

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ERIC MIKOLA

Evolução e avaliação da tecnologia e da operação do
ramal de Evangelista de Souza, atual Linha 9 - Esmeralda da CPTM

São Paulo

2017

ERIC MIKOLA

Evolução e avaliação da tecnologia e da operação do
ramal de Evangelista de Souza, atual Linha 9 - Esmeralda da CPTM

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do diploma
em Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Telmo
Giolito Porto

São Paulo

2017

ERIC MIKOLA

Evolução e avaliação da tecnologia e da operação do
ramal de Evangelista de Souza, atual Linha 9 - Esmeralda da CPTM

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do diploma
em Engenharia Civil

Área de concentração: Engenharia de
Transportes

Orientador: Professor Doutor Telmo
Giolito Porto

São Paulo

2017

Catálogo-na-publicação

Mikola, Eric

Evolução e avaliação da tecnologia e da operação do ramal de Evangelista de Souza, atual Linha 9 - Esmeralda da CPTM / E. Mikola -- São Paulo, 2017.
114 p.

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

1. Engenharia de transportes 2. Ferrovias 3. Sinalização ferroviária
4. Telecomunicações 5. CPTM I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Transportes II. t.

Aos meus pais, Wilson e Marcia.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Telmo Giolito Porto, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

Ao engenheiro Paulo Roberto Filomeno, pela disponibilidade, boa vontade e cooperação.

À toda minha família, pelo apoio e fé que sempre tiveram em mim e a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

RESUMO

A Linha 9 - Esmeralda da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) é um ramal ferroviário que conta com serviços de trens metropolitanos na Grande São Paulo. Originalmente concebida para facilitar o acesso dos trens de carga ao litoral, o perfil de uso da linha mudou significativamente ao longo dos anos.

As mudanças do uso da linha e as diferentes visões das empresas que a operaram exigiram adequações no arranjo de vias, nos sistemas de sinalização, nas telecomunicações, nas instalações elétricas, nas estações e no material rodante.

Alvo constante de críticas devido ao baixo número de passageiros no passado, a Linha 9 - Esmeralda é, hoje, a segunda que mais transporta em toda a CPTM. A futura ampliação dos serviços com a abertura de duas estações em bairros populosos e carentes de transporte trará à tona novamente a discussão da adequação da estrutura da linha frente às suas necessidades.

Após superar problemas de restrição no fornecimento de energia e ter a obra civil da extensão quase finalizada, os esforços se concentram nos sistemas de sinalização e de telecomunicações. A operação em níveis elevados de demanda exige sistemas que são incapazes de serem atendidos pela estrutura atual, como é o caso do videomonitoramento. Além disso, os intervalos que hoje são praticados na ponta sul da linha não serão capazes de atender a futura demanda.

Em várias ocasiões do passado, a linha foi fechada para viabilizar melhorias. A troca do sistema de telecomunicações em toda a linha não prevê sua paralisação. Além disso, deve haver perfeita compatibilização entre os sistemas de sinalização do trecho antigo com os do trecho novo.

Este trabalho visa avaliar criticamente a história, a operação e a infraestrutura do ramal, revelar a forma de aprimoramento dos sistemas de telecomunicações e de sinalização e discutir a possibilidade de aplicação de ferramentas de sistemas inteligentes de transporte à gestão da operação e aos usuários.

ABSTRACT

CPTM Line 9 - Emerald offers rapid transit services in São Paulo metropolitan area. Originally built to shorten the distance between Sao Paulo city and Santos seaport, it is no longer used by freight trains. The usage profile changed drastically over the years.

Those changes and the different visions from three companies that administered this railroad demanded adjustments on the rail layout, on the signalling system, on the telecommunications systems, on electrical installations, on stations and on trains.

A constant target of criticism due to the low number of passengers in the past, Line 9 - Emerald is, today, the second one that carries the most throughout CPTM. The future expansion of services with the opening of two stations in crowded and underserved neighborhoods will bring up again the discussion of the adequacy of the structure of the line in front of its needs.

After overcoming energy restriction problems and having near-completed civil works, efforts are concentrated on signaling and telecommunications systems. Operation at high levels of demand requires systems that are unable to be served by the current structure, such as video monitoring. In addition, the headways that are currently practiced at the southern end of the line will not be able to meet future demand.

On several occasions in the past, the line has been closed to make improvements possible. The shift of the telecommunications system across the line does not foresee its downtime. In addition, there must be perfect compatibility between the signaling systems of the old section with those of the new section.

This work aims to critically evaluate the history, infrastructure and operation of the branch, reveal the way to improve telecommunication and signaling systems and discuss the possibility of applying intelligent transport systems tools to the managers and users.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	HISTÓRIA DO RAMAL DE EVANGELISTA DE SOUZA, ATUAL LINHA 9 - ESMERALDA DA CPTM	13
2.1	EFS - ESTRADA DE FERRO SOROCABANA	13
2.2	FEPASA - FERROVIA PAULISTA S. A.	25
2.3	CPTM - COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS	31
3	FUNÇÕES DA SINALIZAÇÃO E DAS TELECOMUNICAÇÕES NA FERROVIA	40
4	TECNOLOGIAS DE SINALIZAÇÃO	46
4.1	LICENCIAMENTO POR STAFF	46
4.2	BLOQUEIO ELÉTRICO	48
4.3	BLOQUEIO AUTOMÁTICO	49
4.4	CIRCUITO DE VIA	50
4.5	CTC - CONTROLE DE TRÁFEGO CENTRALIZADO	56
4.6	ATC - CONTROLE AUTOMÁTICO DE TRENS	58
4.7	CBTC - CONTROLE DE TRENS BASEADO EM COMUNICAÇÕES	63
4.8	OUTROS SISTEMAS	67
5	TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICAÇÕES	68
5.1	PDH - HIERARQUIA DIGITAL PLESIÓCRONA	68
5.2	SDH - HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA	73

5.3	IP-MPLS - COMUTAÇÃO DE RÓTULOS MULTIPROTOCOLO	76
5.4	OUTROS SISTEMAS	77
5.5	SISTEMA TERRA-TREM	78
6	ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS ATUAIS E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO	79
7	ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO	90
7.1	SINALIZAÇÃO	90
7.2	TELECOMUNICAÇÕES	95
8	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	103
9	CONCLUSÃO	108
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1 INTRODUÇÃO

A Linha 9 - Esmeralda da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) é um ramal ferroviário que conta com serviços de transporte metropolitano de passageiros nas cidades de São Paulo e Osasco. Com 32,8 quilômetros e 18 estações, o serviço atende a 570 mil passageiros diariamente, sendo a segunda linha que mais transporta em toda a CPTM, apesar de ser a de menor extensão. O ramal é conhecido por margear, em grande parte de seu traçado, o rio Pinheiros.

As condições atuais da ligação ferroviária descrita são muito diferentes das entregues pela Estrada de Ferro Sorocabana (EFS), a idealizadora, construtora e primeira operadora da linha. O ramal se estendia por mais 23,5 quilômetros ao sul do terminal atual no Grajaú, conectando-se à Mairinque-Santos, ramal que realiza a demandada conexão com o porto de Santos.

O propósito de construção desta via férrea está relacionado à necessidade de uma alternativa para transportar as cargas entre o porto de Santos e a cidade de São Paulo. À época da inauguração, em 1957, o tráfego consistia de comboios de carga, trens de subúrbio e trens de passageiros de longo percurso. Havia apenas uma única via para movimentação dos trens e a eletrificação era parcial. Tanto as estações quanto os sistemas de sinalização e de telecomunicações eram bastante simples e havia folga na capacidade.

Após a incorporação da EFS pela Ferrovia Paulista S. A. (FEPASA), grandes mudanças tomaram corpo. O transporte de passageiros de longo percurso passou a ser progressivamente extinto, enquanto o de subúrbio teve sua administração desvinculada da do transporte de cargas. Os comboios cargueiros cada vez menos usaram essa ligação. A razão da existência do ramal havia mudado completamente sem que houvesse mudanças em sua infraestrutura.

Sem o devido planejamento de demanda, a FEPASA decidiu melhorar os serviços da vazia linha de subúrbio e, para isso, tomou uma atitude radical em 1977: fechou completamente o ramal e demoliu quase a totalidade das estações antigas. Em 1981, o serviço de subúrbios foi reinaugurado parcialmente com vias duplas e

estações novas. Mais tarde, em 1985, o sistema de sinalização e de telecomunicações foi aprimorado. Apesar disso, a demanda diária permaneceu baixa.

Após a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) assumir a operação em 1996, um dos primeiros projetos lançados foi a construção de mais estações na linha para aproveitar seu potencial, bastante subutilizado até então. Por ser a linha mais vazia do sistema, a implantação de novas tecnologias foi mais fácil. Em 2001, implantou-se um moderno sistema de transmissão de dados por fibra ótica.

A demanda cresceu de forma explosiva após o retorno do serviço metropolitano de passageiros aos bairros mais afastados na zona sul da cidade, após o credenciamento de uma cooperativa de transporte local e depois da inauguração da Linha 4 - Amarela. Os problemas de energia tornaram-se recorrentes e, por ordem do governador, novamente foi tomada a decisão radical de interrupção total dos serviços na linha durante alguns domingos para efetuar a modernização deste sistema.

O primeiro objetivo do trabalho é explorar criticamente a história da Linha 9 - Esmeralda: sua concepção, construção, operação, evolução da demanda, incorporação pelas diferentes empresas e várias modernizações. O resultado desta análise será um quadro geral da Linha 9 - Esmeralda que subsidiará os próximos desenvolvimentos.

Dentro de alguns meses, a CPTM voltará a operar até Varginha. Num trecho de 4,5 quilômetros, duas estações serão adicionadas e 120 mil passageiros diários se incorporarão aos já expressivos 570 mil passageiros atuais. Desta vez, todavia, as mudanças tecnológicas para acomodar o novo nível de demanda não preveem nenhum tipo de interrupção. Todas as intervenções serão feitas sem interromper os serviços.

Essas intervenções consistem na troca do sistema de telecomunicações em toda a extensão da linha, na ampliação da sinalização no trecho novo e na sua compatibilização tanto em campo quanto no centro de controle operacional (CCO)

com o sistema de sinalização já existente. A forma como isso será feito é o principal objetivo deste trabalho.

O método de trabalho está pautado no conhecimento das tecnologias de sinalização e de telecomunicações disponíveis no mundo e das implantadas na Linha 9 - Esmeralda. Com isto em mãos, será feita uma análise de desempenho do ramal para, em seguida, propor formas de intervenções na operação e nos sistemas de sinalização e de telecomunicações.

O transporte ferroviário é multidisciplinar por natureza. Diversas áreas da engenharia estão envolvidas em todas as etapas da vida de uma ferrovia. Por exemplo, citam-se as equipes de planejamento de transporte para previsão de demanda, as equipes topográficas para escolha do traçado, o corpo geotécnico para escolha do lastro e sublastro, os engenheiros estruturais para obras de arte especiais, os engenheiros mecânicos para material rodante, os engenheiros elétricos para telecomunicações e eletrificação e um pouco de cada um destes profissionais para a operação.

A expansão da Linha 9 - Esmeralda não trata exclusivamente da instalação dos sistemas de sinalização e de telecomunicações. Há também questões importantes a serem tratadas, como a inserção da linha no tecido urbano, o aumento no suprimento de energia, a infraestrutura e a superestrutura das vias, o dimensionamento de obras de arte especiais e de estações.

Esses temas adicionais de engenharia serão abordados de maneira simples. O foco será dado nas telecomunicações e na sinalização por serem estes os fatores determinantes que ainda não estão resolvidas neste momento para operar a linha numa condição de maior demanda.

O suprimento de energia, por exemplo, possui importância vital frente à extensão e ao incremento de frota, mas foge do escopo de um trabalho de engenharia civil. Quanto aos demais itens, eles já estão encaminhados: toda a terraplanagem está pronta, as estações e obras de arte especiais já foram dimensionadas e estão com parte das obras civis concluídas, já há lastro e sublastro em grande parte da

extensão, os trilhos e os dormentes já foram escolhidos e o acréscimo de material rodante depende apenas do remanejamento da frota das outras linhas quando elas receberam mais trens novos, o que já está em andamento. Portanto, a ênfase do trabalho é a operação, a sinalização, as telecomunicações e as relações entre eles.

O último objetivo do trabalho é mostrar como esses sistemas de sinalização e de telecomunicações poderão ser usados para aprimorar os serviços de apoio aos passageiros e de apoio à gestão da operação. Um centro de controle operacional integrado e a divulgação da previsão de chegada dos trens às estações são anseios antigos da CPTM, os quais serão alcançados apenas por meio dos sistemas inteligentes de transporte (ITS).

Assim, as intervenções de que o trabalho tratará serão capazes de melhorar o desempenho da Linha 9 - Esmeralda, alcançando melhores níveis de serviço e, finalmente, adequando sua infraestrutura às necessidades atuais e futuras dos usuários e da própria CPTM.

2 HISTÓRIA DO RAMAL DE EVANGELISTA DE SOUZA, ATUAL LINHA 9 - ESMERALDA DA CPTM

2.1 EFS - ESTRADA DE FERRO SOROCABANA

De 1868 até 1956, a maneira mais rápida de chegar a Santos partindo de São Paulo era pela Estrada de Ferro Santos a Jundiaí (EFSJ), sucessora da São Paulo Railway (SPR). O trajeto, partindo da Estação da Luz, possuía 78 quilômetros e passava pelos municípios de São Paulo, São Caetano, Santo André, Mauá, Ribeirão Pires, Cubatão, São Vicente e Santos.

Desde a sua fundação em 1860, até 1946, a SPR gozou privilégio de zona, que consistia na exclusividade do uso ferroviário nas áreas situadas a 5 léguas (24,14 quilômetros) do eixo da ferrovia, o que naturalmente isolou o porto de Santos de outras ferrovias, exceto pela Southern São Paulo Railway, que se dirigia ao Vale do Ribeira, portanto, região, não concorrente da SPR.

A capacidade de transporte da São Paulo Railway no sentido Santos-São Paulo estava aquém da necessária para dar vazão às mercadorias provenientes dos navios, as quais ficavam retidas a bordo das embarcações e nos cais. Prejuízos se acumularam na medida em que as companhias de navegação cobravam o ônus pela demora, os fretes se encareciam pelos congestionamentos, juros eram pagos, algumas greves eram feitas e a navegação de cabotagem se demorava demasiadamente em Santos. O gargalo desta ferrovia estava em seus sistemas de máquinas fixas e planos inclinados para vencer a serra, que limitavam a capacidade em aproximadamente 7.000 toneladas de carga no sentido capital diariamente.

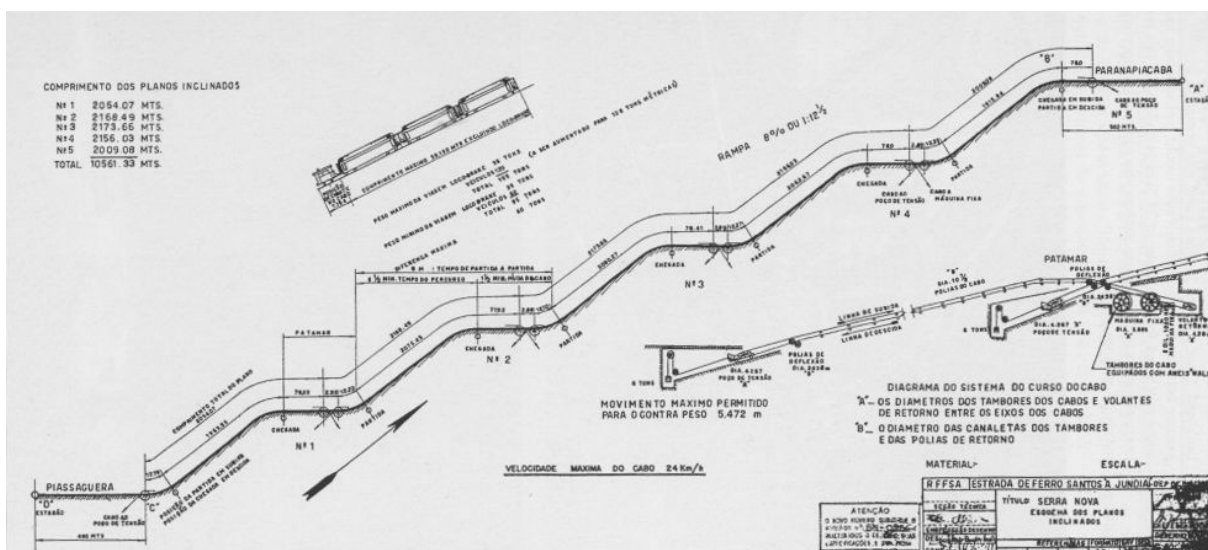


Figura 1: funcionamento dos planos inclinados construídos pela São Paulo Railway (SPR).

As crises portuárias se verificaram em diversas ocasiões da história: em 1892 e 1893, em 1914 e 1915 e em 1924 e 1925, sendo esta última a mais grave devido à depressão sofrida pelo comércio exterior em 1914. Em 1920 já havia esgotamento da estrada de ferro.

Em seus relatórios de 1892 e 1913, a Associação Comercial de Santos exaustivamente atribuiu a responsabilidade da crise portuária ao transporte deficiente.

Uma das soluções cogitadas foi a construção pela São Paulo Railway de uma nova linha partindo de Cubatão e terminando no Ipiranga, desta vez em simples aderência e acompanhando em parte o traçado original da ferrovia. Pesaram contra esta opção o seu elevado custo e a possibilidade de tornar morto o capital aplicado no trecho Cubatão-Ipiranga da ferrovia antiga.

As complicações portuárias passaram a ser estudadas e, em 1925, o Dr. Alfredo Lisboa, da Inspetoria de Portos, Rios e Canais, propôs a eletrificação da estrada de ferro desde Santos até Jundiaí sem que houvesse aumento de tarifa. Ele também demonstrou que os armazéns atuais do porto poderiam comportar maior volume sem que houvesse vultosos investimentos. No mesmo ano, o engenheiro Doutor Hildebrando de Araujo Gois mostrou a insuficiência dos vagões de cais da SPR e apontou como única solução eficaz a construção de uma nova linha em simples

aderência, com bitola larga e eletrificação total.

Outras propostas previam a construção de um túnel que partiria da Lapa e terminaria em Cubatão, o qual comportaria duas linhas eletrificadas cujas locomotivas dos trens que desceriam gerariam a energia para os trens que subiriam o túnel. Outra proposta previa a construção de eclusas pela serra até chegarem a represa Billings, onde haveria um porto para os navios com cargas cujo destino seria São Paulo. Muitas destas propostas foram abandonadas, por serem absurdas, econômica ou tecnicamente inviáveis.

O Instituto de Engenharia de São Paulo aventou em julho de 1925 a solução de ligar São Paulo ao porto de São Sebastião em via dupla métrica e eletrificada por meio da Estrada de Ferro Sorocabana (opção que a Companhia Paulista também havia considerado executar muito antes, nos anos 90 do século XIX). Essa proposta se justificava pela necessidade de resolver o problema do transporte prevendo, ao mesmo tempo, a necessidade de construção de um novo porto. Combateu-se esta proposta por causa da possibilidade de expansão do porto atual antes de se abrir um novo.

Ao mesmo tempo em que se dizia que, resolvida a crise ferroviária, seguiria-se a crise portuária, defendia-se que a extensão do cais acostável seria célere e que não haveria a referida crise. Era consenso, entretanto, que deveria haver racionalização e aperfeiçoamento dos serviços em Santos.

Alguns anos antes de ser expirada a concessão da SPR, que só se daria em 1946, a Estrada de Ferro Sorocabana deu um importante passo para absorver a demanda reprimida do porto ao iniciar, em 1927, a construção do ramal Mairinque-Santos, o qual seria a segunda ferrovia a vencer a serra do mar no estado de São Paulo e sem invadir a zona privilegiada da SPR. Este ramal chegaria até Samaritá, uma estação na área continental do município de São Vicente, da antiga Southern São Paulo Railway, adquirida pela Sorocabana alguns anos antes. Com isso, o restante dessa linha passa a ser chamado pela Sorocabana como Ramal de Juquiá. A Sorocabana já tinha concluído a ligação de Itaici a Campinas, portanto estava apta a levar até Santos todas as cargas das ferrovias de bitola estreita dela tributárias (a Noroeste

em Bauru e a Mogiana em Campinas). Entretanto, diferentemente da São Paulo Railway, cujo trecho em serra era vencido em planos inclinados por meio de máquinas fixas, planos inclinados e funiculares, o ramal Mairinque-Santos tinha baixo declive (máximo de 2%) e podia ser vencido em livre aderência, portanto a capacidade era bastante superior. Ao mesmo tempo em que foi projetada uma obra grandiosa, com 31 túneis e 31 pontes com o pioneiro concreto armado (todas prevendo futura implantação de bitola mista e linha dupla), também havia incertezas sobre o prosseguimento da obra devido à revolução de 1930. Destarte, em 1937 estava aberta a alternativa de transporte das cargas a Santos pela Mairinque-Santos, mas que ainda não atendia satisfatoriamente à demanda da Capital por ser necessária a passagem por Mairinque, distante 70 quilômetros.

