

CATEGORIA 3

NOVA CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA EM REGIÃO DE MANOBRAS E ESTACIONAMENTOS DE TRENS PARA O METRÔ-SP

INTRODUÇÃO

A implantação de empreendimentos metroferroviários depende da elaboração de soluções geométricas do traçado das novas linhas. Por meio do projeto geométrico são consolidadas as posições de estações, pátios e unidades conectadas pelos trilhos da via permanente. É por ele que são viabilizados os métodos construtivos, as manobras de linha, as estratégias operacionais e o atendimento ao *headway* de projeto da linha. Esta atividade tem grande interação com as diversas áreas relacionadas ao projeto do empreendimento, uma vez que a definição da via permanente, como o próprio nome sugere, não deverá sofrer alterações, motivo pelo qual as diversas disciplinas, tais como projeto arquitetônico, método construtivo, estruturas, sinalização, estratégias operacionais, manutenção de via, etc, mantém estreita relação com a Coordenação de Projetos de Via Permanente.

A necessidade de Aparelhos de Mudança de Via (AMV)

Todo este potencial de entrega do projeto geométrico depende da conjugação dos AMVs, que são as peças essenciais para compor as manobras ferroviárias e garantir a

flexibilidade ao fluxo dos trens nos sentidos de deslocamento. Entretanto, a disposição dos AMVs na via possui algumas restrições, das quais destacam-se, por sua relevância, as questões geométricas. Isto se justifica pelo fato de ser necessário garantir que o contato da roda do trem com os trilhos da via seja feito com segurança contra descarrilamento. Em decorrência disto, seguem-se restrições de velocidade de tráfego quando da passagem sobre os aparelhos, assim como limites de raio vertical para instalação. Além disto, por questões de mercado e normatização, a geometria destes aparelhos segue um padrão, que teoricamente pode ser conformada sobre o traçado atendendo suas particularidades, inclusive quando estas impõem complexas variações de inflexão, como é o caso das curvas de transição superelevadas. Aparelhos aplicados nestas condições tem, por conseguinte, alterações na sua curvatura padrão pois são dobrados sobre a via em curva, o que repercute tanto no eixo do desvio quanto no eixo da via principal, gerando o que comumente é denominado em projeto como AMV especial, ou seja, aquele aparelho que possui uma geometria singular em toda a linha, pois apesar de manter sua abertura padrão, suas curvaturas foram alteradas para uma atender uma posição única no traçado. Os AMVs podem ser dobrados com os centros da via principal e do desvio com os centros para o mesmo lado, ou com os centros posicionados em lados opostos. No primeiro caso o AMV é denominado como interno e no segundo caso como externo.

Isto se dá normalmente por diretrizes de projeto que primam pela maior flexibilidade de manobras da linha, possibilitando o posicionamento de AMVs em qualquer lugar do traçado, respeitado os limites de raio vertical e de sinalização. Se por um lado a flexibilidade é uma vantagem, a complexidade geométrica que este tipo de aparelho

traz consigo diversas desvantagens. É louvável o exercício matemático para a solução de AMVs em curvas superelevadas, pois é complexo e exige profundo domínio do assunto. Contudo, quando é instalado em uma curva um AMV externo, haverá na via do desvio uma marcha desfavorável devido a curva reversa consequente e, no caso de vias superelevadas, um prejuízo adicional devido a superelevação que será negativa, o que segue como um ponto de atenção para o tráfego de trens (KRAUS, 1975). A instalação de AMV em curva, caso não seja perfeitamente executada, quer seja por equívocos de cálculo quer seja por problemas de locação, potencializa os riscos de patologias nos trilhos e fixações. Outra questão a ser verificada é em relação ao estoque de sobressalentes, que no caso de um AMV especial, devido às suas características personalizadas, sempre terá uma demanda específica por aparelho instalado, o que aumenta o número de peças de reposição e área de armazenamento, aumentando assim os custos de logística.

Diante disto, o projeto do Metrô de São Paulo, desde a década de 90 vem adotando em seus novos traçados, a instalação de AMVs com curvaturas padrão, ou seja, projetados em via reta. Esta nova postura trouxe consigo o desafio de continuar garantindo a flexibilidade necessária à operação, protagonizada até então pelos aparelhos especiais.

