl.shtml>. Acesso em fev. 2016.

LOTTI Leilões (2016). Leilão de carros de passageiro – SUPERVIA. Disponível em: <http://www.lottileiloes.com.br/leiloes/0029-leilao-de-vagoes-SUPERVIA>. Acesso Mai. 2016.

OLIVEIRA, G. D. (2006). Planejamento operacional baseado em teoria das filas e simulação de eventos discretos, monografia engenharia de produção, 61pg. Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF. Disponível em: transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON014.pdf. Acesso em: mai. 2016.

PASTORI, Antônio (2007). As PPPs como Ferramenta para Viabilizar Projetos de Infraestrutura de Transporte de Passageiros sobre Trilhos, Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 14, N. 28, P. 93-120, dezembro. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2803.pdf. Acesso Mai. 2016.

RF, Revista Ferroviária. Frota de TUEs ultrapassa 4300 carros, pg. 44-49. São Paulo-SP. Agosto / Setembro 2016.

SUPERVIA, Concessionária de Transportes Ferroviários S./A. (2016). Disponível em: <http://www.SUPERVIA.com.br/>. Acesso mai. 2016.

VALE, Cia. Vale do Rio Doce (2014). Notícias da Imprensa: Vale compra trens de passageiros por US\$ 135 milhões. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/vale-investe-mais-de-us-80-milhoes-para-renovar-frota-do-trem-de-passageiros-da-efvm.aspx>. Acesso ago. 2016.

VIA, Rail Canada Inc. Our Company: VIA Rail an astounding history (2016). Disponível em: <http://www.viarail.ca/en/about-via-rail/our-company/our-history/via-rail-astounding-history>. Acesso jul. 2016.

WEIKEL, Dan. Pushed as Safe as Pulled: The differences are so small, researchers say, that expensive new measures or banning rear-engine passenger trains aren't justified. Los Angeles Times, Los Angeles EUA, 15/06/2005. Disponível em: <http://articles.latimes.com/2005/jul/15/local/me-railstudy15>. Acesso em mai. 2016.