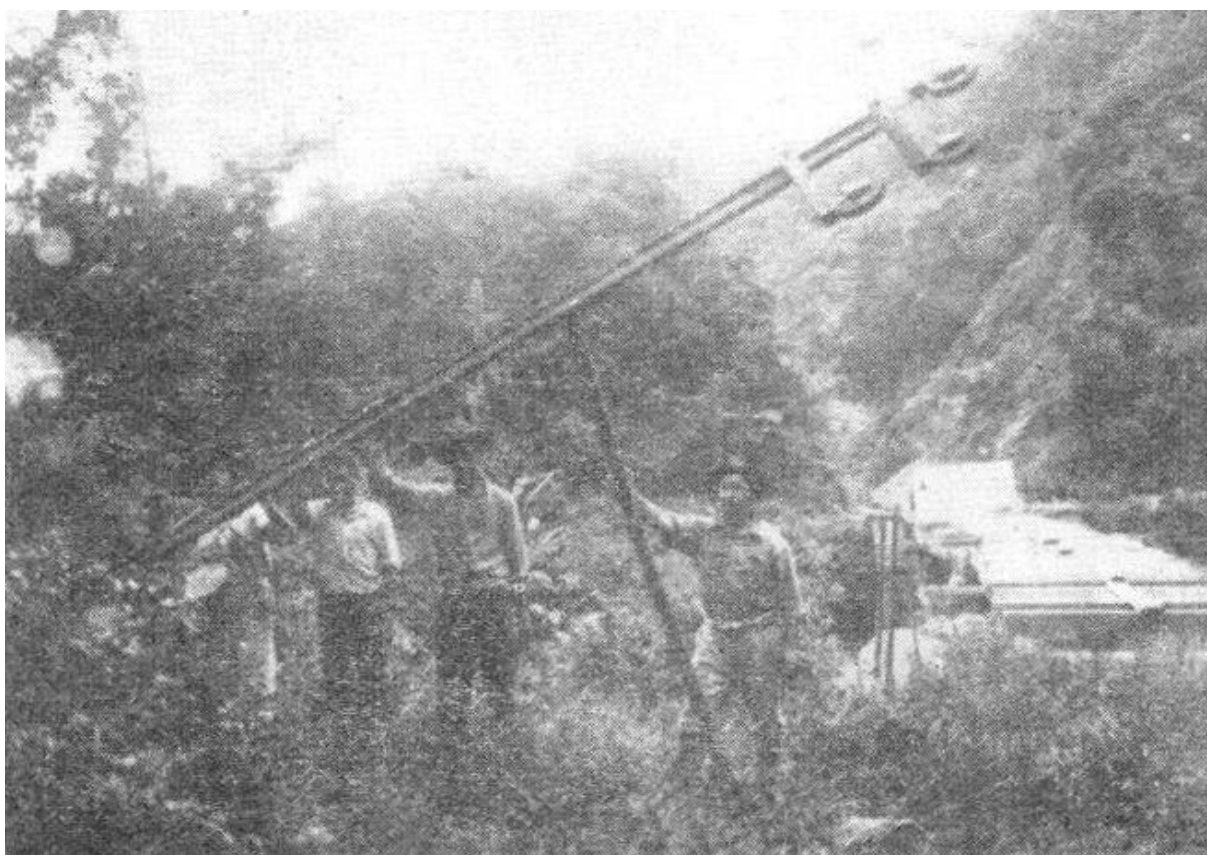


Figura 2: feitor Alfredo Silva e trabalhadores levantando o último poste do telégrafo junto ao viaduto 3 da linha Mairinque-Santos em 02/02/1935.

Outra medida tomada pelo governo do estado foi a construção de uma opção rodoviária, a Via Anchieta, em adição ao Caminho do Mar.

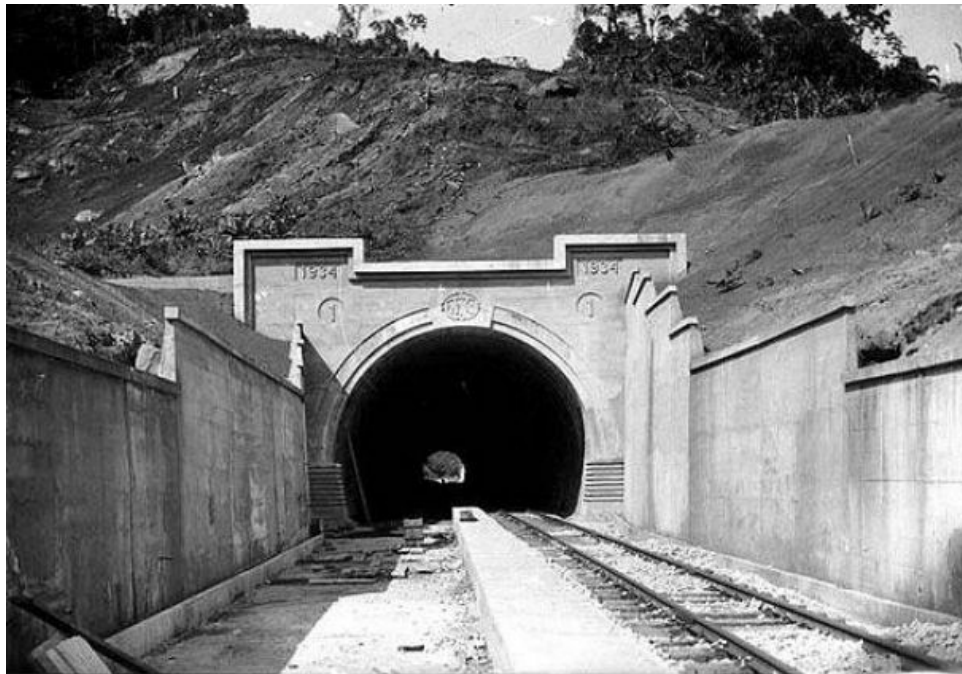


Figura 3: túnel 1 da Mairinque-Santos no trecho de serra, ao final da construção da via. Note as dimensões do túnel, que previa linha dupla em bitola mista no futuro. Notar também o desmatamento efetuado para a construção desta ferrovia.

Na figura abaixo se vê a situação das ferrovias paulistas em 1946:

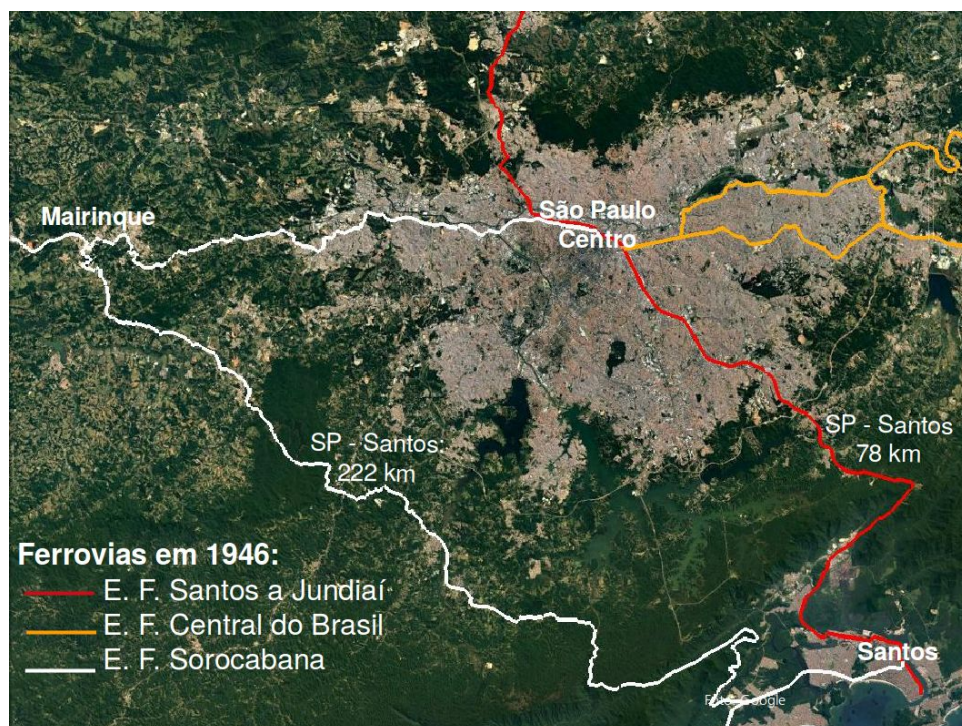


Figura 4: mapa das ferrovias em 1946. Fonte: Google Earth. Adaptação: Eric Mikola.

Ao se aproximar o vencimento da exclusividade da SPR, a EFS se preparou adequadamente para concorrer com ela diretamente e aumentar sua influência no transporte estratégico entre o litoral e a capital e o interior.

Uma nova linha, anunciada em 1945, mas desejada há muitos anos, encurtaria o trajeto de São Paulo a Santos, eliminando a passagem por Mairinque. O plano inicial seria executado com urgência em apenas um ano e o reforço de material rodante, que estava em andamento, seria usado para compor a frota do novo ramal.

O novo trecho recebeu o nome de ramal de Evangelista de Souza, pois parte da estação de Evangelista de Souza da linha Mairinque-Santos, no extremo sul do município de São Paulo. Cogitou-se ligar o ramal nas proximidades da estação Embu-Guaçu (M'Boy-Guassu) do mesmo ramal, mas isso aumentaria a extensão do traçado em dez quilômetros. Outras denominações foram dadas ao trecho, como ramal de Presidente Altino, pois a outra ponta do ramal partiria das proximidades desta estação, mais especificamente do quilômetro onze da linha tronco. Outros nomes dados foram: ramal de Pinheiros, ramal de Jurubatuba e ligação São Paulo - Santos.

A ligação seria feita paralelamente ao rio Pinheiros em grande parte de sua extensão, aproveitando a quase finalização, na época, dos trabalhos de canalização fluvial empreendidos pela The São Paulo Tramway Light and Power Company Limited.

O projeto original previa, ao longo de 25 quilômetros da margem direita do rio, uma linha dupla de bitola mista eletrificada com excelente qualidade técnica, dado o traçado ser quase todo em nível, grandes trechos em reta, curvas de grande raio e ausência total de passagens de nível, pois o leito passaria por baixo das pontes já existentes sobre o rio.

Todavia, já se admitia, antes do início das obras, que não seria possível entregar a eletrificação num primeiro momento. Isso seria compensado pelo uso de locomotivas diesel-elétricas, capazes de rebocar até 700 toneladas.

O trecho restante teria 30 quilômetros, unindo o ponto em que a ferrovia atravessa o

canal do rio Jurubatuba logo abaixo da estação elevatória para a represa Billings até a Mairinque-Santos, totalizando 55 quilômetros de extensão.

Concomitantemente, a Sorocabana também visava ao atendimento do novo CEAGESP, dos bairros industriais da região de Santo Amaro e ao fomento de entrepostos comerciais em suas proximidades. Queria-se desenvolver a periferia para evitar o transporte das pessoas ao centro e facilitar o redespacho dos produtos pela própria ferrovia.

À época do anúncio da construção da linha, em 1945, a Mairinque-Santos transportava cerca de 800 toneladas de carga, destinados quase que exclusivamente ao interior do Estado, incluindo a região de Campinas, a qual, embora fosse muito mais facilmente atendida pela SPR, revelava, novamente, o esgotamento da capacidade de carga desta ferrovia. Com a abertura do novo ramal, esperava-se a duplicação ou triplicação da demanda, a qual poderia superar as 5.000 ou 10.000 toneladas úteis diárias. Ainda assim, haveria uma folga perante a capacidade máxima de 20.000 toneladas úteis diárias.

Em 1951, iniciam-se as obras no novo ramal, tendo como destaques do empreendimento a ponte de concreto armado sobre o rio Jurubatuba, afluente do Pinheiros, perante a barragem da represa Billings, e a passagem inferior Santa Mônica, sob a estrada do Bororé. As obras foram divididas em duas frentes de ataque, uma a partir do sul, compreendendo o trecho Evangelista de Souza - Interlagos, e outra a partir do norte, compreendendo o trecho Presidente Altino - Interlagos.



Figura 5: ponte ferroviária sobre o Rio Jurubatuba. Fonte: revista Nossa Estrada.

Em 1953, metade da linha já estava em sua fase final de construção, com os movimentos de terra praticamente acabados, capaz, portanto, de receber trilhos em sua extensão. No final do exercício, já havia 14 quilômetros de trilhos no extremo meridional do ramal, sendo usados os trilhos com 37,2 kg/m e 50,3 kg/m. Os trilhos, portanto, haviam chegado a Parelheiros.

No mesmo ano, a EFS inicia a adaptação de vagões de carga para carros de passageiros numa tentativa de solucionar os problemas de lotação em seus trens de subúrbio da linha tronco, decorrente da industrialização no oeste da região metropolitana. Estes trens foram logo apelidados de “caveirões”, vistos na foto abaixo:

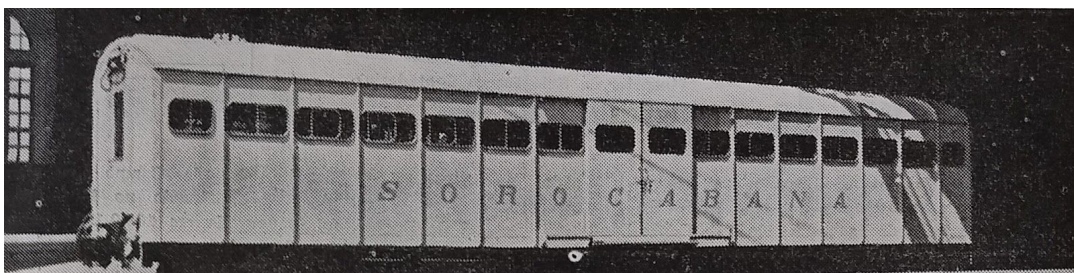


Figura 6: um dos 50 carros do tipo “caveirão”, construído a partir de um vagão cargueiro, em Júlio Prestes. Fonte: revista Nossa Estrada.

Outros quatro trens de 3 carros cada foram adquiridos da fabricante norte-americana “The Pullmann Standard Car Co.”, logo apelidados de Carmen Miranda, mas se mostraram insuficientes para a demanda de passageiros dos subúrbios. Com isso, a EFS encomenda da Kawazaki 30 trens de subúrbio com 3 carros cada.

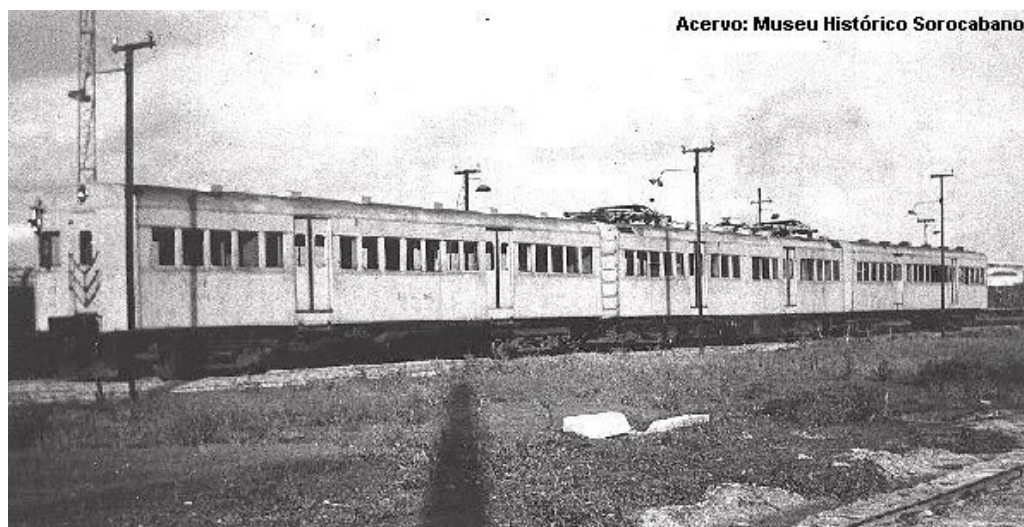


Figura 7: trem americano Carmen Miranda. Fonte: acervo do Museu Histórico Sorocabano.

Com isso, a EFS encomenda no Japão, dos fabricantes Kawazaki (material mecânico) e Toshiba (material elétrico) 30 trens de subúrbio, com 3 carros cada.

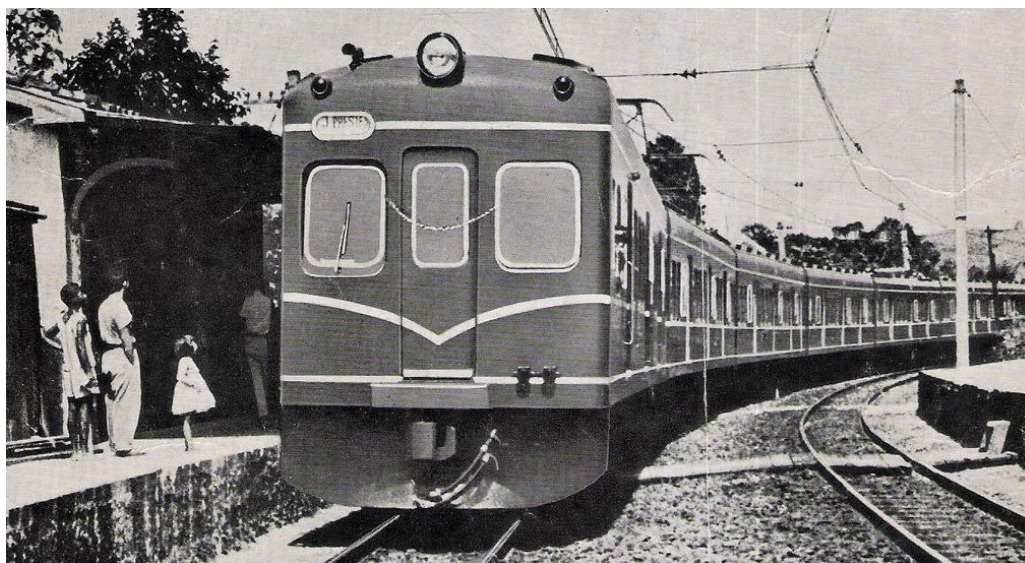


Figura 8: trem japonês Kawazaki-Toshiba. Fonte: manual de operações Toshiba.

No ramal de Evangelista de Souza, em 1954, os trilhos do sul avançam mais 6,6 quilômetros para o norte, chegando a Varginha, e tem início o assentamento a partir da linha tronco, em Presidente Altino, na ponta norte da linha, com conclusão de 5,8 quilômetros, levando a linha até Pinheiros.

Já em 1955, toda a terraplanagem estava concluída e, no trecho Evangelista de Souza-Interlagos, mais 9 quilômetros haviam sido assentados e esta parte estava quase finalizada, pois já se alcançara Interlagos. Na ponta norte, iniciou-se a construção do pátio Jaguaré e mais 16,18 quilômetros de trilhos foram assentados, sendo 910 metros no referido pátio. A linha chegara, então, à região de Interlagos e foi conectada aos trilhos da outra frente. Essa região de junção das duas frentes não ocorreu no local atualmente conhecido como Interlagos, mas nas proximidades de Jurubatuba, mais especificamente na ponta norte do aterro sanitário.

Os trabalhos de finalização prosseguem em 1956 e no ano seguinte, 1957, a construção terminou. A linha foi inaugurada por etapas, entre os meses de agosto e outubro. Apesar disso, já havia tráfego de Presidente Altino a Jurubatuba desde janeiro. Além de possibilitar a tão almejada chegada alternativa a Santos, abriu espaço também para atender aos demais municípios do litoral sul por meio da ligação com o ramal de Juquiá.

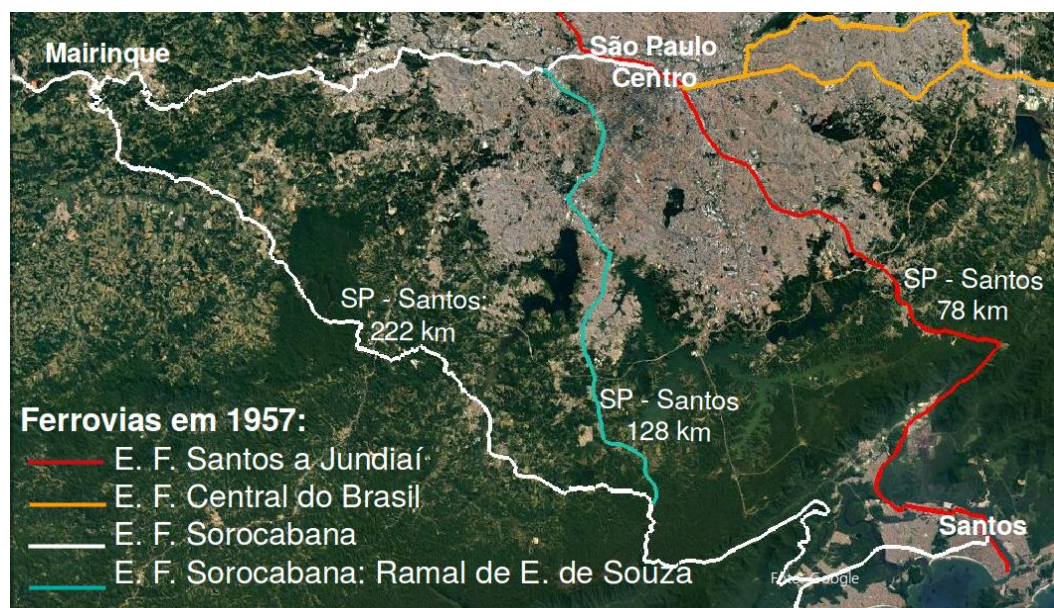


Figura 9: mapa das ferrovias em 1957. Fonte: Google Earth. Adaptação: Eric Mikola.

No relatório da Estrada de Ferro Sorocabana, constam, referente à operação do ramal no ano de sua inauguração, apenas as estações Universidade, Pinheiros, Morumbi, Santo Amaro, Jurubatuba, Parada Dutra, Interlagos, Casa Grande, Colônia Paulista e Barragem. Outras estações foram abertas anos mais tarde: Monark (1959), São Bernardo (1960), Traição (1960), Penha ou Penhinha (1960), Socorro (1960), Jaguaré (1960), Brooklyn (1961), Sears (1961), Cidade Jardim (1970) e Cidade Universitária (data desconhecida). Algumas dessas paradas eram não oficiais e a estrutura era precária, com plataformas de madeira e acessos muitas vezes não pavimentados.

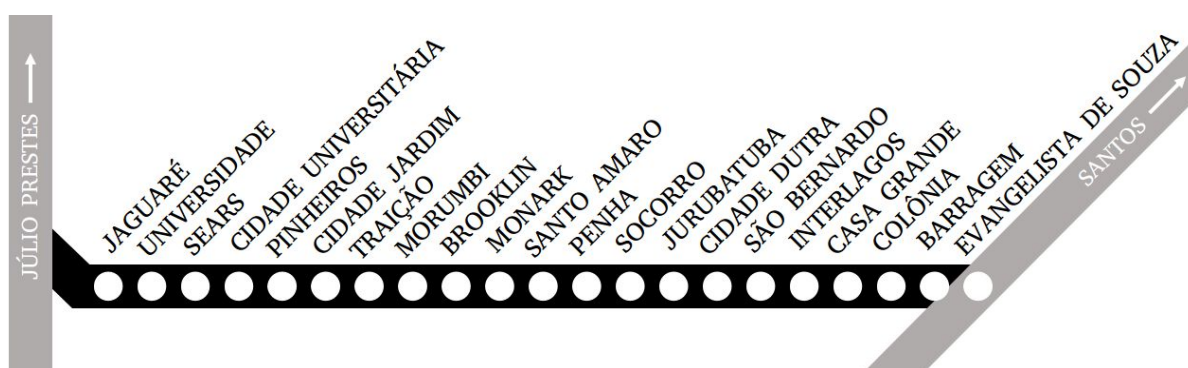
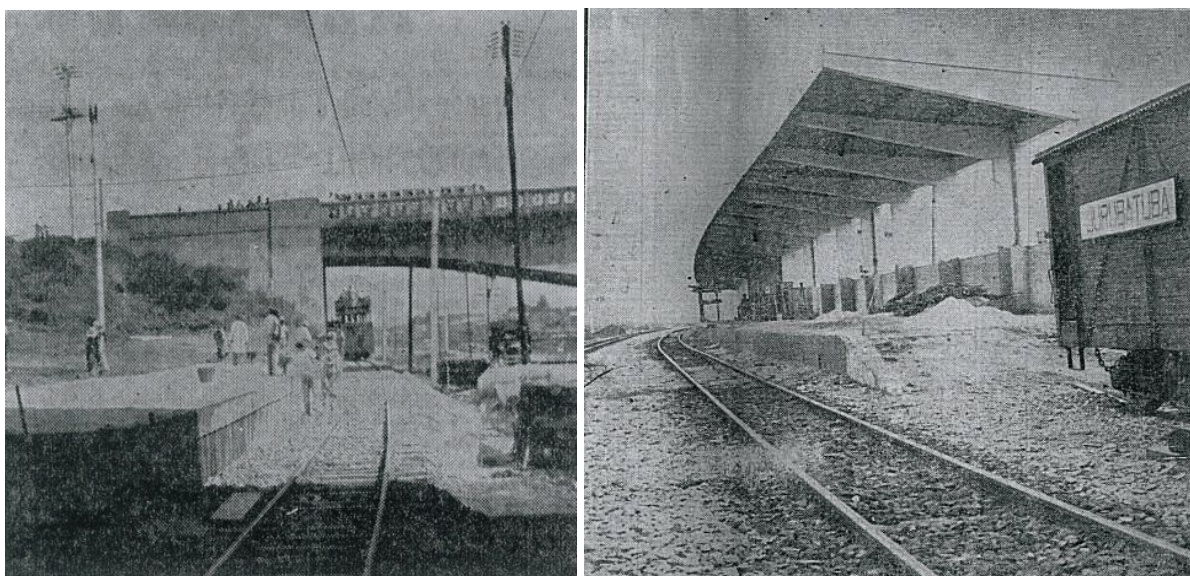


Figura 10: mapa da ferrovia em 1957.