DIAGNÓSTICO

CONFIGURAÇÕES GEOMÉTRICAS DE AMVs

Ora, a utilização de AMVs na ferrovia desenhou configurações geométricas que se tornaram consagradas nos projetos de via permanente por incorporarem flexibilidade, economia e racionalidade na viabilidade de manobras tão necessárias ao tráfego de trens. Como exemplo, podem-se citar os travessões simples e universal, conforme as Figura 1 e Figura 2, cuja função é possibilitar a movimentação dos trens entre vias com ligação retilínea entre AMVs em vias paralelas (Duarte 1983).

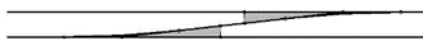


Figura 1 - Travessão simples

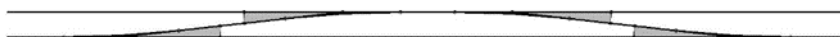


Figura 2- Travessão Universal

Tais arranjos atendem a necessidades operacionais e estratégicas, quando alinhadas com a sinalização de via e corpo técnico operacional, a fim de cumprirem os requisitos de *headway*.

Os maiores gargalos neste quesito ocorrem nas estações de final de linha, nos acessos aos estacionamentos intermediários de via e pátios. Estes últimos com uma complicação maior do que os situados no meio de linha. Nestas regiões as manobras são feitas com

maior frequência e a configuração dos AMVs é determinante para um resultado adequado.

Considerando a determinação de utilização de AMVs padrão, adotada pela equipe de projeto do Metrô, houve a princípio uma maior restrição quanto ao desenho e disposição de AMVs, pois estas peças agora deveriam ser cuidadosamente posicionadas, buscando tangentes oportunas, e por vezes raras, para se acomodarem. Curiosamente, este fato incentivou novas soluções, que foram desenvolvidas com certa criatividade, proporcionando novos arranjos, como nos pátios de estacionamento e manutenção. Foi o caso, por exemplo do Pátio Vila Sônia, da Linha 4 – Amarela (no ano de 2001), cuja configuração limitada do terreno disponível resultou em um arranjo de vias na forma de um “cachimbo”. Na época do projeto, a demanda de operação automática dos trens solicitou como requisito uma via de automação, a qual serviria para a entrega e recebimento de trens entre a manutenção e a operação. Para resolver as manobras em espaço tão reduzido, introduziu-se pela primeira vez no Metrô a utilização de cruzamentos como mostra a **Figura 3** - Utilização de cruzamentos na entrada do Pátio Vila Sônia da Linha 4-Amarela.