Figuras 11 e 12: estações Socorro e Jurubatuba, respectivamente. Fonte: portal Estações Ferroviárias do Brasil.

A linha foi dotada de trens de subúrbio, de passageiros de longa distância (para

Santos e Litoral Sul) e de carga. À época da inauguração, a via era simples e de bitola métrica, com pontos de ultrapassagem em algumas estações. Os trens partiam de Júlio Prestes, e não de Osasco, como é feito hoje. A eletrificação entre Presidente Altino e Cidade Dutra foi aberta em 1958 e entre Cidade Dutra e Evangelista de Souza em 1963. Com a chegada dos trens japoneses, foram alocados os comboios americanos Carmen Miranda para a operação no ramal. Um filme familiar feito no início da década de 70, na fase de transição da EFS para FEPASA, evidencia tal fato. O controle de tráfego era feito por meio de bastões de autorização de trecho, denominado “*staff* elétrico”. Em 1963, a EFS instala o sistema CTC na linha tronco, de São Paulo até Assis, mas o ramal sul não é contemplado com tal melhoria.



Figura 13: trem unidade diesel-elétrico Ouro Branco, que fazia a linha São Paulo – Peruíbe, na estação Cidade Dutra, logo após a abertura do ramal. Notar a inexistência da eletrificação.

2.2 FEPASA - FERROVIA PAULISTA S. A.

O Instituto de Engenharia de São Paulo já recomendava, na década de 1960, a unificação da malha ferroviária estadual. Em 1961, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, então a última ferrovia em mãos particulares no Brasil, foi encampada pelo governo estadual. Logo após foi encomendado pelo governo do Estado um estudo para levantar a situação das ferrovias estaduais e foi feito um anteprojeto da unificação.

A unificação das cinco ferrovias paulistas (Companhia Paulista de Estradas de Ferro, Estrada de Ferro Sorocabana, Companhia Mogiana de Estradas de Ferro, Estrada de Ferro Araraquara e Estrada de Ferro São Paulo – Minas) se justificava devido a fatores econômicos. De acordo com STEFANI (2007), “entre os argumentos utilizados pelo governo para justificar tal unificação, estavam os de ordem econômica: centralização dos estudos de programas de investimentos e coordenação dos serviços rodoviários auxiliares; administrativa: centralização das importações, da contabilidade e do orçamento; comercial: criação de tarifas padronizadas e técnica: uniformização de serviços e materiais, assim como remanejamento de material já existente.”

A proposta foi rejeitada pela Assembleia Legislativa duas vezes. Apesar disso, foram dados passos para a unificação. Temia-se que a União incorporasse a malha paulista, por isso tudo foi articulado com rapidez. Em 1967, o governador Abreu Sodré, embora tenha reforçado o material rodante das ferrovias estaduais, erradicou diversos ramais tidos como deficitários e começou a unificar as administrações de algumas ferrovias por meio de decretos, o que culminou, em 1969, na transformação das ferrovias estaduais em sociedades anônimas.

A proposta foi novamente conduzida à Assembleia Legislativa e foi aprovada rapidamente. Em 10 de novembro de 1971, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro absorve as demais ferrovias estaduais e muda sua razão social para FEPASA - Ferrovia Paulista Sociedade Anônima.

O período após 1971 é de decadência para o setor ferroviário devido à falta de

investimentos nas ferrovias e priorização do transporte rodoviário. O foco nas ferrovias passa a ser o transporte de cargas visando às exportações. Tendo em vista a privatização, a intenção, desde o início da formação da FEPASA, era de extinguir o transporte de longo percurso por não ser lucrativo. No âmbito metropolitano, enxergava-se a unificação do sistema ferroviário com o metroviário e com o rodoviário como a melhor solução.

A FEPASA herdou o sistema de subúrbio em terríveis condições. O surfe ferroviário e a presença de pingentes eram práticas comuns, fato que ocorria também na região leste da cidade, operada pela antiga Estrada de Ferro Central do Brasil, pertencente à Rede Ferroviária Federal (RFFSA). As estações estavam ultrapassadas e os antigos trens japoneses de 1958 davam sinais de desgaste. Em resposta à precariedade, é lançado o plano de modernização do metropolitano, que, no tronco até Amador Bueno e no ramal de Evangelista de Souza até Jurubatuba, efetuará a duplicação em bitola mista, reconstrução de estações e modernização do sistema elétrico e de sinalização, com a implantação do ATC (*automatic train control*) em substituição ao CTC na linha tronco e ao *staff* na linha sul.



Acervo: Ricardo Toshima



Os pingentes: no mínimo dez de cada lado. Uma queda por dia

Figuras 14 e 15: trens japoneses na fase de superlotação da FEPASA. Fontes: Ricardo Toshima e revista Veja, respectivamente.

O plano ainda previa a aquisição de 100 trens de um consórcio franco-brasileiro liderado pela Cobrasma, sendo trens-unidades elétricos de 3 carros cada, que seriam a série 9000 (ex-série 5000 da CPTM, atual 5400 da mesma companhia) e 50 trens-unidades elétricos de seis carros cada de outro consórcio, liderado pela

Maferesa - Material Ferroviário S A, que seria a frota 9500 (ex-séries 5500 e 5550 da CPTM), sendo esta última frota especialmente comprada para operar o ramal de Evangelista de Souza, que passou a ser chamado de linha sul.



Figuras 16 e 17: os recém-chegados trens 9000 e 9500 da FEPASA, respectivamente.

Fonte: CPTM em Foco e Skyscrapercity, respectivamente.

Na época da incorporação da linha já se falava na baixa demanda do trecho. A FEPASA toma uma atitude ousada e decide fechar completamente a linha de subúrbio para modernizá-la a partir de 1977. Todas as estações originais do trecho foram desativadas e demolidas, com exceção de Jurubatuba. A linha seria duplicada e as plataformas seriam centrais, e não mais laterais, por isso as estações antigas se tornaram inúteis.

A linha só voltou a operar em 1981, com os trens partindo não mais de Júlio Prestes, mas de Osasco, pois a maioria dos passageiros com destino ao sul vinha da região oeste. A operação ficou restrita ao trecho entre Osasco e Pinheiros. As novas estações entregues, que são as estações atuais, são Ceasa, Jaguaré, Cidade Universitária e Pinheiros. As novas estações foram concebidas com o propósito de atender ao transporte metropolitano, apenas.

Cinco anos mais tarde, a operação do trecho é estendida até a estação Largo Treze, atual estação Santo Amaro, primeira estação ferroviária em aço no país e destaque internacional de arquitetura. Não foi construída uma estação sequer entre os 12 quilômetros que separavam as estações Pinheiros e Largo Treze, apesar de haver planos para tal. Os trens da série 9500 foram gradativamente repassados à RFFSA nos anos 1980 como forma de pagamento de uma dívida. Os trens da série 9000 assumiram a operação, porém operavam no ramal com 6 carros, enquanto no tronco as composições eram de 12 carros.

A operação até Jurubatuba voltou em março de 1987 apenas. Entre o encerramento dos serviços de subúrbio e sua reabertura, a estação ficou abandonada. A bitola mista não avançou além de Jurubatuba.

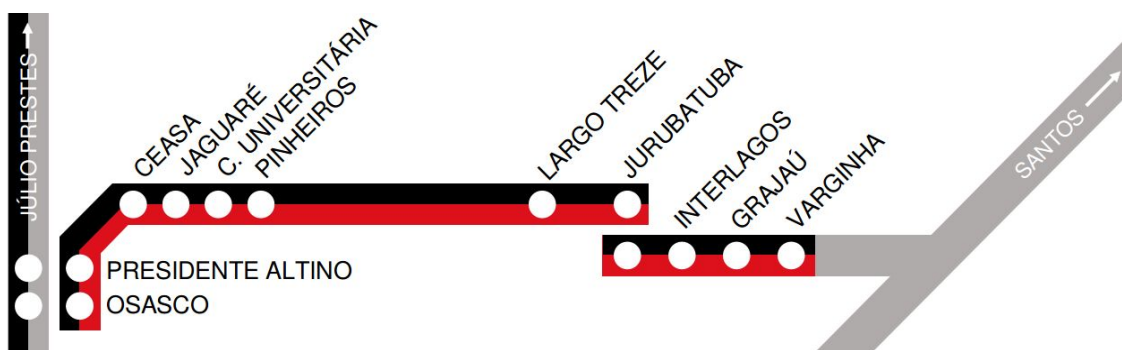


Figura 18: mapa da linha sul da FEPASA.

Os serviços suburbanos até Varginha foram retomados de forma gratuita com os antigos trens japoneses herdados da Estrada de Ferro Sorocabana, que receberam reforma ao longo dos anos 1980 e voltaram a operar, porém sobre infraestrutura precária.



Figura 19: os antigos trens Kawasaki – Toshiba, após reformados, para operarem no trecho de bitola métrica entre Jurubatuba e Varginha. Fonte: Sindicato Sorocabana.

Os trens Carmen Miranda foram alocados no serviço de passageiros em poucos horários até São Roque, circulando até 1982, mas definitivamente aposentados com a precariedade das estações no trecho após Itapevi e a consequente baixa demanda.

A nova linha não teve um planejamento adequado de demanda. Não se sabia ao certo quantos passageiros a utilizariam. Apenas se dizia que seria útil para as regiões atendidas. O resultado, entretanto, não foi bom, pois os trens continuaram a circular vazios.

O plano de modernização incluiu novas subestações de energia, as quais aumentaram a capacidade do trecho. A operação do trecho se fazia ainda por *staff*, licenciamento por meio de bastões, o que limitava a oferta na hora-pico a três trens por hora. Nos demais horários, havia apenas duas partidas por hora.

Em 1984, já estava pronto o plano para implantar o ATC em suas linhas. O ATC permitiria intervalos mínimos de 3 minutos em suas linhas. Entretanto, nunca foi necessário se preocupar em infraestrutura para comportar essa capacidade na linha sul, cuja frequência após a implantação do ATC aumentou de 3 trens por hora para 4 trens por hora, apenas, mantendo os 6 carros por composição, contra oito trens de 12 carros por hora na linha oeste. A demanda de passageiros na linha sul não superava os 14.000 passageiros diários no final de 1984.

Em novembro de 1985, iniciou-se a implantação do sistema novo, que durou aproximadamente um ano. Junto com o novo sistema, foi construído o Centro de Controle Operacional (CCO) junto ao pátio de Presidente Altino, o maior e principal da FEPASA em São Paulo. A operação passou, então, a ser controlada pelo CCO.

Ainda havia tráfego de carga e de trens turísticos de passageiros de longo percurso na linha, para Santos e Peruíbe, aos finais de semana. Os trens de carga, devido à operação do metropolitano, tinham exclusividade nos horários fora de pico e durante à noite. Percebe-se aqui uma mudança na postura em relação aos trens de carga, cuja presença, durante a administração pela Estrada de Ferro Sorocabana, era tida como urgente, conforme palavras do então presidente da ferrovia Ruy

Costa Rodrigues. O avanço das rodovias havia tornado muitos trechos deficitários. Durante os anos da Fepasa, o tráfego de passageiros de longo percurso foi sofrendo gradual diminuição, e isso afetou o ramal de Jurubatuba. A eletrificação na porção sul da linha, após Varginha, foi perdida.

Os resultados do transporte de cargas, considerado viável, não conseguiam cobrir os custos com o transporte metropolitano e de longo percurso. Com isso, veio à tona a proposta de segmentar a empresa. Os transportes metropolitanos como um todo seriam administrados por uma empresa exclusiva e, com isso, cria-se a DRM - Diretoria do Transporte Metropolitano. Nesse ínterim, a administração do transporte ferroviário metropolitano passa para o controle do governo do estado e a empresa deveria ser autossuficiente. O transporte de longo percurso teve o número de horários reduzido e nem o apelo social foi suficiente para mantê-los, sendo após a privatização da FEPASA definitivamente extinto em 15 de março de 2001.

A divisão da ferrovia em segmentos - carga e metropolitano - se concretizou e, em 1992, foi criada a CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, empresa de caráter temporário que administraria as linhas de subúrbio da FEPASA e da CBTU até serem privatizadas, o que até hoje não ocorreu.

Em 1995, extinguem-se as divisões regionais e começa a redução no quadro de funcionários da FEPASA, a qual seria desestatizada caso não houvesse rejeição por parte do BNDES. Como forma do pagamento da dívida do Banespa à União, entretanto, a FEPASA é federalizada e se incorpora à RFFSA, que dá seguimento à privatização. A Ferrobán - Ferrovias Bandeirantes, ganhadora do leilão, passa a ter direito sobre o transporte de cargas nos trilhos pertencentes à FEPASA.

Apesar de ter direito de trafegar no ramal de Jurubatuba, não há relatos de tráfego cargueiro compartilhado com a CPTM, especialmente por causa da opção do ramal Mairinque-Santos, a qual não tem o transporte metropolitano como concorrente. Por meio de aquisições, fusões e trocas de ações, a Ferrobán virou a ALL - América Latina Logística e, depois Rumo Logística, a qual renunciou oficialmente ao direito de trafegar pelo ramal em 2017.

2.3 CPTM - COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS

Em 1996, a CPTM assume as operações das linhas da FEPASA. Mais tarde, a Linha Sul recebe uma nova denominação: Linha C - Celeste. Assim como a FEPASA em relação à EFS, também a CPTM herda uma malha repleta de problemas. Entretanto, os principais problemas se concentravam nas linhas herdadas da CBTU.

A linha C era a que recebia menos passageiros de todo o sistema e os projetos de modernização da CPTM têm início por ela em 1998. O Projeto Sul previa a construção de diversas estações intermediárias no trecho entre Pinheiros e Jurubatuba, a aquisição de trens novos e a construção de um ramal até Campo Limpo.

As novas estações foram construídas para aumentar o uso da linha. Esse era um projeto antigo da FEPASA. Os doze quilômetros entre Pinheiros e Santo Amaro finalmente seria preenchidos pelas modernas e funcionais estações projetadas pelo arquiteto Luiz Esteves: Hebraica-Rebouças (2000), Cidade Jardim (2000), Vila Olímpia (2001), Berrini (2000), Morumbi (2000) e Granja Julieta (2000). O trecho entre Largo Treze (agora Santo Amaro) e Jurubatuba também ganhou uma estação intermediária: Socorro (2000). Na inauguração destas estações, o então governador Mário Covas anuncia que a linha seria repassada para o Metrô e se tornaria a Linha 7 - Celeste. Isso nunca chegou a ser feito.

No ano 2000, foi aberto o serviço de vans ligando a estação Cidade Universitária com a estação Vila Madalena da Linha 2 - Verde do Metrô. Esse serviço, operado pela EMTU e conhecido como Ponte Orca, era gratuito para as pessoas que já haviam pagado o trem ou o metrô e garantia o acesso à estação na outra ponta do percurso.

Diante da falta crônica de trens, a primeira aquisição de frota da CPTM foram os trens espanhóis CAF UT440-R, trens regionais de 3 carros cada que não estavam mais em uso. As composições foram reformadas para se adequar aos padrões metropolitanos e foram colocadas em circulação na zona leste. Devido à gravíssima vandalização que sofreram, os trens foram realocados para as linhas D - Bege (atual

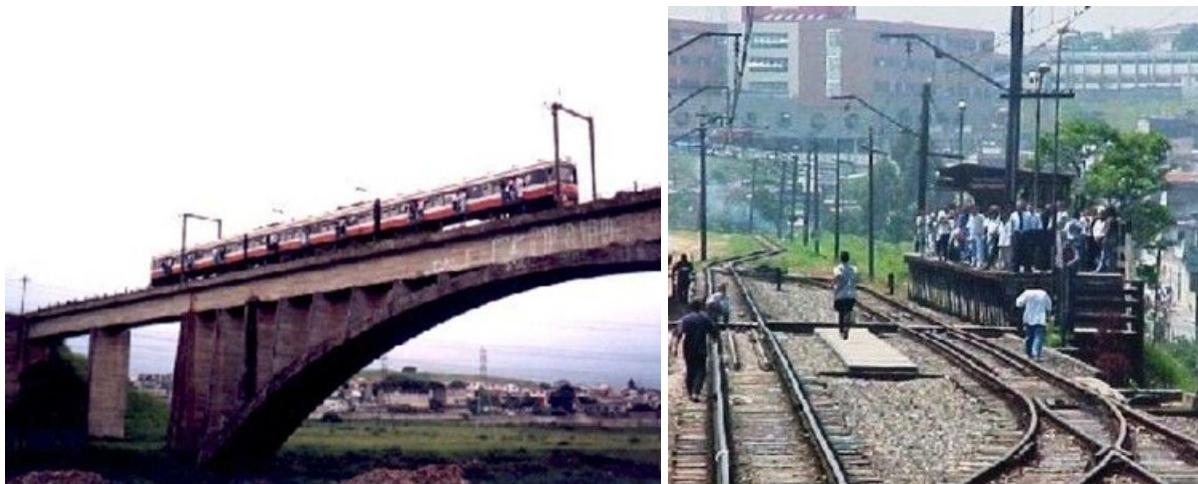
Linha 10 - Turquesa) e C - Celeste, onde passaram a circular com 3 carros apenas, junto com a série 5000 (antiga 9000) reformada, de 6 carros. Por serem de baixa aceleração, impunham restrições de desempenho ao carrossel da linha. Por vários anos se reclamou da lentidão da linha.

Mais tarde, os trens alemães fabricados pela Siemens passaram a dividir a operação da linha com os espanhóis. Os franceses 5000 (ex 9000) ficaram restritos à linha B, atual linha 8 - Diamante. A foto abaixo mostra o trem espanhol (série 2100) durante a inauguração da estação Cidade Jardim, no ano 2000:



Figuras 20: série 2100 na inauguração da estação Cidade Jardim. Fonte: SP Notícias.

Em dezembro de 2001, a extensão operacional Jurubatuba à Varginha (12 quilômetros, 4 estações) é desativada por motivos de segurança, já que a operação e a infraestrutura eram precárias. Os três trens japoneses que circulavam no trecho são enviados para compor a frota dos trens de subúrbio de Salvador, onde operam até hoje. Apesar disso, havia planos para remodelar o trecho até Interlagos.



Figuras 21 e 22: operação precária da extensão sul: ponte sobre o rio Jurubatuba e estação Grajaú. Fonte: portal Estações Ferroviárias do Brasil.

No mesmo ano, as estações da linha receberam o primeiro sistema de transmissão óptica da CPTM, com capacidade de 155 Mb/s, que permanece em funcionamento até hoje.

O ramal até Campo Limpo, antigo desejo da FEPASA e da EFS, fica pronto em 2002. Construído pela CPTM e denominada “Linha G”, a operação é transferida para o Metrô no início de 2002. O trecho é rebatizado de Linha 5 - Lilás e entregue à população em outubro do mesmo ano. Ligando o Capão Redondo ao Largo Treze, integrando-se à linha C em Santo Amaro, por anos recebeu o apelido de “trem fantasma” devido à baixa utilização.

Apesar dos investimentos, a linha, que era considerada a melhor da CPTM e era a única a ter trens com ar condicionado em toda a sua extensão, permaneceu com baixa utilização. Em 2003, apenas 53 mil passageiros a utilizavam diariamente. Neste mesmo ano, a segunda linha mais vazia era a F - Violeta, a pior da CPTM, com 110 mil passageiros diários, o dobro da linha C.

Em 2004, num fato cuja responsabilidade até hoje é indefinida, são arrancados os trilhos do trecho mais ao sul da linha, que fazia a conexão com a Mairinque-Santos, isolando definitivamente a linha do litoral.

Em 2005, com o advento do bilhete único, a Linha C - Celeste é a primeira, junto

com a Linha 2 - Verde a receber integração com o bilhete único. São anunciadas as obras de expansão da linha sobre parte do trecho desativado. Em um trecho de oito quilômetros, seriam construídas as estações Autódromo, Interlagos e Grajaú. A estação de Jurubatuba seria reformada. Uma nova frota (2070 ou 2000 fase II) de 12 trens de 4 carros cada reforçaria a operação. Em 2006, antes da inauguração das novas estações, 90 mil passageiros já usavam a linha todos os dias.

Em 2007, é aberta a estação Autódromo e, com ela, a duplicação da ponte ferroviária sobre o rio Pinheiros perante a barragem da represa Billings. Na prática, foi construída uma nova ponte ao lado da original da Estrada de Ferro Sorocabana, a qual passou por revisão e continua em uso. O trecho até Autódromo era operado de forma separada do principal. Era necessário fazer transferência em Jurubatuba.

No final de 2007, a demanda atinge os 140 mil passageiros diários e são tomadas medidas para se adequar à nova situação: “aumento de um trem na operação: a frota circulante passa de 15 para 16 trens no trecho Osasco-Jurubatuba, além das 2 composições entre Jurubatuba e Autódromo; intervalo mínimo programado de seis minutos durante todo o horário de pico; supervisores de tração e técnicos de manutenção terceirizados e da própria empresa de material rodante [trem] de plantão em diversas estações, de forma a atender rapidamente eventuais falhas mecânicas; equipe técnica de manutenção de rede aérea de plantão nas sub-estações de energia de Morumbi e Cidade Dutra; prontidão de locomotivas, estacionadas em locais estratégicos, para rápido reboque no caso de falhas mecânicas que não são passíveis de conserto imediato no local; reforço no quadro de empregados das áreas de Segurança, Operação e chefes gerais de Estação nas unidades de maior movimento: Osasco e Santo Amaro; e aumento na equipe de engenheiros de plantão no CCO – Centro de Controle Operacional”.

A passagem de 100 mil passageiros diários no início de 2007 para 140 mil em seu fim se deveu, além da abertura da nova estação, ao descredenciamento da Cooperauthon, importante cooperativa de transporte rodoviário que atuava no sub-sistema local municipal. A Linha 5 - Lilás teve grande acréscimo de usuários no mesmo período e isso afetou a Linha 9 - Esmeralda, pois até então a Linha 5 - Lilás

operava, em sua essência, como um ramal da linha 9. Com trens pouco numerosos e com poucos carros (6 trens de 3 carros - série 2100 - e 10 de quatro carros - série 3000), a linha começa a ficar superlotada.



Figuras 23 e 24: séries 3000 e 2070, respectivamente. Fontes: desconhecido e Ricardo Guimarães, respectivamente.

No início de 2008, inauguram-se as estações Primavera-Interlagos e Grajaú e encerra-se a baldeação em Jurubatuba. Já se pensa em adquirir mais 8 trens de 8 carros cada para a linha (embrião da série 7500, que seria encomendada em 2009), acoplar os trens curtos para se tornarem longos e retirar de circulação os trens espanhóis de baixa aceleração.



Figura 25: mapa atual da Linha 9 - Esmeralda.

Ainda em 2008, todas as linhas da CPTM recebem novos nomes. A Linha C - Celeste passa a se chamar Linha 9 - Esmeralda. As linhas sobre trilhos de São Paulo, que formam um mesmo sistema, agora teriam um sistema unificado de numeração. Apesar disso, as linhas ferroviárias perdem a denominação por cores e

recebem nomes de pedras, enquanto as metrorviárias permanecem com as cores.

A demanda começa a crescer num ritmo muito acentuado após a abertura da extensão sul. Com a chegada da nova frota 2070, a série 2100 é gradualmente acoplada e passa a rodar com 6 carros. No final de 2008, 190.000 passageiros diários usam a linha. É adotada uma estratégia operacional diferenciada nos horários de maior movimento para reduzir o intervalo entre Pinheiros e Jurubatuba. A cada dois trens sentido sul, um somente opera até Jurubatuba enquanto o outro vai até Grajaú. No sentido oposto, a cada dois trens, um somente opera até Pinheiros enquanto o outro vai até Osasco. A estratégia perdura até hoje nos horários de pico.

Em 2009, é dado um importante passo na modernização do sistema de controle de trens ao ser assinado o contrato para implantação do controle automático de trens, o ATO - *automatic train operation*. O sistema foi implantado parcialmente, mas nunca chegou ao nível de automação das linhas 1 e 3 do metrô, que operam desde suas inaugurações com o ATO. Ainda em 2009, é assinado o contrato para o fornecimento de 8 trens com 8 carros cada (série 7500) para reforçar a operação.

A superlotação passa a ser crítica e, em 2010, a CPTM aloca vários dos recém-chegados trens da série 7000, de 8 carros cada, originalmente comprados para as linhas 7 - Rubi e 12 - Safira, para a linha 9. Com isso, retiram-se as composições espanholas (série 2100) devido à sua baixa aceleração e mandam-nas para a linha 10 - Turquesa.

As demais composições que operavam a linha são acopladas e, em dezembro de 2010, todos os trens passam a ter 8 carros. Para isso, entretanto, as estações do ano 2000 e 2001 tiveram suas plataformas estendidas. A duplicação do número de carros de cada trem (de 4 para 8) foi acompanhada de uma elevação quase que instantânea no número de passageiros transportados, fato que mostra que a demanda reprimida era enorme, em torno de 150 mil passageiros diários.

Após a saída dos trens espanhóis, de baixa aceleração, uma nova programação de velocidades é adotada e a linha se torna mais veloz, mas passa a sofrer graves

problemas de energia. No mesmo ano, as subestações da linha passam a ser telecomandadas.

Ainda em 2010, são reformadas as estações Ceasa, Villa Lobos-Jaguaré e Cidade Universitária e é licitado o projeto funcional da extensão até Varginha, com 4,5 quilômetros e duas estações - Mendes-Vila Natal e Varginha, cujo projeto básico e executivo são licitados em 2012 e cujas obras se iniciam em 2013.

Em 2011, a disponibilidade dos trens da Linha 8 - Diamante, já bastante antigos, cai devido a sucessivas falhas e os 2070 e 3000 passam a ser compartilhados com ela. No mesmo ano, é anunciada uma ligação expressa entre Pinheiros e Barueri com paradas intermediárias apenas em Osasco e Carapicuíba. O expresso Oeste-Sul, como foi batizado, permitiria a mudança de ponto final da Linha 9 - Esmeralda de Osasco para Lapa ou Água Branca. O projeto não avançou pois o governo priorizou outras demandas da CPTM, como a troca de trens, reformas e reconstruções de estações de outras linhas.

A demanda da linha sofre um novo incremento com a abertura da integração com a Linha 4 - Amarela na estação Pinheiros em 2011, superando 500.000 passageiros diários no final do ano (contra 270.000 no fim de 2010). A Ponte Orca se torna desnecessária com a nova conexão e é extinta. Desde então, nunca se levou adiante o término da reconstrução da estação ferroviária de Pinheiros, que foi executado pela metade e hoje divide a operação com metade da estação antiga da FEPASA.

No segundo semestre, é anunciada a construção da Estação João Dias entre Granja Julieta e Santo Amaro. Ela seria construída pela iniciativa privada e seria entregue com duas torres comerciais. A estação não foi construída.

Em Grajaú, é aberta integração tarifária com a EMTU por meio do cartão BOM.

Com a entrada em operação da nova frota 7500 em 2011, os 2070 e 3000 são progressivamente retirados da Linha 9 - Esmeralda e deixam definitivamente a operação em 2012.

Devido à superlotação das estações Pinheiros e Santo Amaro, a tarifa no horário de

vale foi reduzida e a integração com os ônibus municipais no terminal Santo Amaro passou a ser gratuita. As medidas não surtem efeito, especialmente por causa do tempo de viagem maior no sistema sobre pneus.

Entre 2011 e 2013, toda a rede aérea do trecho herdado pela FEPASA é modernizada e passa a ser autocompensada, resolvendo os frequentes problemas de quedas de energia pelos quais a linha passava, devida à própria precariedade da rede aérea.

Hoje, a Linha 9 - Esmeralda possui 18 estações e transporta 569.000 passageiros por dia. Ela é a segunda que mais transporta em toda a CPTM e o intervalo no pico é de 4 minutos no loop Pinheiros-Jurubatuba.

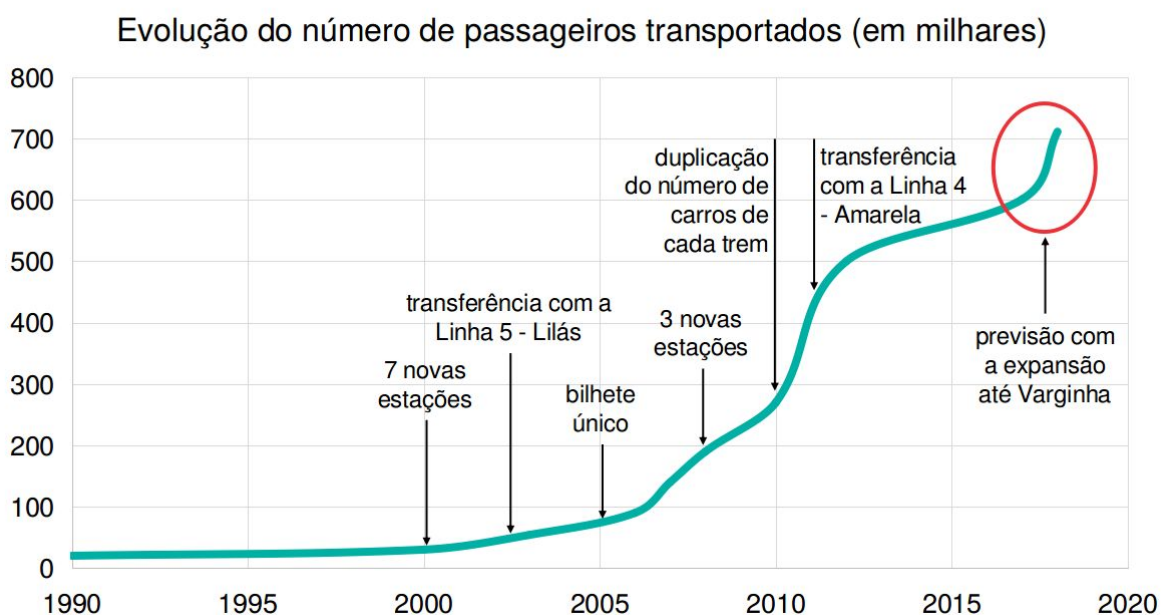


Figura 26: gráfico da evolução do número de passageiros transportados (em milhares) na Linha 9 - Esmeralda desde 1990 até 2017, incluindo previsão após abertura de Mendes e Varginha em 2018.

As obras de extensão até Varginha estão adiantadas, com terraplenos e obras de arte especiais acabados. Nenhum trilho foi assentado ainda. A estrutura de concreto armado das estações atinge o mezanino e a área em obras está vedada. Infelizmente, as obras estão paralisadas devido à falta de recursos do governo estadual. Estima-se um incremento de 120 mil passageiros diários no ramal após a

abertura desta extensão. Com isso, a demanda diária passaria dos atuais 570 mil para 690 mil passageiros transportados diariamente.



Figura 27: estação Mendes-Vila Natal em maio de 2017. Fonte: Globo.

A rede de fibra óptica instalada pela CPTM em 2001, dadas as transformações pelas quais a linha passou, se tornou insuficiente. Um novo cabo óptico de 24 fibras foi entregue entre Osasco e Grajaú e, junto com a expansão até Varginha, um novo sistema de transmissão óptico, com tecnologia IP-MPLS será implantado em toda a linha sem, entretanto, paralisar a operação do sistema óptico atual, cujos serviços deverão ser migrados sem interrupção. Além deste novo sistema, um novo cabo óptico de 72 fibras será implantado desde o atual CCO da CPTM no Brás, até Varginha, passando por todas as estações, subestações elétricas e cabines seccionadoras da linha 9-Esmeralda.

No dia 19 de outubro de 2017, foram liberados recursos do PAC Mobilidade para implantar o novo sistema de telecomunicações, sinalização e das vias e integração ao CCO Brás. O consórcio integração, formado pela Telar e Spavias, responsável pelo sistema de telecomunicações, receberá R\$49,3 milhões, ao passo que a Alstom, responsável pela sinalização, receberá R\$42,5 milhões, totalizando R\$ 91,8 milhões.

3 FUNÇÕES DA SINALIZAÇÃO E DAS TELECOMUNICAÇÕES NA FERROVIA

Nos primórdios da ferrovia, a preocupação se restringia ao anúncio da proximidade dos trens para as pessoas, pois apenas um trem circulava entre os extremos de uma ferrovia uma vez ao dia.

Com a inclusão de mais de um trem em uma mesma ferrovia, surgiu a necessidade de controle das composições, que passou a ser feito por meio de agentes espalhados ao longo da linha. Estes agentes despachavam os trens tendo como base apenas o tempo transcorrido desde a partida do trem antecedente. Duas ordens básicas eram transmitidas verbalmente ou visualmente: pare ou siga. Não era possível saber, entretanto, se o trem antecedente havia cumprido sua rota a tempo, se havia quebrado ou se adiantado, pois não havia sistemas de detecção ou de telecomunicações.

Com o aumento do tráfego, foram construídos desvios para que pudesse ocorrer o cruzamento dos trens na metade do trajeto. Ao se saber a velocidade do trem em cada trecho, conhecia-se o tempo de percurso até o local de cruzamento. Foi possível, então, coordenar as partidas para que os trens não precisassem esperar demasiadamente a chegada do outro no desvio ou retornar para dar preferência a um comboio mais adiantado, ocorrência custosa que não era rara. Este sistema é o licenciamento por tabela e horário.

Evidentemente, por ser baixo o coeficiente de aderência roda-trilho, as distâncias para parar uma composição são elevadas. Com isso, o primitivo sistema era extremamente inseguro, pois não havia distância hábil para se responder a imprevistos, como um trem quebrado no caminho. Este problema foi revelado com o aumento do peso e do comprimento das composições, fatores que aumentaram a distância de frenagem. O controle de velocidade máxima também não era possível à época, o que não era muito problemático por causa das baixas velocidades dos comboios.

A ação dos agentes ferroviários foi substituída por sinaleiros com braços mecânicos

durante o dia. Eles eram acionados manualmente e presencialmente, mas depois foram conectados por cabos e passaram a ser comandados a partir de um posto central em cada estação. Isso possibilitou que os sinaleiros se afastassem das estações. Não mais duas informações, mas agora três ordens poderiam ser transmitidas: pare, siga e siga com precaução. À cada posição do braço correspondia uma instrução. À noite, entretanto, devido à inexistência da eletricidade, os agentes ainda eram necessários, pois se usavam lanternas de cores diferentes para transmitir as informações. Com o advento da eletricidade, a iluminação dos sinaleiros e o posicionamento dos seus braços mecânicos passou a depender dela.



Figura 28: sinaleiros mecânicos com indicação luminosa. Fonte: PITA (2008, adaptado).

O posicionamento dos braços a partir da eletricidade foi feito com o conceito de falha segura, ideia que se incorporou irreversivelmente aos sistemas de sinalização. Se por algum motivo faltasse energia, a aceleração da gravidade faria o braço mecânico cair, ficando na posição horizontal, que indica parada.

O incremento do tráfego fez com que as estações aumentassem o grau de complexidade do plano de vias. Vários desvios e ramais foram construídos, o que exigiu mais sinaleiros e agentes. Cada desvio era operado *in loco*. Frequentemente eram licenciadas rotas conflitantes e os acidentes não eram raros.

O próximo passo para racionalizar a exploração ferroviária foi concentrar as alavancas de controle dos aparelhos de mudança de via e os dispositivos de acionamento dos sinaleiros em um único ponto em cada estação. Este local de controle ficava geralmente em uma pequena torre e podia controlar apenas os

sinais e desvios de suas proximidades. Veja a torre de controle da estação de Louveira na figura 29 a seguir.



Figura 29: torre da estação da cidade de Louveira em 1974.

Foto: José Roberto Pascon. Fonte: acervo Rafael Corrêa.

O avanço com a construção das torres foi significativo, mas ainda assim se mostrou insuficiente, pois não havia como garantir que a configuração de rotas determinada pelos desvios fosse compatível com a indicação dos sinais .

Surgem, então, os sistemas de intertravamento, que interligaram mecanicamente e eletricamente os sinais e os desvios de forma a evitar rotas conflitantes, as quais eram bloqueadas. Cada rota era representada por uma chave ou alavanca no sistema mecânico. Ao ser requisitada, a chave era retirada de sua fechadura e isso bloqueava a retirada das chaves representantes de rotas conflitantes. A orientação dos sinais e dos aparelhos de mudança de via não mais poderiam ser mudados livremente, mas ainda assim o condutor poderia avançar um sinal de pare sem que isso detivesse a composição. Além disso, não se podia detectar a presença de um trem trafegando num determinado trecho.



Figura 30: cabine com alavancas intertravadas representando rotas na região da estação.

Fonte: revista Líneas.

Portanto, o que se extrai da evolução histórica é a oposição entre segurança e capacidade. Ao mesmo tempo em que não se desejavam acidentes, queria-se um sistema com a maior capacidade possível. A diminuição do espaçamento entre trens diminuía a segurança, mas aumentava a capacidade.

A sinalização ferroviária nasceu para promover a circulação segura na ferrovia, atendendo basicamente a três referências, segundo PITA (2008): “manutenção de uma distância segura entre trens circulando no mesmo sentido da mesma via, circulação segura de trens no sentido oposto e regulação do avanço dos trens de acordo com a densidade do serviço e velocidade exigida”, incluindo a possibilidade de retenção completa.

Conforme os aspectos de segurança da circulação se consolidavam, a possibilidade de garantir eficiência no transporte ganhou destaque e se incorporaram as funções de regularidade da circulação, aumento da velocidade média e incremento da capacidade. Modernamente, o desempenho dos trens, a gestão da via e a gestão do material rodante também são auxiliados por este item.

Conforme os sistemas de comunicações se desenvolviam, as ferrovias os agregavam e os antigos modos de operação eram aprimorados. Os problemas acerca da incerteza da chegada do trem a uma determinada estação seriam enfim resolvidos. A sinalização precisava de transmissão rápida de informações para a tomada de decisões. As comunicações preencheram esta lacuna de forma tão intensa que passaram a fazer parte da sinalização, de modo que quando se fala em um sistema de sinalização já se tem em mente também o sistema de comunicações.

A primeira contribuição dos sistemas de comunicação às ferrovias foi o telégrafo. As estações eram ligadas por um fio condutor. Em cada estação havia uma fonte, um ímã e um interruptor. Quando o interruptor era apertado, o circuito era fechado e a corrente era transmitida até o ímã da outra estação, que era excitado e produzia um sinal. A transmissão via telégrafo por meio código Morse deixava os sinais registrados, oferecendo maior segurança. Conforme as linhas avançavam para o interior do Brasil, a implantação do telégrafo para usos diversos era incrementada e difundida.

Mais tarde, o sistema de telégrafos foi substituído pelo sistema de telefonia. Uma das primeiras funções foi conectar uma estação com as suas vizinhas mais próximas. Depois, o sistema passou a ser centralizado e já era possível efetuar chamadas a partir da central para uma única estação, para um grupo específico de estações ou para todas as estações. O avanço da eletrônica diminuiu o tamanho das centrais e aumentou a capacidade de processamento. O rádio também desempenhou papel fundamental na segurança e licenciamento da operação dos trens.

É impossível conceber e operar uma ferrovia sem telecomunicações. O primeiro objetivo dos sistemas de telecomunicações na ferrovia, que é válido até hoje, é promover a transmissão eficiente de dados para subsidiar o funcionamento eficaz do sistema de sinalização. Com o tempo, o sistema ganhou outras funções, e ampliou seu campo de atuação, sendo definido, de acordo com NABAIS (2014), como “o conjunto de subsistemas de comunicação que permite a perfeita interação

das áreas administrativa e operacional e que é necessário para o perfeito funcionamento da ferrovia”.

A telecomunicação ferroviária moderna é subdividida em transmissão de dados, radiocomunicação, circuito fechado de TV (CFTV) e sonorização.

O sistema de comunicação de dados transmite as informações entre o CCO e as unidades remotas (de campo). De acordo com NABAIS (2014), podem ser empregados “cabos de fibra óptica e cabos coaxiais, telefônicos e metálicos, além do sistema de posicionamento via satélite (GPS)”. O mesmo autor cita que, nas salas técnicas ao longo da ferrovia, há equipamentos multiplexados que recebem, geram e transmitem as comunicações que circulam pelo sistema por meio de sinais digitais.

A radiocomunicação permite que o condutor da composição receba códigos de velocidade do sistema de sinalização em sua própria cabine. Ele também permite comunicação entre os trens e a central de controle, rastreamento das composições e das cargas.

O sistema de circuito fechado de TV garante supervisão de áreas por meio de câmeras de segurança. As imagens são transmitidas ao CCO, mas antes são compactadas, gravadas e multiplexadas.

Por fim, a sonorização garante a emissão de avisos de orientação aos usuários e aos funcionários em áreas específicas.

Dessa forma, um bom sistema de telecomunicações é capaz de estabelecer um canal de comunicação entre estações, trens e CCO, transmitindo a posição, a velocidade e outras condições das composições. Além disso, devem-se prestar serviços relacionados à segurança do usuário e do patrimônio e, por fim, disponibilizar informações aos clientes da ferrovia.

Por ter direito de passagem em sua faixa de domínio, é comum que as margens das ferrovias recebam cabos de empresas de telecomunicações, que pagam para passá-los e para mantê-los. Esta sempre foi uma fonte extra de receita.

4 TECNOLOGIAS DE SINALIZAÇÃO

As formas de operação mecanizada e elétrica, como intertravamentos e sinaleiros, descritas no início da seção anterior trataram, basicamente, da forma de controle nas proximidades das estações. Nesta parte, será entendido como os trens são controlados entre cada estação e a forma com que as diversas tecnologias evoluíram, interagiram e chegaram às opções atuais.

A Linha 9 - Esmeralda teve um grande salto em tecnologia em 1986, passando do *staff* para o controle de trens automático (ATC). Para entender o ATC, faz-se mister entender os sistemas que o precederam, pois eles foram incorporados ao ATC. A adequação das duas infraestruturas de sinalização às necessidades do ramal em cada fase operacional receberá atenção especial.

Primeiramente, um trem era despachado certo tempo após a saída do trem anterior. Depois, fizeram-se tabelas de horários. Mais tarde, com o advento do telefone e do telégrafo, as estações passaram a se comunicar entre si acerca da condição da via (livre ou ocupada). Este sistema, chamado de bloqueio telefônico, foi aprimorado com a formalização da autorização de passagem por meios de bastões, o que se denominou licenciamento por *staff*, tema do próximo item.

4.1 LICENCIAMENTO POR STAFF

No século XIX, na Inglaterra, com um leque tecnológico ainda restrito, foi desenvolvido o sistema de licenciamento (autorização de passagem) por *staff*, o qual marcou a história das ferrovias brasileiras. Esse foi o primeiro sistema de licenciamento implantado no ramal de Evangelista de Souza (atual Linha 9 - Esmeralda da CPTM) pela Estrada de Ferro Sorocabana. O *staff*, ou estafe, aportuguesado, era um equipamento que abrigava diversos bastões (ver figura 24). Cada trecho de ferrovia demandava dois aparelhos de *staff*: um em cada extremidade. Na junção de dois trechos, haveria dois *staffs*, um para cada trecho e assim sucessivamente. Portanto, o funcionamento deste sistema ocorria em pares para cada segmento.

Um trem que desejasse trafegar por determinada rota deveria requisitar, em sua

estação inicial, o bastão do *staff* correspondente ao trecho solicitado. Ao ser retirado, o aparelho passava a acusar linha ocupada. Todavia, antes de entregar o bastão ao maquinista (ver figura 32), o chefe da estação telefonava (ou telegrafava) para a estação da outra extremidade do trecho e confirmava que a via estava livre. Desta forma, tanto o aparelho de *staff* da estação de origem quanto o da estação de destino acusavam ocupação no trecho e impediam a retirada de mais bastões. Na chegada do trem à estação final do trecho, o bastão era entregue e introduzido no *staff*, que liberava a retirada de mais bastões. Isso eliminou o licenciamento verbal de trechos, que era feito por telefone.