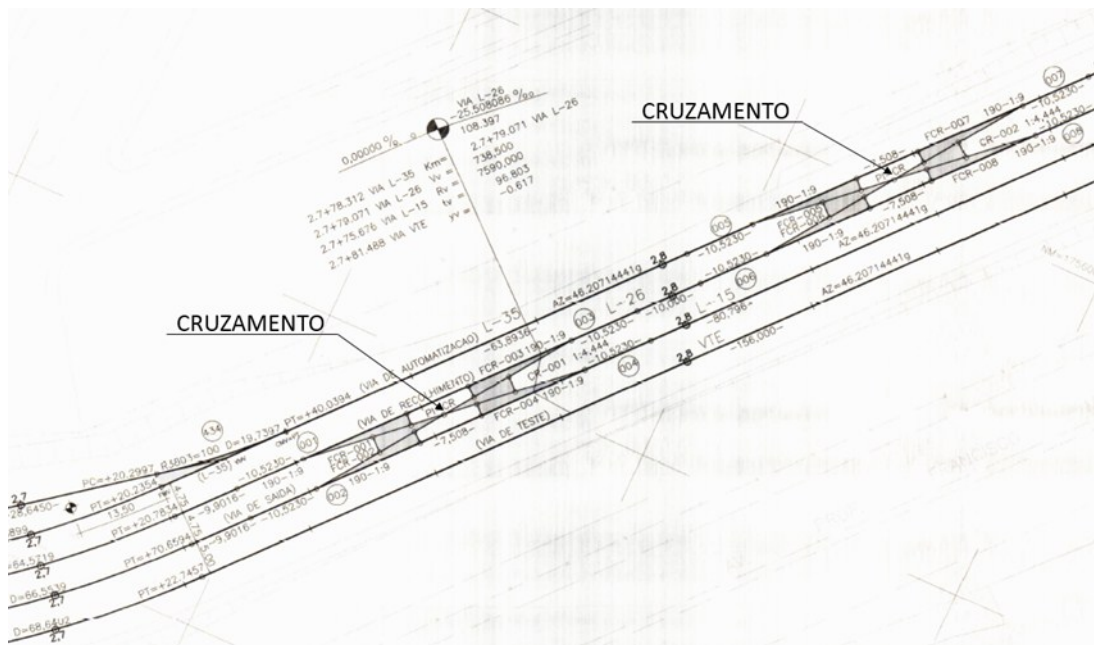


Figura 3 - Utilização de cruzamentos na entrada do Pátio Vila Sônia da Linha 4-Amarela.

Eles foram dispostos ligando as vias de acesso às duas vias de feixes de estacionamento e uma via do feixe de manutenção, esta última, denominada via de automação. Outra utilização de cruzamentos foi adotada na entrada do Pátio Tamanduateí da Linha 2 – Verde (no ano de 2006). Na ocasião do projeto foram feitas várias tentativas de posicionamento ao longo da Avenida Presidente Wilson, das quais o projeto se valeu de diversos esquemas de vias para conter as mínimas distâncias necessárias para estacionamentos e valas de manutenção. Entretanto, para fazer frente a limitada distância entre o acesso e o Viaduto Grande São Paulo, posição final, lançou-se mão novamente de cruzamentos, os quais pouparam cerca de 120m de extensão de linhas, quando comparado ao travessão universal.

Desta forma, novos arranjos vêm sendo introduzidos, mitigando impactos econômicos ainda cedo no projeto.

O ESTACIONAMENTO RAPADURA

A expansão da Linha 2 - Verde, a partir da Estação Vila Prudente, progrediu em direção a Guarulhos, atual projeto executivo. O projeto funcional identificou inicialmente a necessidade de estacionamentos estratégicos ao longo da via, de maneira a permitir a injeção de trens nos períodos de pico, bem como o seu recolhimento nos horários de vale, de forma agilizada e estratégica. Assim sendo, o traçado originalmente concebido pelo projeto funcional locou um estacionamento para quatro trens, na região próxima à estação Guilherme Giorgi, conforme pode-se observar na Figura 4 - Plano de Vias Esquemático¹.