Os trens que solicitassem tráfego por uma rota ocupada não conseguiriam receber o bastão e deveriam aguardar na estação. Entretanto, se o maquinista desejasse avançar mesmo sem o bastão, não haveria como parar o trem ou identificar sua presença a partir da estação. Não era possível usar bastões de um trecho em outro, pois eles não eram intercambiáveis: cada bastão somente encaixava no aparelho de *staff* de seu trecho correspondente.

Além disso, os chefes da estação precisavam se certificar de que o último vagão havia chegado, pois a presença de vagões desprendidos no meio da linha era inadmissível. Isto poderia ser feito transmitindo a numeração do último vagão por telefone ou telégrafo ou colocando uma indicação reconhecida em uma região específica apenas no último vagão de toda a composição.

O sistema, se bem operado, funciona bem. No entanto, há algumas limitações. Os bastões podem ser perdidos ao longo da viagem e pode ocorrer falta de bastões devido ao tráfego intenso em apenas uma direção. Porém, a principal limitação é a capacidade. Uma boa operação consegue licenciar três trens por hora e, operando no limite máximo, até quatro trens.

Após a reinauguração da linha de subúrbio pela FEPASA em 1981, o sistema de controle não mudou. Foi isso que limitou os intervalos a 20 minutos durante os horários de pico. A FEPASA chegou a conseguir operar trens a cada quinze minutos ainda com o *staff* na linha sul. Na ocasião, era utilizado o telefone com magneto.

Essa forma de controle não é o melhor sistema para o transporte metropolitano sobre trilhos. Além de limitar a capacidade, a passagem do bastão pode ser prejudicada em estações de alto fluxo. Em estações de baixo fluxo, por outro lado, pode haver demora se dois trens chegarem simultaneamente, pois um comboio deverá esperar o término do trabalho do chefe da estação com a outra composição.



Figuras 31 e 32: aparelho de staff inglês e troca de bastões em uma estação australiana, respectivamente. Fontes: Grace's Guide to British Industrial History e Johnny's Pages, respectivamente.

4.2 BLOQUEIO ELÉTRICO

O bloqueio elétrico relacionou, pela primeira vez, as indicações luminosas dos semáforos de estações adjacentes. Quando um trem partia de uma estação em direção a outra, os sinais vermelhos eram acionados manualmente pelos agentes de cada estação e qualquer outro trem que quisesse adentrar no trecho por uma de suas extremidades encontraria um sinal vermelho. O sistema se assemelhava ao *staff*, já que a circulação apenas seria liberada quando o trem chegasse ao final do trecho.

Primeiramente, o sistema foi concebido para que a estação que primeiro requisitasse autorização de passagem de um trem por um trecho a conseguisse

independentemente das estações adjacentes.

Depois, o bloqueio elétrico evoluiu para o chamado sistema de petição-concessão. Nele, para que uma estação conseguisse um sinal verde para determinado trem, seu chefe deveria pedir autorização para a estação adjacente, a qual poderia negá-la ou concedê-la. Tanto a petição quanto a concessão eram feitos por pessoas operando máquinas conectadas ao sistema elétrico instalado entre cada trecho.

4.3 BLOQUEIO AUTOMÁTICO

A automação foi feita para que os sinais não mais precisassem ser operados por pessoas.

No sistema com pedais, a configuração luminosa era alterada conforme uma composição passasse sobre eles ao sair de uma estação. As luzes voltariam a indicar via livre quando o comboio passasse sobre os pedais antes de entrar na próxima estação. Entretanto, ainda era necessário verificar se o último vagão havia chegado. Este sistema era, basicamente, um sistema de *staff* sem bastões.

Para suprimir a verificação humana da chegada do último vagão, desenvolveram-se os contadores de eixos eletromagnéticos. Conforme o trem passava no contador de eixo instalado na saída de uma estação, as luzes eram alteradas e somente voltavam à iluminação original após a detecção da passagem completa do trem pelo contador da estação seguinte.

Tomando partido da indução eletromagnética, os contadores de eixos foram desenvolvidos de forma que se conseguisse captar não apenas o número de excitações produzidas (número de eixos que passaram), mas também o sentido do trem.

Assim, se conseguiu eliminar a atuação humana tanto para operar os sinais quanto para verificar o último vagão. Entretanto, os sistemas de intertravamentos e de sinalização nos trechos de vias das estações ainda eram operados manualmente.

4.4 CIRCUITO DE VIA

O advento do circuito de via abriu possibilidades para mudanças importantíssimas na gestão do tráfego porque, pela primeira vez, permitiu que mais de um trem ocupasse o trecho entre duas estações consecutivas. Toda a lógica moderna dos sistemas de sinalização foi construída a partir do conceito de circuito de via, originalmente concebido em 1870.

A via férrea passa a ser isolada eletricamente em trechos de determinada extensão por meio de talas. A tala do trilho direito deve estar ao lado da tala do trilho esquerdo, formando um par. À extensão entre pares de talas consecutivas se dá o nome de circuito de via ou bloco. Em uma das extremidades, introduz-se um resistor e uma fonte de alimentação. Na outra ponta, é colocado um relé e um fusível. Com isso, realmente é formado um circuito elétrico tendo os trilhos como condutores, daí o nome circuito de via.

Quando a via está livre, ou seja, sem nenhum trem circulando no trecho do circuito de via em análise, é estabelecida uma corrente elétrica que passa pelo relé e mantém seus contatos fechados. Veja a figura 23 a seguir.

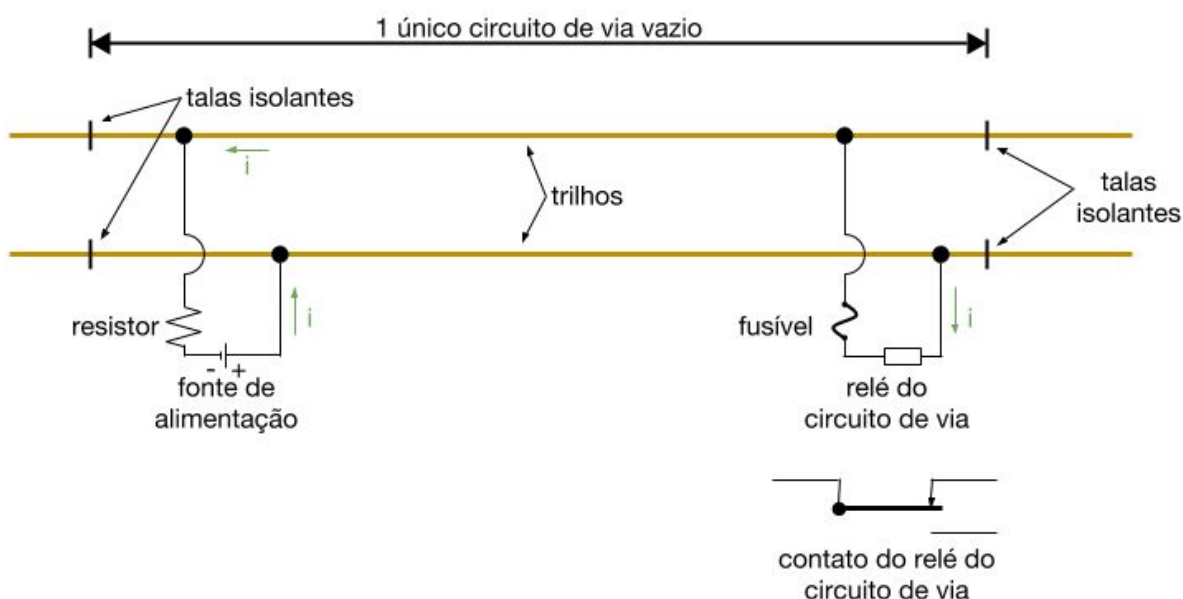


Figura 33: circuito de via livre (sem trem circulando no trecho).

Fontes: RFFSA e SENAI (adaptado).

Por outro lado, se houver algum comboio trafegando no trecho, as rodas e os eixos passam a oferecer um caminho mais fácil para a corrente elétrica, a qual deixa de circular pelo relé. Os contatos do relé são abertos neste caso. Veja a imagem:

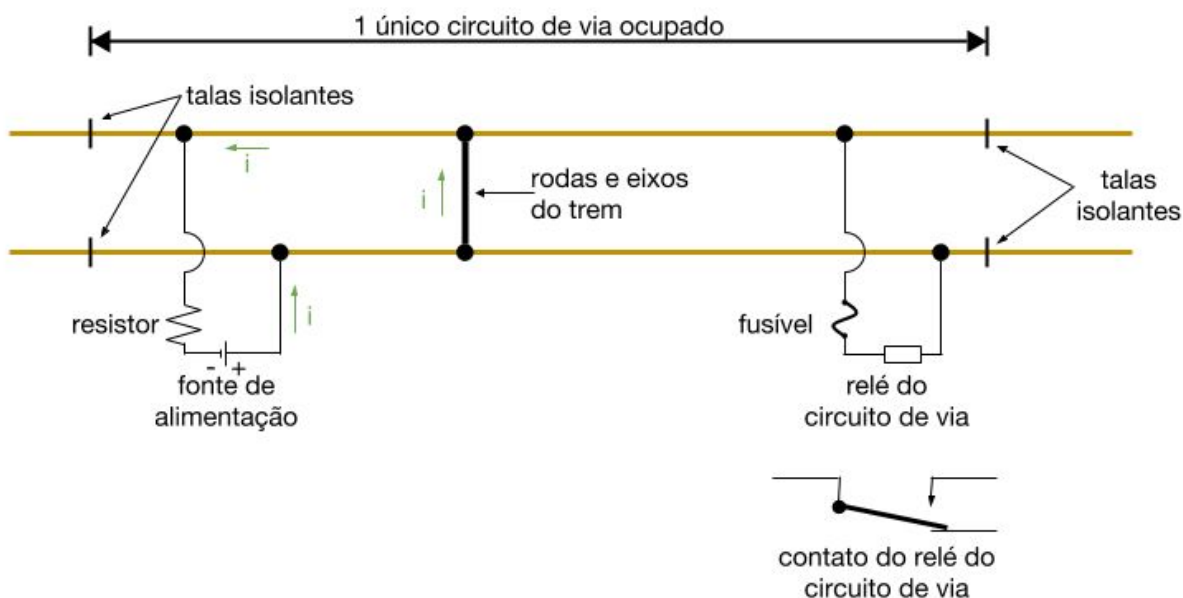


Figura 34: circuito de via ocupado. Fontes: RFFSA e SENAI (adaptado).

Existem também circuitos de via em que apenas um trilho recebe o isolamento. O outro é deixado livre para o retorno da corrente de tração. Em geral, este tipo é de comprimento e uso restrito, além de não ser o presente hoje ao longo da linha 9 da CPTM. Por essa razão, não será aprofundado este item.

Ao lado de cada par de talas, é instalado um semáforo. Quando não há ocupação no circuito de via, as bobinas que compõem o relé recebem corrente e, por indução eletromagnética, levantam os seus contatos, os quais fecham o circuito que alimenta a luz verde, conforme a figura a seguir:

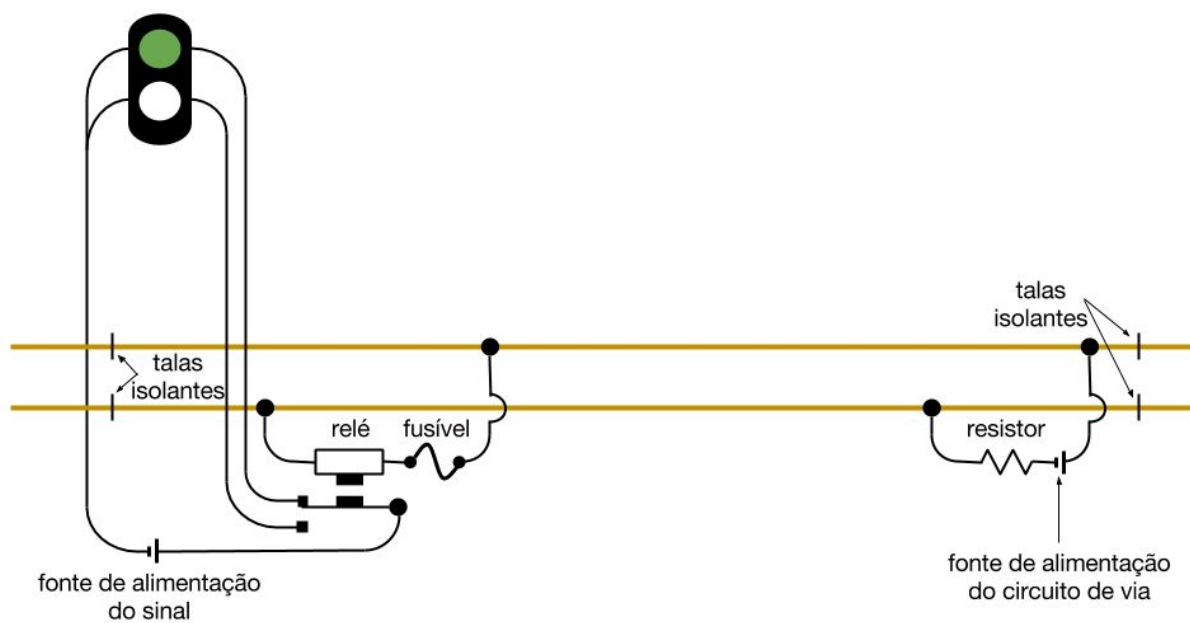


Figura 35: circuito de via livre e circuito do semáforo. Fonte: PITA (2008, adaptado).

Se houver ocupação no trecho, os eixos e as rodas da composição curto-circuitam o relé e seus contatos caem por gravidade, o que fecha o circuito de alimentação da lâmpada vermelha do sinal, conforme a imagem 36 a seguir.

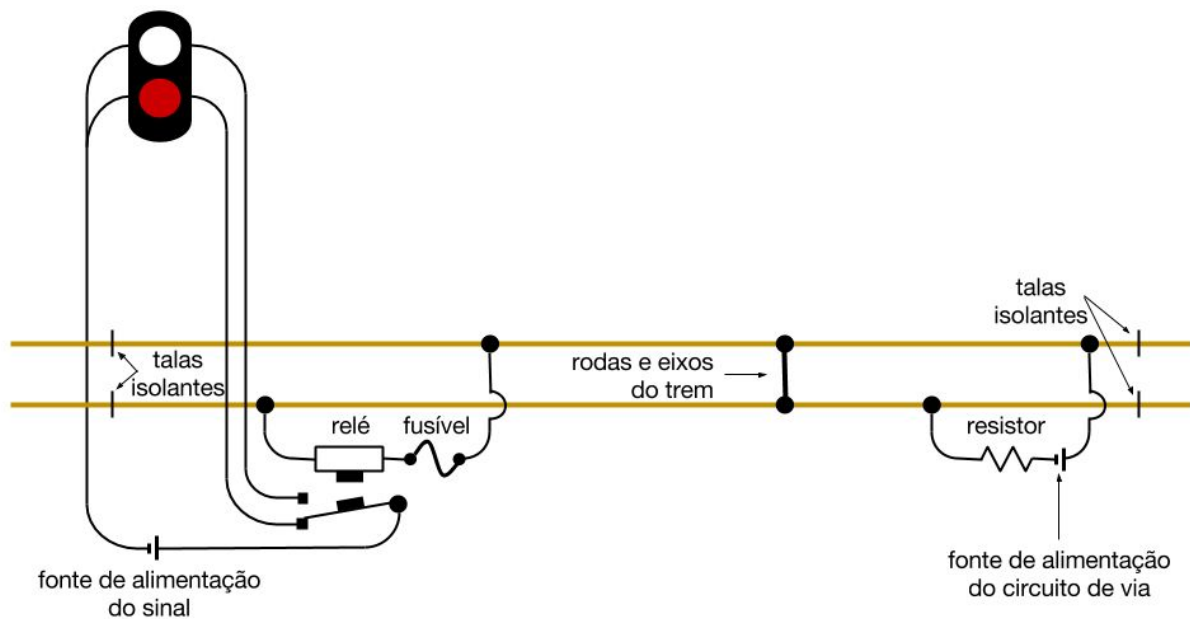


Figura 36: circuito de via ocupado e circuito do semáforo. Fonte: PITA (2008, adaptado).

O conceito de falha segura foi incorporado a este sistema. Se houver interrupção no fornecimento de energia ao circuito da via ou se por algum motivo os trilhos estiverem curto-circuitados, os contatos do relé cairão e o sinal estará vermelho. Se faltar alimentação no circuito de alimentação do sinal, a ausência de indicação luminosa deve ser interpretada também como um sinal vermelho.

Além da corrente que alimenta o relé, que geralmente é alternada, também pode circular pelos trilhos o retorno da corrente que alimenta o trem, que geralmente é contínua. Para garantir a passagem da corrente contínua pelas talas, instalam-se juntas indutivas que oferecem elevada impedância à corrente alternada e baixa à contínua.

O desenvolvimento dos circuitos de via só foi possível graças ao desenvolvimento da própria eletricidade. Os sinais (ou sinaleiros), que não estavam tão longe das estações, agora poderiam se espalhar ao longo da via e informar ao condutor se o próximo trecho da via está livre ou ocupado.

Os circuitos de via possuem comprimento aproximado de 800 metros a 1.200 metros e permitiram que a própria equipe de bordo garantisse a segurança ao longo do trajeto. Tome-se como exemplo um trem percorrendo o trecho de Pinheiros a Largo Treze (atual Santo Amaro) em 1986. Com *staff*, o trem teria que percorrer os 12 quilômetros para liberar a via para o próximo trem. Com os circuitos de via, o próximo trem poderia prosseguir viagem conforme o trem da frente fosse liberando os circuitos da frente. Portanto, as estações deixaram de ser os únicos pontos de liberação de tráfego.

Todas as linhas da CPTM operam com circuitos de via. Em algumas delas, os circuitos de via ainda são longos e impedem a redução de intervalos, pois enquanto o trem não liberar completamente o circuito, a luz vermelha ainda permanecerá acesa. Este não é o caso da Linha 9 - Esmeralda. Portanto, se houver um trem de 100 metros num circuito de 2 quilômetros, o sistema acusa que todo o trecho está ocupado.

Ainda vale ressaltar que, quando um trem passa de um circuito de via para o outro, os carros da composição se apoiam sobre trilhos de mais de um circuito de via e os dois circuitos são tidos como ocupados.

O uso exclusivo da luz vermelha e verde para ordenar ações ao condutor não é suficiente. Um sinal verde indica possibilidade de desenvolver velocidade, enquanto um sinal vermelho ordena parada. Muitas vezes, ao avistar um sinal vermelho, não é possível parar o trem antes dele, pois a aderência roda-trilho é baixa e a linha pode ser sinuosa, fato que impede a visualização com antecedência. Não é possível parar o trem de imediato. A situação abaixo é irreal:

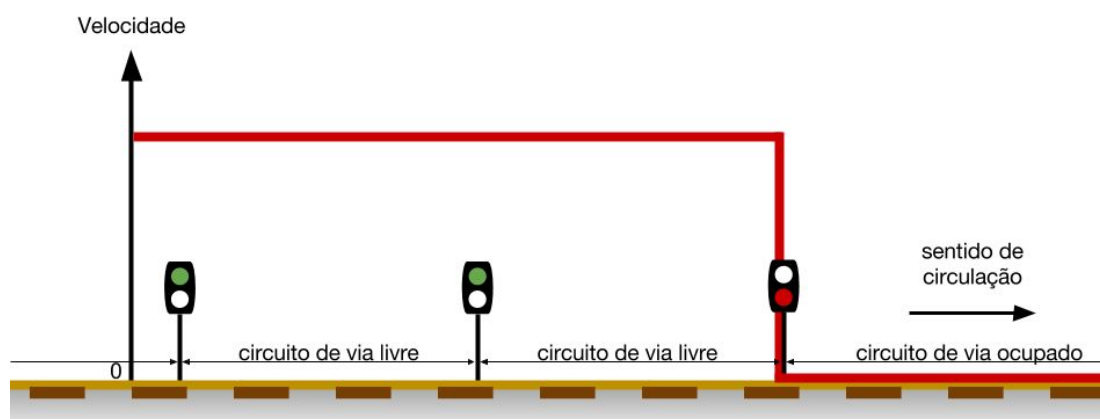


Figura 37: perfil de velocidades num sistema de sinalização com circuitos de via e sinais com apenas luzes verdes e vermelhas. Fonte: PITA (2008, adaptado).

A introdução da luz amarela resolve o problema ao informar que o próximo sinal está vermelho. Com isso, há espaço para o comboio reduzir a velocidade até um valor tal que consiga, quando avistar o sinal vermelho, parar a composição antes de ultrapassá-lo. Veja a figura 38 a seguir. O espaço entre os sinais, que nada mais é do que a extensão aproximada de cada circuito de via, é dimensionado a partir das velocidades máximas permitidas, da capacidade de desaceleração dos trens que circulam no ramal e da geometria da via.

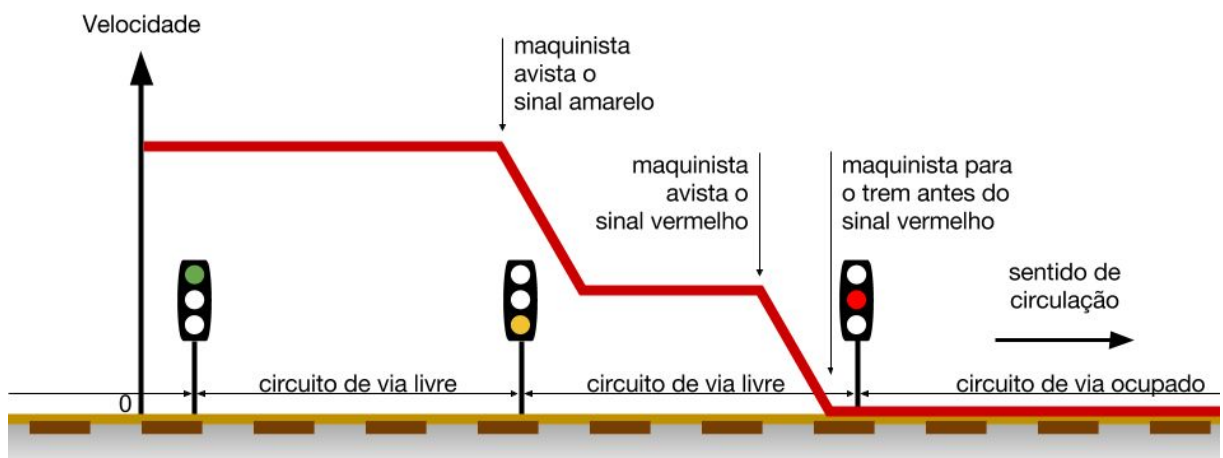


Figura 38: perfil de velocidades num sistema de sinalização com circuitos de via e sinais com luzes verdes, amarelas e vermelhas. Fonte: PITA (2008, adaptado).

Esta lógica é a adotada na CPTM. Quando um circuito de via está ocupado, haverá um sinal vermelho em seu início e um amarelo no início do circuito de via anterior. Os circuitos abaixo são a base de toda a sinalização na CPTM e nas linhas 1 - Azul e 3 - Vermelha do Metrô de São Paulo:

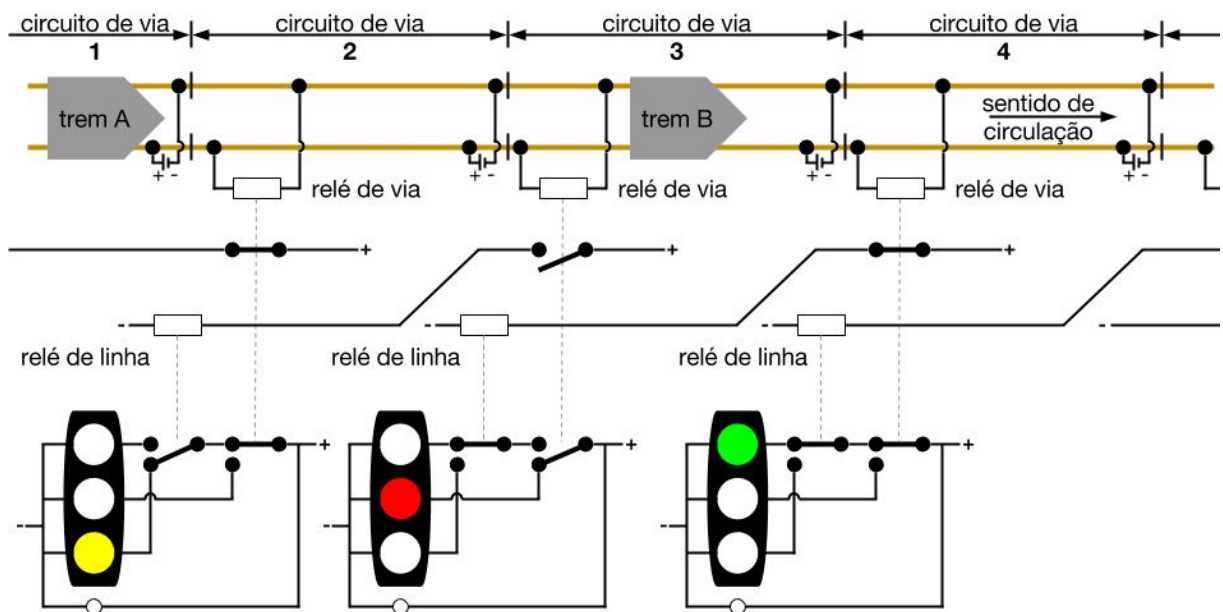


Figura 39: princípio de funcionamento de um circuito de via com bloqueio automático luminoso de três cores. Fonte: PITA (2008).

Hoje, as vias são projetadas para operar trens em ambos os sentidos. No passado, era necessário acionar uma alavanca em cada estação para fazer com que os sinais voltados ao sentido contrário do movimento do trem ficassem vermelhos até a próxima estação. Modernamente, detectores conseguem captar a direção de circulação do trem automaticamente.

4.5 CTC - CONTROLE DE TRÁFEGO CENTRALIZADO

O CTC foi desenvolvido nos Estados Unidos em 1927 como resposta à necessidade de aumentar a capacidade da ferrovia e de ter estações que operassem sem nenhum funcionário. Os antigos métodos de tabelas horárias haviam se tornado obsoletos e mínimas interferências provocavam atrasos que se acumulavam e geravam prejuízos.

Após conseguir que os sinais funcionassem automaticamente por meio dos circuitos de via, o próximo passo foi fazer com que a informação da ocupação ou desocupação de cada circuito de via fosse disponibilizada em tempo real em um único lugar, o centro de controle operacional (CCO). Além disso, os aparelhos de mudança de via também passaram a ser comandados à distância a partir do CCO, o qual também poderia se comunicar diretamente com os trens e estações.

O CTC é definido como um sistema operacional em que uma terceira pessoa comanda remotamente a operação dos trens em um trecho, tendo controle sobre sinais, ocupação dos circuitos de via e aparelhos de mudança de via. A lógica de intertravamentos das rotas também faz parte deste sistema.

O controle remoto de trens diminuiu o quadro de funcionários da ferrovia, permitiu ações rápidas frente a imprevistos, transmitiu informações sobre falhas de equipamentos de via e integrou os sistemas de controle dos trechos entre as estações com os trechos das proximidades das estações.

O sistema cresceu grandemente nos anos 50 nos Estados Unidos. No Brasil, a Estrada de Ferro Sorocabana o implantou em 1963 na linha tronco no trecho entre Júlio Prestes e Assis, o qual deixou de operar por *staff*. O salto na operação foi enorme. Antes, o sistema de bastões não detectava os trens, os desvios e sinais

eram controlados manualmente em cada estação e trechos longos entre paradas eram bloqueados até que se confirmasse a chegada do trem que o ocupava por meio de comunicação entre agentes em campo. Todas estas limitações foram superadas por ocasião da inauguração do CTC: os trens passaram a ser detectados e despachados automaticamente, os sinais e desvios da linha passaram a ser comandados em conjunto no CCO e mais de um trem poderia ocupar o trecho entre duas estações consecutivas.

Surge, pela primeira vez na ferrovia, o painel de controle, que exibe graficamente e simultaneamente: os circuitos de via e suas ocupações; os aparelhos de mudança de via e suas posições e; os sinais e suas indicações.



Figura 40: painel do CTC da Estrada de Ferro Sorocabana em Sorocaba.

A central de Sorocaba controlava o trecho de Amador Bueno a Iperó. O trecho de Amador Bueno a Júlio Prestes era controlado pelo antigo CCO da Barra Funda.

Fonte: Eric Mantuán (2015).

Este é um dos sistemas que mais se difundiu em todo o mundo. Diversas ferrovias usam o CTC como sistema de controle operacional pela facilidade de gerenciamento e supervisão. Por ter o controle centralizado, é essencial que as informações sejam transmitidas do campo para o CCO e vice-versa.

A troca de informações também incorporou o conceito de falha segura. Ao mandar um impulso elétrico com uma ordem para alterar a posição de um aparelho de mudança de via, por exemplo, o painel somente acusaria a mudança após receber de volta um outro impulso de confirmação oriundo deste equipamento.

O advento do CTC permitiu disponibilizar informações aos passageiros com antecedência, como a hora de chegada à estação, possíveis desvios de itinerário etc. Ainda foi possível racionalizar a circulação dos trens com vistas à economia de energia. Conforme a eletrônica se desenvolvia, os itinerários passaram a ser criados automaticamente.

4.6 ATC - CONTROLE AUTOMÁTICO DE TRENS

A Linha 9 - Esmeralda não recebeu CTC no lugar do staff, mas ATC. O ATC, sigla de automatic train control, é o sistema operacional de todas as 6 linhas da CPTM e das linhas 1 - Azul e 3 - Vermelha do Metrô de São Paulo.

Desenvolvido na década de 1960, o ATC incorpora todas as facilidades do CTC e aprimora o nível de segurança e de automação. Sua operação também ocorre em blocos fixos, os circuitos de via. A primeira grande diferença do CTC para o ATC ocorre na comunicação com o trem.

O ATC pode contar com um módulo chamado ATP (sigla de proteção automática de trens): ao entrar em um novo circuito de via, o trem recebe em sua cabine (*cab signal*) a informação da velocidade máxima permitida. Este avanço eliminou a possibilidade de esquecimento da indicação dos sinais por parte do maquinista e resolveu problemas de visibilidade em dias de chuvas intensas ou de neblinas densas.

A ordem da velocidade máxima recebida é armazenada no computador da composição ferroviária até a entrada no próximo circuito e, caso o condutor deseje ultrapassá-la, isto não será possível, pois o sistema do trem não permitirá. Este foi o grande avanço do ATC em relação ao CTC em termos de segurança.



Figura 41: painel de trem da CPTM operando em ATC. A velocidade atual é de 82,6 km/h e a máxima é de 90 km/h. A cada instante, o maquinista pode verificar a velocidade máxima permitida. Fonte: Márcio Henrique (2009).

No CTC, se o maquinista ultrapassar a velocidade máxima permitida, a central de controle não consegue parar a composição. A solução usada em emergências era o desligamento da rede de alimentação dos trens em trechos de tração elétrica. O ATP também é o responsável por evitar colisões, evitar descarrilamentos, proteger os aparelhos de mudança de via e controlar o intertravamento de rotas.

O ATC é o sistema presente na Linha 9 - Esmeralda da CPTM. O maquinista controla a marcha, a abertura e o fechamento de portas manualmente. O sistema apenas atua se o maquinista tentar ultrapassar o limite de velocidade. Este sistema foi originalmente instalado pela FEPASA na década de 80 e está em operação até hoje. Na época, o salto na operação foi gritante e permitiu diminuir o intervalo mínimo possível de 15 minutos no pico para 3 minutos no pico, limite operacional que permanece até hoje.

É claro que o intervalo praticado não baixou de 15 minutos para 3 minutos, pois estes são os valores mínimos possíveis de serem praticados em cada sistema (staff e ATC, respectivamente). A FEPASA nunca precisou operar intervalos curtos por causa do baixo uso da linha, que foi o resultado de ela não ter feito estudos de demanda, não ter construído terminais de integração e ter deixado grandes distâncias entre paradas. Após o incremento da demanda sob a gestão da CPTM, os intervalos foram sendo reduzidos até que chegaram aos 4 minutos atuais no loop Pinheiros-Jurubatuba. A folga de 1 minuto em relação ao intervalo mínimo possível

é importante para manter a regularidade do sistema frente a imprevistos. Não se deve operar um sistema no limite do intervalo, caso contrário qualquer atraso seria refletido para todo o restante da linha, a qual funciona como um carrossel.

O aumento no grau de automação é possível com um outro módulo do ATC, o ATO (sigla para operação automática de trens). Nele, a aceleração e frenagem passam a ser automáticas. Com isto, são eliminadas as variações na marcha dos trens por causa das diferentes habilidades dos condutores. O trem recebe, ao entrar em um bloco fixo (circuito de via), um código de velocidade que ele mesmo aplica automaticamente. Este código pode ser transmitido tanto pela corrente do circuito de via, a qual pode ser modulada com frequências de forma que a cada frequência corresponda a uma velocidade, como por meio de antenas em locais específicos, que é o que ocorre na CPTM. O sistema funciona em paralelo com o ATP e demanda supervisão tanto no CCO quanto no próprio trem. Ainda é possível incorporar ao ATO a automação da parada dos trens em cada estação, da abertura e do fechamento de portas.

Com isso, ocorre algo interessante. Um sinal verde não mais necessariamente significa permissão para trafegar na velocidade máxima imposta pela geometria da via, mas para trafegar na velocidade máxima autorizada pelo sistema de sinalização e controle. Esta velocidade máxima autorizada não é uma variável contínua, mas discreta. São estabelecidas velocidades fixas em que um comboio pode trafegar. No metrô paulistano, por exemplo, os códigos adotados são 0, 10, 30, 62, 75, 87 e 100 km/h. Na CPTM, as faixas de velocidades são mais espaçadas. Tem-se a seguinte situação:

velocidade	sigla	significado	situação dos circuitos de via
0 km/h		parada imediata	*ver parágrafos a seguir
25 km/h	VR	velocidade restrita	apenas 1 circuito livre à frente ou circuito de via atual ocupado
50 km/h	VL	velocidade limitada	apenas 1 circuito livre à frente
70 km/h	VMA1	velocidade máxima 1	no mínimo 2 circuitos livres à frente
90 km/h	VMA2	velocidade máxima 2	no mínimo 2 circuitos livres à frente

Existe uma diferença notável entre o princípio de funcionamento dos circuitos de via e sua aplicação no ATC da CPTM. Explicou-se que, se um circuito de via está ocupado, não é permitida a entrada de outra composição nele, daí se justifica a existência do sinal vermelho e do código de 0 km/h que o trem recebe ao entrar num trecho ocupado. É isto que ocorre no metrô paulistano.

Porém, não é isto que acontece na CPTM. O ATC instalado permite que o trem trafegue em velocidade restrita (VR, 25 km/h) em trechos ocupados. Portanto, a CPTM permite que dois trens trafegando no mesmo sentido ocupem o mesmo circuito e deixa a cargo do maquinista a aplicação dos freios no momento em que ele vir o trem à frente.

Esta prática traz vantagens em estações em que o tempo de parada é mais longo e o circuito de via é extenso, pois o trem de trás pode esperar a saída do trem da frente mais próximo da estação. Se isto não fosse permitido, esta espera ocorreria a centenas de metros de distância.

Todavia, esta mesma prática é extremamente insegura e já causou várias colisões. Apenas entre 2011 e 2017, ocorreram 4 colisões devido a essa permissão de tráfego e devido à ausência de aplicação dos freios por parte dos maquinistas. A última batida, em março de 2017, feriu dezenas de passageiros e imobilizou um trem com apenas cinco anos de uso que custou 26 milhões de reais. Novamente se vê a oposição entre capacidade e segurança. Neste caso, reduz-se o escopo do ATP para tentar agilizar a operação.



Figuras 42 e 43: os choques nas estações Barra Funda (2012) e Barueri (2017), respectivamente, poderiam ter sido evitados com a proibição de ocupação de dois trens no mesmo circuito de via. Fonte: G1.

O ATC da FEPASA apenas impedia que fosse ultrapassada a velocidade máxima permitida na via (função de sua geometria, material rodante e ocupação dos circuitos à frente). A CPTM incrementou o ATC herdado da FEPASA com a indicação, na cabine do condutor, da melhor velocidade em que o trem deve trafegar, assim como ocorre no metrô com os códigos. Entretanto, o comando para a aplicação desta velocidade ao trem ainda depende do maquinista.

Conforme explicado, ao entrar em um circuito, o trem recebe um código de velocidade em sua cabine e não pode ultrapassá-lo até receber outro código. Quando o código é obtido pela leitura da frequência da corrente que circula pelos trilhos, mudanças na velocidade permitida (e, por consequência, na frequência da corrente do circuito de via) podem ser lidas em qualquer posição do trem dentro do circuito de via. Por outro lado, se a informação for transmitida por antenas apenas em locais específicos, como ocorre na Linha 9, ocorre uma limitação significativa.

Imaginemos a situação de dois comboios circulando numa mesma linha num mesmo sentido. Logo após o trem de trás receber em sua cabine o código VR (25 km/h, indicando que o circuito à frente está ocupado), o trem que ocupa este circuito à frente passe para o circuito adiante. Neste caso, o trem que recebeu VR poderia trafegar sem problemas em VL (50 km/h, indicando ocupação dois circuitos de via adiante), mas isto não será possível, pois nova ordem de velocidade apenas será dada após entrada no circuito adiante. Há, então, perda de eficiência e redução de 50% na velocidade potencial.

O último módulo do ATC é o ATS, sigla de automatic train supervision. Sua função é garantir o cumprimento dos horários e regular a oferta do transporte. Este módulo pode aumentar ou reduzir o tempo de parada nas estações e a velocidade de circulação conforme a necessidade. Uma de suas funções é a prevenção do *bunching*, também conhecido como sanfonamento, que consiste na aproximação de trens em determinado trecho e afastamento nos demais.

O ATS também monitora os trens, os sistemas de energia, de arrecadação etc. Assim, em caso de mau funcionamento de algum equipamento que impeça o tráfego em determinado trecho, o ATS é capaz de detectar a falha, reconfigurar as

rotas dos trens automaticamente e reprogramá-las para que apresentem o melhor desempenho possível. Este módulo também é capaz de detectar desempenho abaixo da aceitável em algum comboio, monitorar seus indicadores e proceder com recolhimento da composição, parada imediata, comunicação com o operador etc.

Os dados gerados na operação são armazenados e relatórios são fornecidos automaticamente pelo ATS. Estes relatórios diários subsidiam as estratégias operacionais dos próximos dias e das datas especiais, como dias de jogos de futebol, véspera de Natal, de ano novo etc. O planejamento de curto prazo da operação do Metrô de São Paulo ocorre basicamente desta forma.

O Metrô de São Paulo possui ATS operante em todas as suas linhas. A CPTM, por outro lado, não possui este módulo em nenhuma de suas linhas.

4.7 CBTC - CONTROLE DE TRENS BASEADO EM COMUNICAÇÕES

O CBTC, sigla de *communication based train control*, ou, em português, controle de trens baseado em comunicações, é o sistema mais avançado e arrojado na sinalização e controle de trens.

A lógica de intertravamentos, desenvolvida nos sistemas anteriores, também está presente no CBTC por meio do ATS. Diferentemente do ATC, há mais redundância no CBTC, o que garante maior segurança operacional. Basicamente, as funções do ATS do ATC são as mesmas funções do ATS do CBTC.

O CBTC é inovador pois rompe com todas limitações do circuito de via. Até o ATC, a circulação dependia basicamente da ocupação ou desocupação de trechos de trilhos à frente. Conforme as tecnologias de sistemas de sinalização e do próprio material rodante (trens) avançavam, o comprimento dos circuitos de via diminuía. No CBTC, entretanto, não há circuito de via algum.

No lugar do bloco fixo, foi desenvolvido o conceito de bloco móvel. A movimentação do trem não mais depende das configurações estáticas dos circuitos e de sua ocupação ou desocupação, mas do comprimento do trem, da velocidade e posição relativa com as demais composições, do tempo de reação dos sistemas,

da geometria da via e da comunicação contínua por rádio.

São instalados marcos ao longo da via para funções de balizamento e de localização. Estes marcos são identificados pelos *transponders* na parte de baixo do trem e usados para determinar os pontos corretos de parada e outras ações.

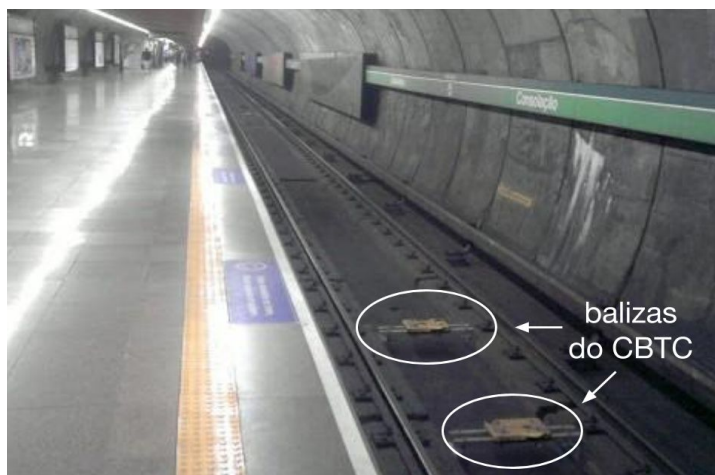


Figura 44: balizas do CBTC no Metrô de São Paulo. Na outra extremidade da plataforma, também há duas balizas. Cada par de balizas orienta a parada na posição correta com boa precisão. Fonte: ViaTrólebus, 2011.

Além disso, na via, a cada 300 metros aproximadamente, são instaladas antenas. Os trens, por sua vez, recebem antenas em suas extremidades. Ao longo da via, estas antenas recebem e transmitem sinais (comunicação bidirecional).

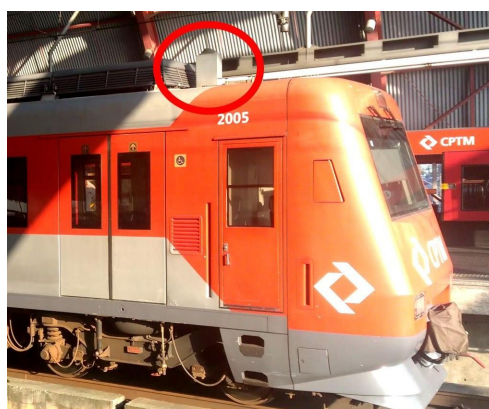


Figura 45: antena do CBTC em trem da CPTM. Na outra extremidade da composição, há outra antena. Fonte: Issun, 2016.

O sistema protege a frente e a cauda de cada trem ao criar uma distância de

segurança à frente do trem e atrás dele, que não pode ser ocupado por nenhuma outra composição. A este espaço se dá o nome de “envelope automático de proteção” ou “bolha”. Ele depende diretamente da velocidade do trem, do headway (intervalo de tempo entre composições) e do perfil da via (subidas, descidas).

Ao passar sobre as balizas de via, os transponders do trem identificam sua posição. Esta informação, que está a bordo, é então transmitida pela rede de comunicação via rádio, usando para isso a antena na frente do trem e as antenas instaladas ao longo da via. As antenas da via, por sua vez, estão ligadas a rede de transmissão de dados, que leva as informações da posição de todos os trens para o CCO.

No CCO, o sistema gera um perfil de velocidades entre cada uma das composições com base nas informações enviadas por elas. Para cada trem, o CCO retorna a velocidade máxima em que deve trafegar, usando para isso também a rede de transmissão de dados e as antenas da via. O trem recebe de volta a ordem de velocidade máxima e automaticamente a obedece.

A transmissão bidirecional das informações é contínua e, devido à elevada precisão na localização dos trens, o tráfego pode ocorrer com menores distâncias entre comboios, conforme será entendido a seguir.

Enquanto no ATC a presença de um trem à frente faz o trem de trás ter sua velocidade reduzida em patamares a cada circuito de via até chegar à velocidade mínima permitida, o CBTC permite que este trem de trás trafegue na velocidade máxima até o ponto em que a aplicação do freio pare o trem a uma distância mínima do trem da frente. Assim, as faixas de velocidades deixam existir para dar lugar a uma curva, conforme pode ser visto na figura 46 na próxima página. Portanto, o funcionamento do CBTC seria semelhante a um ATC com circuitos de via de comprimento infinitesimal e com infinitos códigos de velocidade de tráfego.

Apesar de ser a segunda mais movimentada da CPTM, a Linha 9 não receberá CBTC. O CBTC permitiria intervalos menores que 2 minutos no pico. Mais adiante será feita uma discussão sobre qual o melhor sistema para a Linha 9 - Esmeralda.