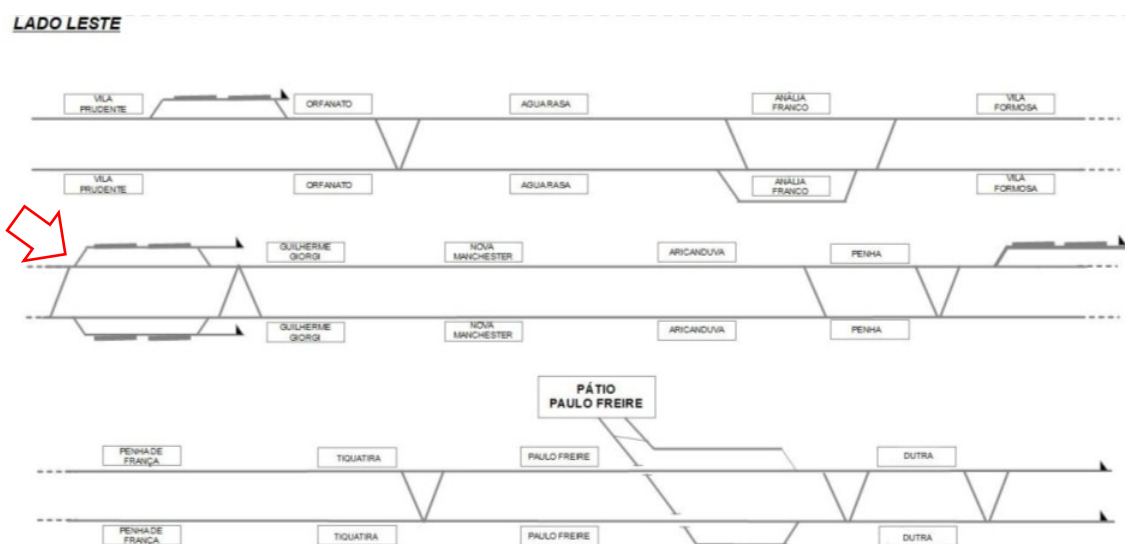


Figura 4 - Plano de Vias Esquemático

1 Relatório do Projeto Funcional RT-15.00.00.00/OV5-003 – Rev.0, de 09/12/2011

O estacionamento foi chamado inicialmente de Zodíaco, em referência a Rua Zodíaco e do Córrego Rapadura, ambos ao lado do local proposto, mas a posição geográfica situa-se na Praça Mauro Broco, no bairro Jd. Têxtil São Paulo. Por fim, ficou batizado como Rapadura, fazendo menção ao córrego marginal. O local que abriga atualmente a Escola de Futebol Oficial do Clube da Comunidade Jardim Têxtil, possui dois campos de futebol com um talude em uma das laterais, conforme pode-se observar na Figura 5- Sítio da Vala do Estacionamento Rapadura. Cabe ressaltar que está previsto em projeto a devolução da área com os campos de futebol à comunidade no final da obra.



Figura 5- Sítio da Vala do Estacionamento Rapadura

A locação de uma vala para execução do estacionamento pareceu ser vantajosa considerando as dimensões disponíveis. Mas esta condição foi frustrada pelo posicionamento em relação ao traçado geométrico da via, uma vez que este atravessa

diagonalmente a região, com sobreposição ao traçado de aproximadamente 75m apenas, tendo assim o mínimo de aproveitamento da área, como pode-se observar na Figura 6 - Primeira versão do Projeto Funcional para o estacionamento Rapadura, que reflete a condição do traçado em relação ao terreno. A posição das vias não permitia que o método construtivo fosse uma vala centralizada e longitudinal aos campos de futebol, como era a intenção dos proponentes, uma vez que para estacionar dois trens, na ocasião de projeto, seriam necessários cerca de 330m. Uma possível solução seria a execução de dois túneis em NATM laterais ao túnel do *Shield*, entretanto, para o alargamento dos NATMs seria necessário a execução de um poço na zona dos AMVs. Como esta condição se repetia em ambos os lados, logo seriam necessários dois poços visando o ataque dos túneis, considerando inicialmente um pilar de 2m de solo entre eles. Esta condição tinha diversas desvantagens, pois demandava maior desapropriação, os quais após a obra redundariam em áreas remanescentes deixando marcas no tecido urbano por um motivo transitório. Outra questão problemática é a conexão com o greide da via principal pelas duas cabeceiras, o que na prática resultaria em um estacionamento com inclinação acentuada em condições não recomendadas para tal.



Figura 6 - Primeira versão do Projeto Funcional para o estacionamento Rapadura

A condição geométrica do traçado também comprometia a locação dos AMVs, uma vez que curvas em ambas as extremidades reduziam a extensão útil para estacionamento, considerando que os aparelhos de acesso ao estacionamento deveriam ser colocados em tangente, em consonância com a premissa adotada pelo Metrô. Para contornar esta questão, tentou-se verificar qual a dimensão máxima útil possível na condição de inserção dos AMVs na tangente disponível. Conforme a Figura 7- Estudo da mínima vala possível para o primeiro estudo do estacionamento, pode-se verificar que este tipo de solução seria uma vala, com a maior dimensão de 280m, entretanto resultando em apenas duas vagas de estacionamento de trens, reduzindo em 50% a oferta requerida pelo projeto funcional. Soma-se a isso a questão do greide, que para atender um patamar sem inclinação indicado para estacionamentos, implica em dificuldades para drenagem das vias. Por outro lado, a inclinação mínima admissível, poderia aumentar a

profundidade da Estação Vila Formosa. Além disto, conforme Kraus (1975), a configuração proposta exigiria a instalação de AMVs de segurança em ambas cabeceiras, instalados antes das entradas das vias secundárias para impedir que trens ali estacionados, que porventura tenham falha nos freios, adentrem a via principal em movimentos de flanco.

Sendo também inviável a mudança de locação das estações Vila Formosa e Guilherme Giorgi, com o objetivo de sanar o prejuízo da redução de vagas para estacionamento, o que sucederia uma vala ainda maior, fazia-se necessária uma solução alternativa a proposta.