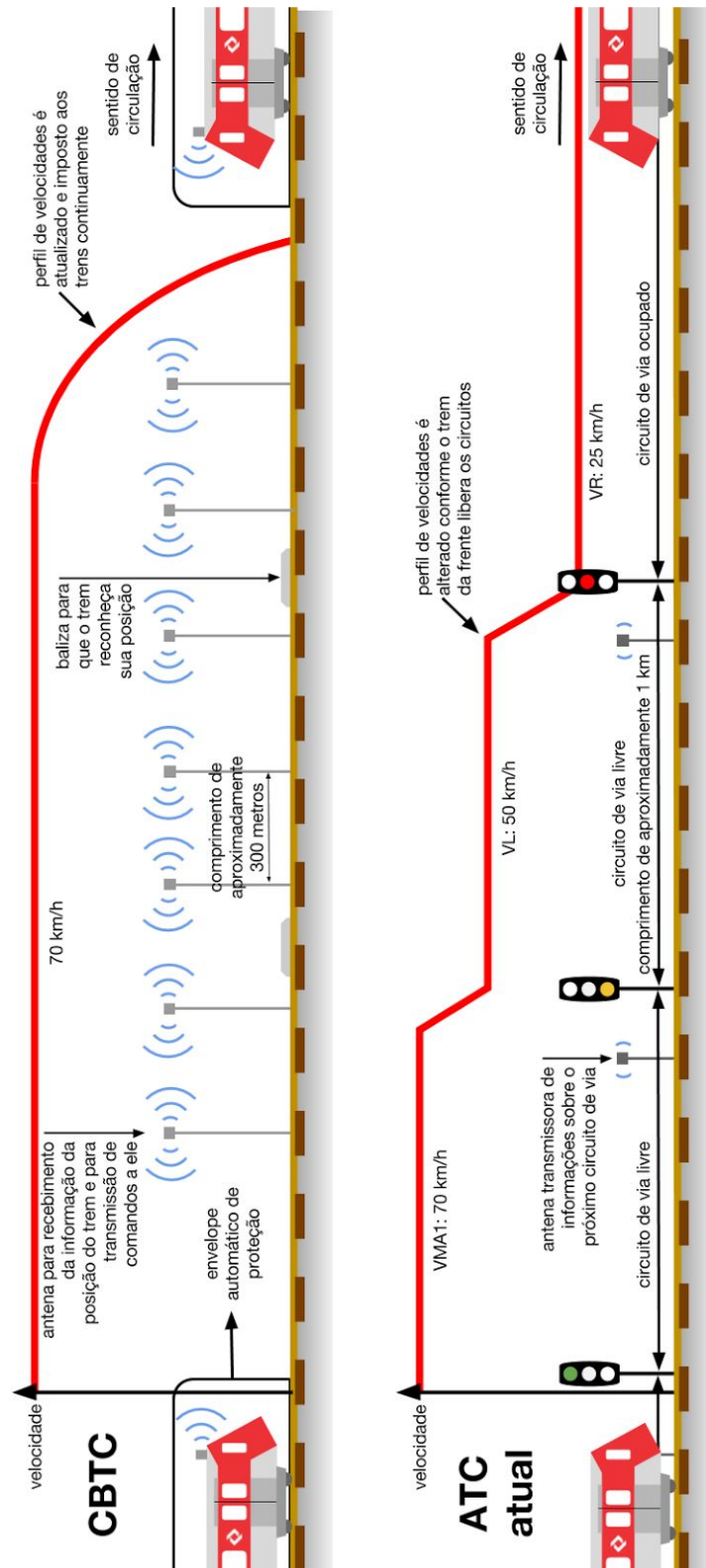


Figura 46: comparação entre CBTC e ATC na parada do trem por ocupação à frente.

4.8 OUTROS SISTEMAS

Os sistemas apresentados nos itens anteriores são predominantes nas ferrovias. Entretanto, existem outros sistemas de controle de trens, como o sistema contador de eixos e o sistema por GPS.

O sistema contador de eixos, originalmente desenvolvido para o bloqueio automático, tem retornado e substituído os circuitos de via em determinados trechos. Neste sistema, o comprimento para controle pode ser muito maior que a de um circuito de via, pois não há corrente elétrica para detecção dos trens. Este sistema é menos sensível a intempéries e dispensa vários equipamentos de campo, item importante em locais em que a ferrovia não é isolada.

O GPS nas ferrovias é usado para detecção da posição das composições e para rastreamento de cargas. Assim como no CBTC, também é criada uma zona de proteção na frente e na parte de trás de cada composição. O CCO pode saber a posição e velocidade em tempo real e enviar ordens para cada trem. As informações, como estado dos motores do trem, ações do maquinista etc, são enviadas também por meio de satélites. Este sistema também dispensa vários equipamentos de campo, embora seu custo de operação seja muito maior por utilizar tecnologia que envolve comunicação via satélite.

Esses sistemas são bons para trechos de linhas de carga. Um sistema de contagem de eixos tem como vantagem aumento no comprimento dos circuitos de via. Entretanto, é exatamente o contrário que se deseja para as ferrovias urbanas. Além disso, o monitoramento da posição da composição e a identificação de bloqueios na via, itens básicos para a redução segura dos intervalos, não estão presentes.

O GPS se encaixa muito bem em ferrovias extensas, em áreas com problemas de segurança ou sem infraestrutura para alimentar os aparelhos instalados ao longo da via. Não é este o caso das ferrovias urbanas. Por isso, instalam-se sistemas de sinalização e de telecomunicações na faixa de domínio da própria ferrovia. Além disso, a ferrovia precisaria pagar a transmissão por satélite, o que obviamente não ocorre nos sistemas por ela instalados.

5 TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Até a entrada em operação do ATC, em 1986, os sistemas de telecomunicações no ramal em estudo haviam se consistido de linhas de telegrafia e de telefonia, usados principalmente no licenciamento por staff. Contudo, o ATC requeria transmissão de informações em padrões não suportados pelos sistemas de telefonia e de telegrafia, além de exigir capacidade de transporte muito maior. Junto com o ATC, foi necessário instalar uma rede de dados atualizada, o que foi feito em 1984 pela FEPASA.

5.1 PDH - HIERARQUIA DIGITAL PLESIÓCRONA

A FEPASA escolheu implantar a rede de transmissão de dados em hierarquia digital plesiócrona. Este sistema é composto pela rede física de transporte de dados, pelos equipamentos de multiplexação, demultiplexação e pelo sistema de gerenciamento da rede.

Na FEPASA, o sistema PDH foi usado para cronometria, relógio de ponto, sonorização, sinalização, sistema de controle central (SCC), sistema de controle local (SCL), rede de dados, sistema elétrico, radiocomunicação e telefonia.

A rede física implantada pela FEPASA para transmitir os dados foi através de fibra óptica e, para transmissão dos sinais, utilizou-se um equipamento denominado ELO-8 do fabricante NEC. O ELO-8 recebia os sinais elétricos dos serviços acima através de um multiplexador flexível e transmitia um sinal óptico na taxa de 8,448 Mb/s.

Enterrada ao lado dos trilhos, o cabo de fibra óptica percorria os trechos entre as estações e possuía interface com as instalações das estações em seus porões. Esta transmissão poderia ser feita em sinal elétrico também, mas não foi por causa do elevado preço dos cabos e também por causa do efeito de capacitor que cabos de sinais elétricos muito longos apresentam, os quais acabariam por prejudicar grandemente a qualidade das informações.

Em cada sala técnica de estação, havia um ELO-8, que além da interface óptica, fazia a função tanto de um multiplexador (emissor) quanto de um demultiplexador

(receptor). Um multiplexador é um equipamento que agrupa as informações provenientes de diferentes canais em um único canal, ao passo que um demultiplexador é o equipamento que desagrupa as informações do único canal para canais separados, respeitando a ordem original de agrupamento pelo multiplexador, de modo que as informações sejam restituídas corretamente para seus canais originais. Veja a figura 37 a seguir:

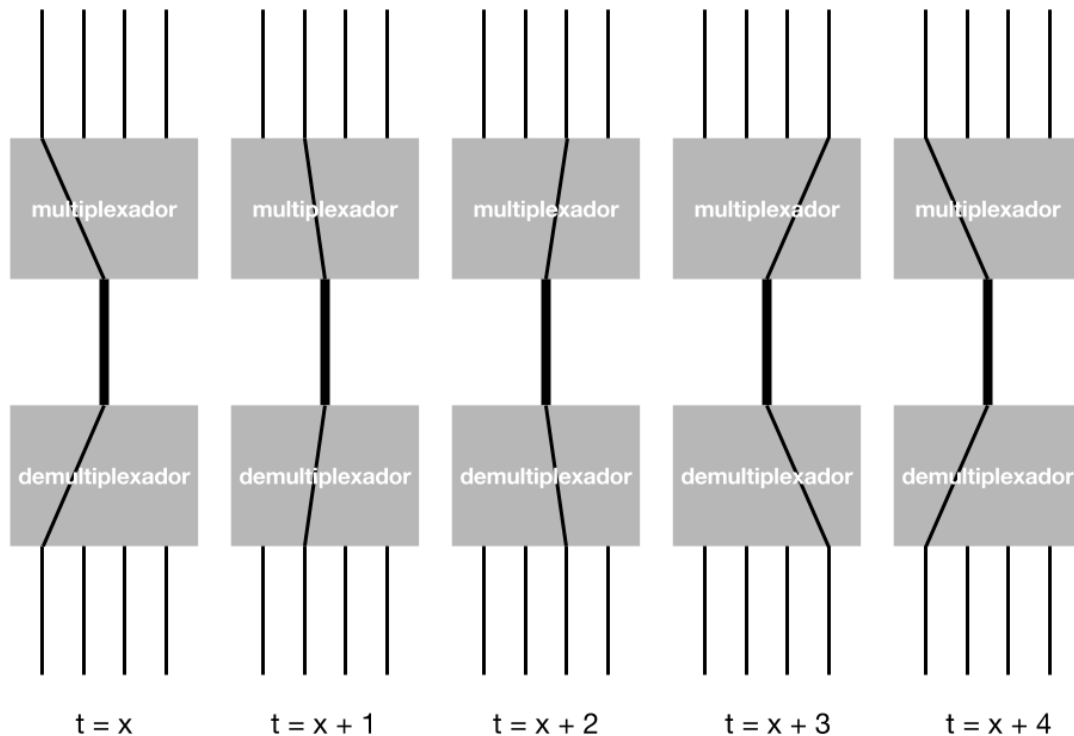


Figura 47: princípio de funcionamento de um multiplexador e de um demultiplexador ao longo de cinco instantes de tempo. Note que cada sinal é restituído ao seu canal de origem após a passagem pelo canal único. A partir do instante $t = x + 4$, inicia-se a repetição da sequência.

Os sinais eram modulados por código de pulso (PCM). Assim, o sinal que chegava ao equipamento era amostrado a cada intervalo de tempo determinado. Em cada instante de amostragem, o valor lido é interpretado como um valor discreto mais próximo do lido. Assim, a onda que representa o sinal é discretizada nas duas dimensões (figura 48).

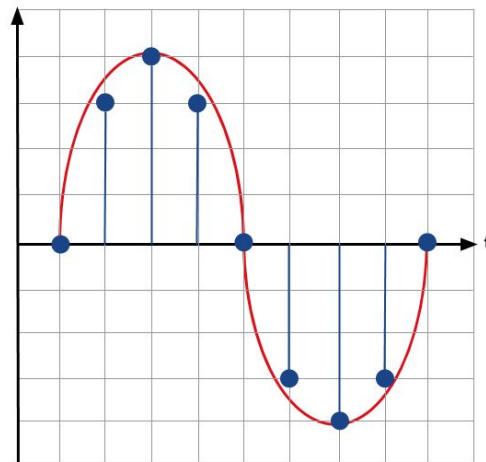


Figura 48: o sinal (em vermelho) é lido a cada intervalo discreto de tempo. A cada intervalo, o valor atribuído ao sinal (pontos azuis) também é discreto.

Entre dois instantes consecutivos de leitura do mesmo sinal, são lidos os demais sinais. Com isso, torna-se possível agrupar vários sinais em um único canal. Para desagrupar os sinais de um canal, o processo ocorre de forma inversa.

Cada multiplexador instalado pela FEPASA possuía 4 entradas e uma saída. As quatro entradas recebiam sinais E1 (2,048 Mb/s), cada um equivalente a 30 canais telefônicos. A saída era transmitida na fibra na taxa E2 (8,448 Mb/s). Era o sinal E2 que percorria, através da fibra óptica, os trechos entre as estações e que determinava a capacidade da rede, considerada bastante limitada para os padrões atuais.

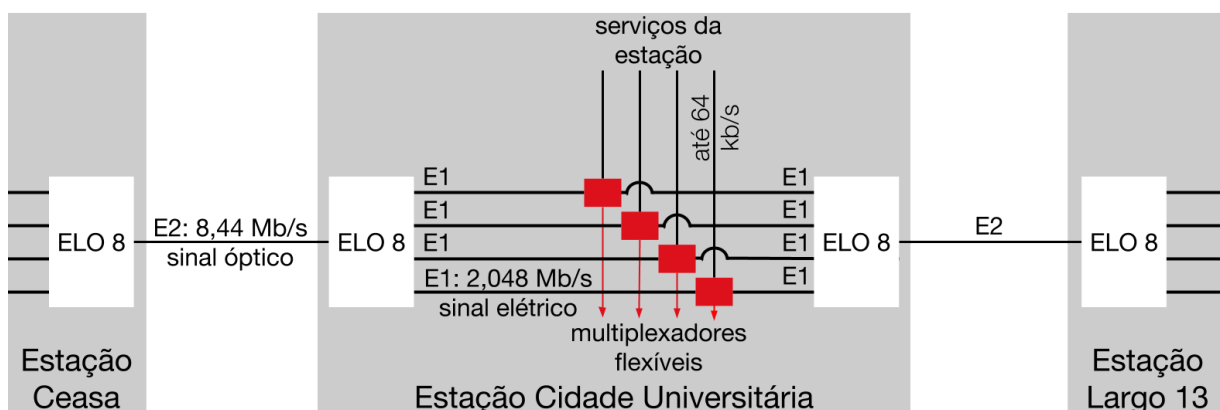


Figura 49: configuração-padrão do sistema de telecomunicações entre 1984 e 2001.

Este arranjo se repetia em todas as estações.

Os serviços da estação (telefonia, rádio, rede de dados, etc) eram gerados em taxas até 64 kb/s, os quais eram multiplexados por um equipamento denominado “multiplexador flexível” (que recebe sinais de dados de baixa velocidade e voz), entregando ao ELO-8 um sinal de 2,048 Mb/s.

Note que, na figura 50, da estação Ceasa, a rede pulava a estação Jaguaré e chegava diretamente à estação Cidade Universitária. De Cidade Universitária, a estação Pinheiros era pulada e a rede chegava diretamente a estação Largo Treze (atual Santo Amaro). As estações puladas não deixavam de ser atendidas pelo sistema. Isto ocorria porque a rede lógica era configurada em anel. Assim, representando o conteúdo do retângulo cinza principal da figura 50 como um círculo, tinha-se o seguinte arranjo para toda a linha:

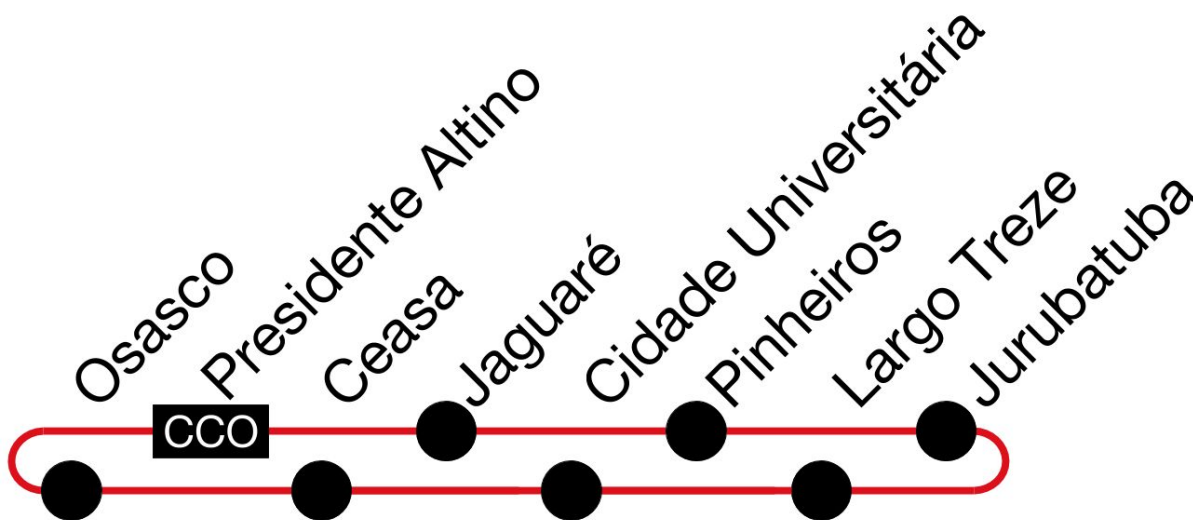


Figura 50: rede PDH em anel na Linha Sul da FEPASA.

A configuração em anel permite que a rede permaneça em funcionamento se um dos elos vier a falhar. Também seria possível fazer uma rede em anel atendendo todas as estações sequencialmente para depois retornar diretamente o cabo por toda a linha. Esta configuração não seria boa, pois haveria um comprimento muito longo e outros muito curtos, o que dificulta o gerenciamento do sistema e a manutenção em caso de falha.

A capacidade de transmissão das informações poderia ser ampliada mediante a reunião de sinais E2 (4 no máximo) em um outro multiplexador, cuja saída seria um

signal E3 com capacidade de 34,368 Mb/s, que deveria ser ligado a um equipamento de interface óptica. Na época, este equipamento era denominado ELO-34. Apenas para ilustração, ainda seriam possíveis mais ampliações, instalando mais um multiplexador (recebendo no máximo 4 sinais E3) até chegar ao E4 (139,264 Mb/s) e mais um outro (recebendo no máximo 4 sinais E4) até o E5 (565,148 Mb/s), o qual não mais poderia ser reunido para aumento de capacidade, embora este arranjo fosse inviável para os propósitos da linha 9, motivo pelo qual se manteve a taxa E2.

Conforme avançam os níveis de multiplexação, pode ocorrer assincronismo entre os relógios de linha e os locais, com possibilidade de perda de informações. Assim, são inseridas informações (bits) durante a multiplexação para sincronizar os sinais. Na demultiplexação, estes bits, denominados bits de justificação, são identificados e retirados. A inserção e retirada ocorre a cada nível. Assim, não é possível reconhecer informações dos níveis inferiores (E1, por exemplo) nos níveis superiores (E2 a E5, por exemplo).

Portanto, a extração de informações numa rede PDH se torna extremamente difícil e complexa conforme a demanda aumenta e são instalados equipamentos de ordem superior. Se houvesse a necessidade de acesso a um canal de telefonia entre duas estações, por exemplo, seriam necessários 4 multiplexadores, 4 demultiplexadores e um equipamento de transmissão caso o sinal fosse o E5. Veja a figura a seguir:

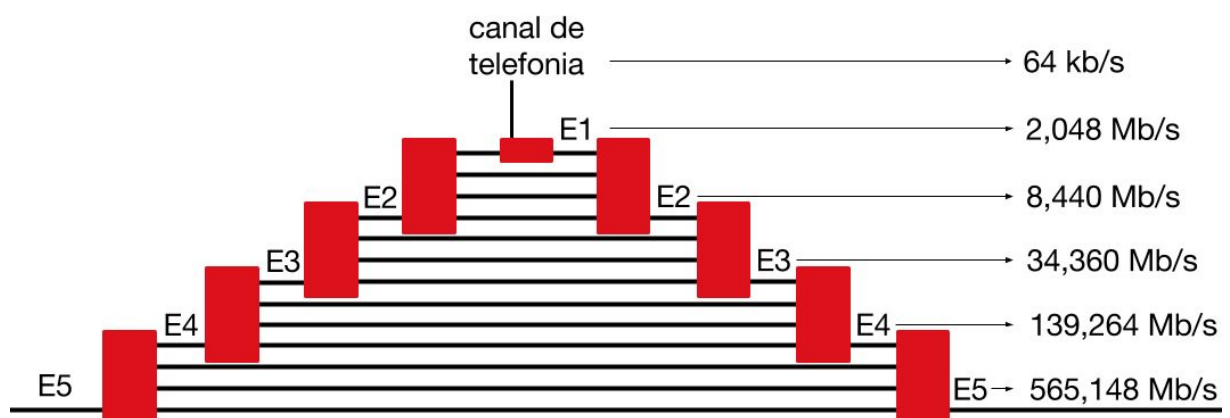


Figura 51: infraestrutura necessária para acesso a um canal a partir do sinal E5.

5.2 SDH - HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA

O sistema de transmissão de dados pelo sistema digital de hierarquia síncrona, SDH (sigla de synchronous digital hierarchy), foi implantado pela CPTM em 2001 na Linha C - Celeste (atual 9 - Esmeralda) em substituição ao PDH e está em operação até hoje. À época, foi um avanço enorme, pois foi a primeira linha da CPTM a ter este sistema.

Antes do SDH, cada empresa proprietária de redes de dados utilizava seus próprios padrões na arquitetura, multiplexação, software, hardware, códigos de linha, etc. O SDH foi desenvolvido para fornecer infraestrutura para redes de dados e voz de forma padronizada, ou seja, permitindo uso de equipamentos de diferentes fabricantes, apesar de os sistemas de gerência ainda serem proprietários (cada fabricante possui um sistema de gerência com suas próprias características). O sincronismo e a padronização permitiram ainda a transmissão em maiores taxas de bits por segundo. Valendo-se destas vantagens, a CPTM vem instalando esta rede em todas as suas linhas progressivamente.

Na CPTM, o sistema SDH é usado para as mesmas funções desempenhadas pelo sistema PDH da FEPASA, mas com acréscimo do sistema de circuito fechado de televisão (CFTV) e painel de destino de trem (PDT).

A migração do PDH para o SDH permitiu uma taxa de transmissão maior, o que já era necessário devido à inauguração quase simultânea de 7 novas estações, à instalação de câmeras de videomonitoramento, à introdução de mais trens na linha e à obsolescência do sistema antigo. A migração do PDH para o SDH foi facilitada pelo fato de o sistema SDH possuir interfaces compatíveis com o PDH.

O principal meio de transmissão de dados na rede SDH é a fibra óptica, apesar de permitir o uso de outros meios. Os cabos de fibra óptica da FEPASA, que eram multimodo, foram substituídos por cabos de fibra monomodo, instalados pela Embratel em troca do direito de passagem. Um cabo monomodo possui núcleo para transmissão do sinal muito menor. Assim, diminuem-se as reflexões internas e, conseqüentemente, as perdas de qualidade na transmissão. Com isto, são

alcançadas distâncias maiores.

Os equipamentos SDH conectados às fibras ópticas deste novo cabo que chega nas salas técnicas de cada estação é capaz de transmitir a 155 Mb/s (STM-1), valor muito superior aos 8,448 Mb/s do sistema anterior, mas ainda assim, uma capacidade modesta em comparação com os equipamentos usados pelas operadoras de telecomunicações. Em cada sala técnica, há também um equipamento que combina funções de multiplexador e demultiplexador, além de ter incorporada a interface óptica de 155 Mb/s.

Os multiplexadores (AM 1 WaveStar™) da Linha 9 - Esmeralda têm como entrada 16 portas de interface de 2 Mb/s (E1 - oriundas dos diversos serviços das estações, como telefonia, rádio etc) e portas de 155 Mb/s em transmissão e recepção, com proteção SNC. Apenas em Presidente Altino o multiplexador possui 32 tributários (portas) por haver um posto de controle.