Figura 7- Estudo da mínima vala possível para o primeiro estudo do estacionamento
Uma nova configuração geométrica de manobra

A esse ponto no projeto, tendo tais condições de contorno tão limitadas, propôs-se, inicialmente, a configuração de quatro travessões posicionados externamente à via principal, restritos a área da vala projetada nos limites do terreno, fazendo conexões com as vias de estacionamento em túneis distintos, (Figura 8 - Registro do esboço da

primeira proposta para solução da vala do então estacionamento Zodíaco feito em 05/01/2012). Como vantagem, a proposta oferecia a possibilidade de ampliação das vagas de estacionamento, com uma melhor flexibilização na operação das rotas de inserção e retirada de trens da via principal.

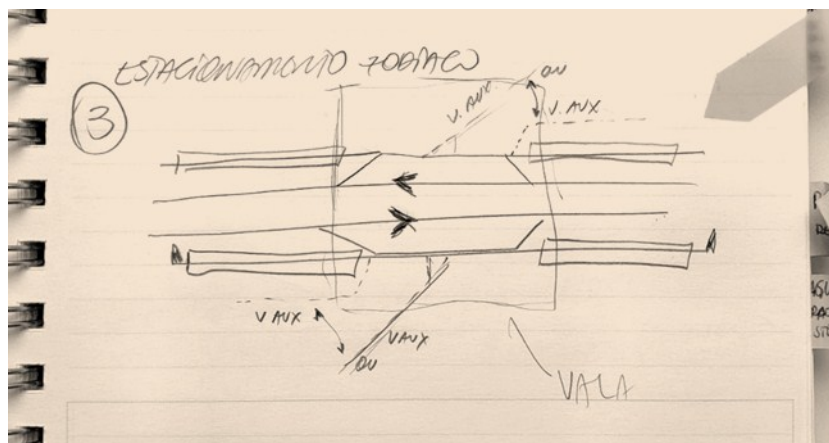


Figura 8 - Registro do esboço da primeira proposta para solução da vala do então estacionamento Zodíaco feito em 05/01/2012

Contudo, tal configuração ainda solicitava uma extensão de 162,5m, projetando-se sobre a rua Zodíaco, atravessando o córrego do Rapadura e afetando também os confrontantes da Rua Antônio Carlos Martins, como pode-se observar na Figura 9 - Proposta de solução da vala com travessões, o que apresenta ainda uma oportunidade de melhoria. Mas esta nova abordagem trouxe luz para o desenho do que se tornou um arranjo inédito no traçado do Metrô de São Paulo. A sequência dos estudos se valeu dos aprendizados adquiridos ao longo dos diversos projetos que a equipe da via permanente pode executar, consolidando numa composição enxuta em termos de ocupação para execução, flexível para todas as manobras operacionais, ao passo que generosa na oferta de vagas, em comparação ao que fora idealizado.



Figura 9 - Proposta de solução da vala com travessões

Da combinação de cruzamentos, fruto das experiências recentes daqueles adotados nas vias secundárias do Pátio Vila Sônia e do Tamanduateí, considerando a utilização da limitada área imposta pela posição das vias em relação aos terrenos disponíveis, como evolução da proposta inicial, foram adicionados dois cruzamentos aos travessões, conferindo uma menor dimensão de ocupação da vala. **(Figura 10- Solução Rapadura - com cruzamentos mais travessões e túneis NATM via singela).**



Figura 10- Solução Rapadura - com cruzamentos mais travessões e túneis NATM via singela

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta configuração se mostrou adequada para exequibilidade da obra. Vencendo a questão de área para desapropriação, a vala pode ser locada na região dos campos de futebol, resolvendo o impasse para a implantação de estacionamentos, oferecendo 8 vagas, 4 a mais que propostos no projeto funcional, posicionadas em túneis independentes, considerando inclusive pela quantidade oferecida, que uma vaga venha a ser reversível para acomodação de veículos auxiliares. A área para execução da vala no sítio ficou em 4.800m², liberando dos 15.158m² de desapropriação cerca de 8.000m² úteis para serem canteiro de obras.

Pela independência das vias, foi possível manter os estacionamentos sem inclinação longitudinal, contribuindo para escoamento de águas, uma vez que os túneis em NATM para via singela permitem uma acomodação da canaleta lateral de drenagem no seu invert.

Outra questão que, devido ao arranjo e condição em sítio foi favorável, se refere às rotas de fuga, pelo fato de os túneis terem sido conectados em suas extremidades, ao Norte com a estação Guilherme Giorgi e ao Sul com as via principais, por meio de escadas.

Com a evolução do projeto para atender necessidades logísticas de deslocamento das equipes de manutenção, a vala de escavação para acomodação desta nova disposição geométrica do Estacionamento Rapadura, propiciou também a acomodação de uma base de manutenção nos níveis acima da via, configurando desta forma um benefício adicional.

Como resultados desta solução geométrica da via permanente verificou-se: redução no impacto da obra na região; diminuição no número de desapropriações; diminuição no risco de escavação pela concentração em uma única vala; aumento no número de vagas de estacionamento, totalizando a capacidade para 8 trens; facilidade para atuação nos AMV em caso de falha, uma vez que estes se encontram reunidos em um mesmo ambiente; facilidade de acesso pela conexão feita junto a estação Guilherme Giorgi, configurando uma rota segura para operação; maior flexibilidade na movimentação dos trens na região, pois foram ofertadas manobras adicionais e independentes para cada trem.

Como resultados desta solução geométrica da via permanente verificou-se:

- a. redução no impacto da obra na região;
- b. diminuição no número de desapropriações;
- c. diminuição no risco de escavação pela concentração em uma única vala;
- d. aumento no número de vagas de estacionamento, totalizando a capacidade para 8 trens; facilidade para atuação nos AMV em caso de falha, uma vez que estes se encontram reunidos em um mesmo ambiente;
- e. facilidade de acesso pela conexão feita junto a estação Guilherme Giorgi, configurando uma rota segura para operação;
- f. maior flexibilidade na movimentação dos trens na região, pois foram ofertadas manobras adicionais e independentes para cada trem.

CONCLUSÕES

Podemos observar, pelo exposto neste trabalho, uma evolução de soluções geométricas no traçado de via permanente, promovida indiretamente pela busca de padronização nas aplicações dos AMVs no Metrô de São Paulo. Contudo, esta evolução foi construída de forma consistente, quando observamos a continuação no atendimento aos requisitos de flexibilidade no tocante à locação dos AMVs quanto as questões de manobras operacionais, com um incremento de economia, tanto nos aspectos de investimento quanto nos de manutenção.

O registro destes avanços deve ser um processo constante, não só pela importância de catalogação dos elementos criados, mas também pela adição destes conhecimentos como referência a ser usada no cotidiano do projeto geométrico.

Conforme os dados apresentados, pode-se verificar que a “Solução Rapadura” economizou 157,2m lineares de escavação de vala, comparada à vala possível de execução considerando os aspectos geométricos limitantes do traçado, com um aumento quadruplicado na oferta de estacionamentos. Além disso, registra-se a diminuição de área de desapropriação e demais consequências atreladas a ela, a adição de outros benefícios e atendimento de novas necessidades no projeto, possibilitadas de implantação no terreno devido a forma otimizada da vala pela aplicação desta nova geometria de traçado.

Estes resultados, por ficarem contidos na concepção do projeto, não são computados como economia no investimento do empreendimento e, apesar do seu relevante valor,

são no máximo tratados como boas práticas de projeto, mas que silenciosamente contribuem para a eficiência do sistema metroferroviário no seu ciclo de vida.

Inaugura-se uma nova solução para compor o conjunto histórico nos projetos de via permanente, abrindo espaço para o uso de cruzamentos fora dos pátios, o que sugere uma pesquisa para utilização destes elementos na via principal. Ademais, nos atuais projetos, bem como nos futuros, a “Solução Rapadura” poderá ser replicada, dando maior flexibilidade ao traçado geométrico considerando os benefícios aqui enunciados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUARTE, Eurico Correia. Concordâncias circulares compostas entre retas quaisquer: Fundamentos teóricos e aplicações práticas. Rio de Janeiro: Engefer, 1983. 256 p.

KRAUS, Manfred. Elementos para o Traçado de Vias dos Metropolitano e das Ferrovias. São Paulo: Cia. do Metropolitano de São Paulo - Metrô, 1975. 2 v. (Tomo II). Tradução: Ernesto C. F. Jensch.