Destaca-se a capacidade de cada multiplexador receber até 16 entradas simultâneas, número muito superior às poucas 4 entradas suportadas pelo PDH. Isto resolveu a necessidade de outros multiplexadores e demultiplexadores para se ter acesso a um canal.

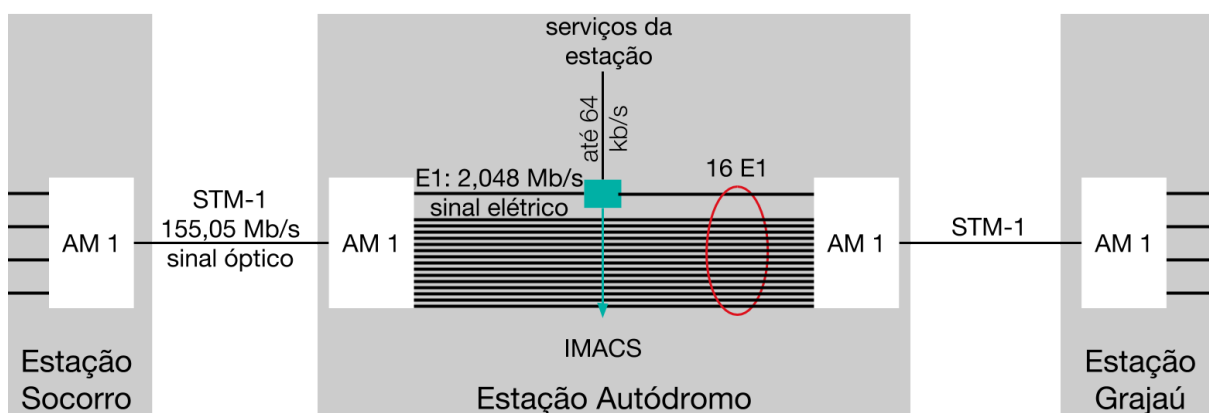


Figura 52: configuração-padrão do sistema de telecomunicações a partir de 2001.

Este arranjo se repete em todas as estações.

O multiplexador/demultiplexador SDH encapsula as informações em contêineres e, com a agregação de um cabeçalho de caracterização e localização, têm-se os

chamados contêineres virtuais (VCs), os quais são enviados pela fibra sob os trilhos a 155 Mb/s.

Devido à sincronização e ao cabeçalho, o demultiplexador da próxima estação identifica cada contêiner que chega e restitui a informação ao seu respectivo canal. O sincronismo de alta precisão, característica principal deste sistema, é garantido pela presença de relógios de mesma frequência em todos os equipamentos e pela rastreabilidade de cada um deles pelo relógio principal. É isto que possibilita ao SDH a possibilidade de extrair sinais sem a presença de outros equipamentos.

Além dos equipamentos (multiplexadores), da rede física (fibra óptica) e do sistema de sincronismo (relógios), é essencial que haja um sistema de gerenciamento para supervisão, controle, configuração e provisionamento de facilidades (FILHO, 2003). Na época da FEPASA, para o equipamento ELO-8, este sistema de gerenciamento se localizava no antigo CCO Presidente Altino, mas se limitava à verificação de alarmes nos equipamentos. Hoje, para o sistema SDH, ainda há uma interface no CCO Presidente Altino (client), mas é a partir do CCO Brás que ocorre o controle efetivo, através do software ITM-SC no qual é possível verificar o estado de cada equipamento multiplexador instalado na via e gerenciar falhas.

O gerenciamento local da rede nas estações é possível por meio do software ITM-CIT, que é um terminal de interface técnica. Ainda nas estações, a interface entre o E1 e os serviços é feita pelos switches de acesso IMACS, da Zhone Technologies. O IMACS suporta diversos tipos de serviços, como canais de voz, dados de baixa, média e alta velocidade. Seu suporte de dados é flexível e suporta tanto acesso síncrono quanto assíncrono.

Por questões de segurança, há um cabo reserva que percorre o trecho entre as estações o qual também está ligado aos equipamentos AM 1. Para a rede local, também são disponibilizados canais reserva e principal que trafegam por cartões distintos.

No CCO Brás, foram instalados 8 IMACS conectados ao AM 1 por meio do cabo E1. Os sinais principais e reservas de voz e dados foram isolados em IMACS

distintos. O gerenciamento dos IMACS da CPTM permite o acesso individual a cada um dos equipamentos, sua configuração, avaliação dos alarmes ativos e passados.

A rede óptica atual da Linha 9 tem configuração lógica em forma de anel, semelhante à do antigo PDH, mas com mais estações e interface no CCO Brás.

5.3 IP-MPLS - COMUTAÇÃO DE RÓTULOS MULTIPROTOCOLO

IP (internet protocol) é um conjunto de regras para redes nos quais a transmissão de informações ocorre por pacotes de dados. Nos anos 90, surgiu o MPLS para controlar o tráfego pela rede IP e melhorar sua eficiência. Logo, o IP-MPLS é utilizado para redes de telecomunicações de alto desempenho.

Como o próprio nome sugere, o MPLS é multiprotocolo. Logo, não se restringe apenas ao IP. Os dados a serem transmitidos são rotulados e, durante as etapas de transmissão, apenas o rótulo é lido pelos equipamentos intermediários. Assim, a interface com arquitetura síncrona e assíncrona de transporte de dados é possível, pois o encaminhamento do dado é tratado de forma isolada de seu conteúdo.

Um roteador é um equipamento que encaminha um pacote de uma rede de dados para a outra. Numa rede IP convencional, cada pacote de dados recebe informações sobre seu destino final. Assim, no caminho entre sua origem e destino, pode haver vários roteadores. Todos eles lerão a informação do destino no pacote e consultarão a tabela de roteamento para proceder com o despacho do pacote no sentido correto.

No MPLS, o direcionamento das informações ocorre de forma mais rápida. Em vez de o pacote de dados carregar o destino final e exigir que o roteador pesquise o caminho antes de reenviá-lo, o pacote já guarda a informação sobre qual o próximo roteador por qual deverá passar. A cada passagem por um roteador, o rótulo é mudado de modo que a informação sobre o próximo roteador pelo qual passar seja atualizada. Isto proporciona maior rapidez no transporte de informações e evita o sobrecarregamento da rede.

Uma rede IP-MPLS é composta por 7 camadas: (1) o meio físico, que é o meio de transmissão (fibra óptica, por exemplo); (2) a camada de enlace, a qual converte os

dados brutos em informações para a camada seguinte; (3) a camada de rede, responsável por encaminhar o pacote ao seu destino; (4) a camada de transporte, incumbida de garantir que os fragmentos cheguem corretamente ao destino; (5) a camada de sessão, responsável pela sincronização e estabelecimento de sessões entre máquinas diferentes; (6) camada de apresentação, responsável pela apresentação num formato padronizado e segurança (criptação e decifração); e (7) camada de aplicação, que compreende a interface com os usuários.

Além de disponibilizar alta velocidade de transmissão, ainda é possível diferenciar o tipo de tráfego (voz, vídeo, dados etc.) e definir prioridades diferentes para cada um deles. As redes PDH e SDH não possuem banda para transmissão de vídeos.

Estes três sistemas (PDH, SDH e IP-MPLS) permitem visualizar os problemas enfrentados nas redes de transmissão de dados e os mecanismos desenvolvidos para superá-los. A baixa capacidade de transmissão do PDH aliada à dificuldade de extração de informações motivou o desenvolvimento do SDH, com maior capacidade e facilidade para acessar informações. O IP-MPLS proporcionou capacidade de transmissão ainda maior e integrou os diferentes tipos de dados a serem transportados independentemente do tipo de sinal. Este sistema também aprimorou o transporte pelos dispositivos componentes da rede, direcionando a informação rapidamente para seu destino.

Não existem sistemas IP-MPLS instalados na CPTM hoje, mas o seu estudo é importante porque substituirá o SDH da Linha 9 - Esmeralda. O novo sistema já está contratado para ser implantado, conforme será visto mais adiante.

5.4 OUTRAS TECNOLOGIAS

Desenvolvido nos anos 90, o sistema WDM, sigla de *wavelength-division multiplex*, possui capacidade maior que o IP-MPLS em termos de banda e otimiza o uso de redes de fibra óptica. É usado pelas grandes empresas de telecomunicações do mundo para transmissões em grandes distâncias.

O sistema é flexível e permite interfaces com sistemas IP, PDH e SDH. Basicamente, ele é composto pela rede física (meio de transmissão, fibra óptica),

pelos multiplexadores/demultiplexadores e pelo sistema de gerência.

A principal diferença deste sistema para o SDH é a multiplexação óptica. A capacidade é aumentada porque vários sinais de luz, de comprimentos de onda diferentes, são agrupados numa mesma fibra e transportados juntos até o demultiplexador, que os desagrupa. Novamente, não há limitação dos diferentes formatos e taxas de bits dos canais tributários: os sinais são transportados de maneira independente uns dos outros.

A principal vantagem desta tecnologia é a facilidade de ampliação de capacidade sem precisar de nova infraestrutura, que decorre da elevada capacidade inicial. O sistema é ideal para redes ponto-a-ponto, longas, sem espaço para instalação de novos cabos e redes com previsão de rápido aumento na demanda.

Esta tecnologia poderia ser aplicada às ferrovias, mas suas características a tornam ideal para redes de telecomunicações entre grandes capitais. Não há necessidade de um sistema deste porte para os serviços ferroviários, a menos que seja instalado por uma empresa de telecomunicações em troca do direito de passagem. Neste caso, a ferrovia seria beneficiária do sistema, mas dificilmente esgotaria sua banda.

5.5 SISTEMA TERRA-TREM

O sistema terra-trem é responsável pela transmissão de informações entre a rede de informações do trem e a rede fixa de transmissão de dados, cujas tecnologias foram abordadas nos últimos 4 itens.

A rede de telecomunicações do trem é essencial para a prestação dos seguintes serviços: intercomunicação, sistema de aviso aos passageiros, estrutura de publicidade eletrônica, conexões Wi-Fi de alto desempenho para empregados e passageiros, câmeras de vigilância, canais de telecomando e sistemas de vídeo-supervisão no interior dos trens (TEIXEIRA, 2014).

A principal forma de comunicação entre o trem e os sistemas fixos é o rádio. Cada extremidade do trem recebe duas antenas e a comunicação ocorre ao longo de toda a via por meio de estações rádio-base em pontos determinados.

6 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS ATUAIS E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

A avaliação de desempenho dos sistemas em operação na Linha 9 - Esmeralda foi feita com base em inspeções de campo nos horários de pico da tarde dos dias 30/11/2017 e 01/12/2017.



A Linha 9 - Esmeralda possui 26 trens alocados para a operação e 22 trens circulando simultaneamente nos horários de pico distribuídos em dois itinerários: Osasco-Grajaú (extensão completa da linha) e Pinheiros-Jurubatuba (loop operacional, trecho em vermelho ao lado).

O loop foi criado para facilitar o atendimento entre Pinheiros e Santo Amaro. Durante o pico da manhã, as composições oriundas do Grajaú já chegam lotadas em Jurubatuba. De igual modo, as composições oriundas de Osasco já chegam com lotação considerável em Pinheiros tanto no pico da manhã quanto no da tarde.

Em Pinheiros, a introdução de um trem vazio adicional no período da manhã entre cada trem procedente de Osasco se justifica por causa da transferência com a Linha 4 - Amarela, que traz um grande fluxo em direção aos pólos comerciais lindeiros à marginal do Pinheiros. À tarde, esta introdução se justifica por causa da grande quantidade de residentes da zona sul que trabalha na Av. Paulista e no centro e usa a Linha 4 - Amarela para acessar a Linha 9 - Esmeralda.

Em Jurubatuba, a introdução de um trem vazio de manhã entre cada trem procedente de Grajaú se justifica porque na estação Santo Amaro há transferência com a Linha 5 - Lilás do Metrô, que traz muitos passageiros também em direção aos pólos comerciais lindeiros à marginal Pinheiros e também em direção ao centro e à Avenida Paulista, sendo necessário, para estes dois últimos destinos, efetuar transferência na estação Pinheiros com a Linha 4 - Amarela. À tarde, a introdução dos trens vazios em Jurubatuba não traz diferenças significativas para a operação da linha, já que os trens provenientes do Grajaú não estão cheios. Os trens sentido Pinheiros partem de Jurubatuba porque não há configuração de vias para retornar em Santo Amaro.

Deste modo, o intervalo oficial no pico em ambos os sentidos no trecho entre Pinheiros e Jurubatuba é de 4 minutos, ao passo que nos demais trechos é de 8 minutos.

Verificou-se em campo que, no horário de pico da tarde, os trens partem de Pinheiros com direção a zona sul com intervalos bastante regulares. Com as 13 medições (das 18:39:04 às 19:28:25 do dia 01/12/2017), obteve-se intervalo médio de 3 minutos e 46 segundos e desvio-padrão de apenas 30 segundos. O intervalo máximo medido foi de 4 minutos e 52 segundos, ao passo que o mínimo foi de 2 minutos e 50 segundos.

Por outro lado, a situação em Jurubatuba também no pico da tarde é bastante diferente com respeito aos trens que chegam em direção a zona sul. Foram medidos 12 intervalos das 17:20:43 às 18:11:20 do dia 30/11/2017. O intervalo médio entre composições foi igual a 4 minutos e 13 segundos, mas o desvio-padrão chegou a exorbitantes 2 minutos e 32 segundos, com intervalo mínimo de 1 minuto e 57 segundos e máximo de 10 minutos e 24 segundos.

A tabela a seguir mostra um resumo de como os trens partem de Pinheiros e de como chegam em Jurubatuba:

	Pinheiros
Intervalo médio entre partidas	3:47
Desvio-padrão dos intervalos	0:30

	Jurubatuba
Intervalo médio entre chegadas	4:13
Desvio-padrão dos intervalos	2:32

Os intervalos podem ser considerados constantes entre Pinheiros e Jurubatuba. A diferença de 26 segundos pode ser atribuída ao fato de as medições terem ocorrido em dias e horários diferentes. Apesar disso, ressalta-se que o intervalo oficial divulgado para o horário das medições era de 4 minutos.

O desvio-padrão, por outro lado, não pode ser considerado constante, pois a diferença entre eles chegou a 2 minutos e 1 segundo. Esta situação leva a uma pergunta inevitável: o que ocorre entre Pinheiros e Jurubatuba para que os intervalos fiquem tão irregulares? A resposta foi obtida ao se percorrer o trecho e ao verificar o que ocorre em Pinheiros, Santo Amaro e Jurubatuba. Observaram-se os seguintes fatos no pico da tarde:

- (1) Os trens do loop chegam em Jurubatuba com baixa ocupação. Estas pessoas, em sua maioria, se dirigem à plataforma oposta para embarcar no próximo trem, que irá para o Grajaú.
- (2) Os trens com destino ao Grajaú chegam bastante lotados em Jurubatuba.
- (3) Em Santo Amaro, por causa da integração com a Linha 5 - Lilás do Metrô, o desembarque de passageiros é significativo tanto nos trens com destino ao Grajaú quanto nos trens com destino à Jurubatuba.
- (4) Em Pinheiros, na plataforma com destino à zona sul, constatou-se que pessoas preferem não embarcar no primeiro trem que chegar. Esta situação ocorre tanto com o trem do loop quanto com o trem com destino a Grajaú, mas é mais acentuado com os trens do loop.

Dado o exposto, conclui-se que as pessoas com destino ao Grajaú preferem embarcar no trem que vai direto até o Grajaú. Elas não gostam de fazer a

transferência em Jurubatuba. Entretanto, para os passageiros que desembarcam em Santo Amaro, os trens para ambos os destinos são úteis. Assim, ocorre uma diferença na demanda pelos dois serviços oferecidos. Os trens do loop são menos cheios.

Como a operação do ramal não é automatizada (não há ATO nem ATS no ATC), a operação de abertura e fechamento de portas, aceleração e desaceleração e tempo de parada nas estações fica a cargo do maquinista.

Com isto, os trens do loop são mais ágeis. Os problemas com abertura e fechamento de portas são menores. O tempo de parada nas estações também é menor, pois o maquinista, por meio de espelhos e câmeras, parte assim que verificar que todos já embarcaram ou desembarcaram. Toda esta situação faz com que o trem do loop se aproxime do trem à frente (sentido Grajaú) e se distancie do trem atrás (também sentido Grajaú), num fenômeno conhecido como sanfonamento (ou *bunching*).

O trem de trás, sentido Grajaú, chegará às estações e encontrará lotação correspondente a um tempo de acumulação superior ao intervalo oficial da linha. Além disso, ele já vai estar naturalmente mais cheio. Seus tempos de parada serão maiores, assim como os problemas para fechamento de portas. Isto fará com que os próximos trens se aproximem dele. Dependendo do grau de atraso, vários trens podem se aproximar. De fato, para atrasos maiores, o sanfonamento não ocorreu em pares, mas envolveu até três trens atrás da composição atrasada no tempo de observação, totalizando, portanto, 4 trens.

Ao percorrer o trecho de Pinheiros a Jurubatuba no trem do loop, o tempo de parada nas primeiras estações foi extremamente curto, chegando a 11 segundos em algumas estações. Na estação Morumbi, o tempo foi de 75 segundos. Não havia lotação anormal que justificasse este tempo maior, mas provavelmente o CCO orientou o maquinista por meio do rádio a esperar mais alguns segundos porque estava muito próximo do trem à frente e o intervalo estava se afastando do programado.

A situação da aproximação dos trens foi ideal para verificar se a prática de permitir que dois trens ocupem o mesmo circuito de via é permitida na Linha 9 - Esmeralda. Em Jurubatuba, durante o sanfonamento, enquanto o trem do loop descarregava os passageiros, o trem sentido Grajaú estava parado aguardando a liberação do circuito, pois a posição de parada correspondia exatamente ao limite do circuito de via. Portanto, não foi verificada a ocupação de dois trens no mesmo circuito de via.

Cita-se uma evidência que apontou que as diferentes habilidades na condução das composições pelos maquinistas interferem no intervalo do ramal. Praticamente todos os trens davam entrada na estação Pinheiros com velocidades próximas, entretanto, um trem se destacou dos demais ao entrar com velocidade visivelmente mais alta. Apesar de achar que o trem pudesse passar sem prestar serviço, ele rapidamente desacelerou, parou na posição correta e prestou serviço normalmente. Quando os intervalos foram calculados, este trem apresentou o menor intervalo com relação ao trem da frente.

Mais fatos foram observados:

- (5) Ocorreram poucas situações em que a lotação dos trens impedia a entrada dos passageiros na composição.
- (6) Não foram identificados trechos de lentidão.
- (7) Não foram identificadas plataformas com risco de segurança devido à superlotação.
- (8) Em Osasco e Presidente Altino, existe sincronia entre a operação da Linha 9 - Esmeralda e a operação da Linha 8 - Diamante. Os intervalos das duas linhas estavam muito próximos.

A operação da Linha 9 - Esmeralda pode ser avaliada como boa. A ausência do ATO e do ATS contribui para que o trem para Grajaú fique mais cheio. Caso houvesse ATO e ATS, o tempo de parada nas estações seria regulado automaticamente e não ocorreria sanfonamento. Não seria necessária a intervenção do controlador de tráfego no CCO Brás por meio do rádio individual com cada trem. Além disso, as taxas de aceleração e frenagem seriam padronizadas.

Nenhum dos problemas identificados guardou relação com o comprimento do circuito de via. Muito pelo contrário, em diversas ocasiões, foi verificado intervalo abaixo dos 4 minutos oficiais, essenciais para a regulação do carrossel. Trata-se de problemas apenas na regularidade dos trens na operação.

No passado, o ramal já operou com intervalos programados no loop de 3 minutos e meio. A linha poderia ter uma redução dos intervalos, mas isto poderia acentuar as irregularidades na operação. Além disso, em 2018, com a abertura da extensão da Linha 5 - Lilás até a Chácara Klabin, haverá uma redistribuição radical dos passageiros na Linha 9 - Esmeralda, a qual somente poderá ser entendida por meio de mais medições em campo.

Foram efetuadas também medições de 12 intervalos entre chegadas de trens provenientes da zona sul em Pinheiros no horário de pico da tarde entre 18:40:39 e 19:30:07 do dia 01/12/2017 e constatou-se que o intervalo médio foi de 3 minutos e 48 segundos com desvio-padrão de 48 segundos. Assim, conclui-se que, no pico da tarde, os trens provenientes da zona sul chegam em Pinheiros com intervalos regulares, mas os trens que saem de Pinheiros não chegam à zona sul com intervalos regulares.

Isso indica que o trecho crítico da linha durante o pico da tarde está entre Pinheiros e Santo Amaro nos trens com destino ao sul do município. O trecho crítico não está entre Pinheiros e Jurubatuba porque após Santo Amaro há redução na lotação dos trens. De manhã, não foram efetuadas medições, mas o comportamento é semelhante, mas para o outro sentido da linha. Assim, o carregamento crítico da manhã está entre Santo Amaro e Pinheiros nos trens que saem da zona sul.

Após a abertura da Linha 5 - Lilás até Chácara Klabin, o fluxo em Santo Amaro mudará. Muitas pessoas da zona sul que vão até Pinheiros para acessar a Linha 4 - Amarela e chegar à Paulista ou ao Centro ganharão uma outra opção. Enquanto a Linha 5 - Lilás não está concluída, ainda funciona parcialmente como um ramal da Linha 9 - Esmeralda, ou seja, grande parte dos passageiros da Linha 5 desembarca em Santo Amaro de manhã para acessar a Linha 9 e vice-versa à tarde.

Após a conclusão das obras de expansão, a expectativa é que, de manhã, na estação Santo Amaro, o número de passageiros da Linha 9 que desembarca para acessar a Linha 5 seja próximo do número de passageiros que embarca na Linha 9 proveniente da Linha 5. Portanto, a transferência em Santo Amaro não mais apresentará comportamento pendular acentuado.

Esta mudança afetará o local do carregamento crítico da linha, o qual deverá estar entre Grajaú e Santo Amaro, e não mais entre Santo Amaro e Pinheiros, já que o trem, ao chegar em Santo Amaro sentido Pinheiros, terá embarques e desembarques em número mais equilibrado.

Com isto, a inversão de trens em Jurubatuba perderá o sentido. Não fará sentido introduzir trens vazios em Jurubatuba para ganhar passageiros apenas até Santo Amaro, localizada duas estações a frente. A composição não encheria. O novo loop operacional poderá ser entre Grajaú e Pinheiros ou, após os términos da obra de expansão sul, entre Varginha e Pinheiros. Como não estão previstas mudanças de curto prazo na outra extremidade do ramal, não serão propostas alterações na inversão em Pinheiros.

O conhecimento desta situação é essencial para saber se o ATC também está adequado à operação futura no ramal. Hoje, as estações Grajaú, Primavera-Interlagos e Autódromo, atendidas no pico a cada 8 minutos (oferta de 15.000 pax/h/sentido), possuem, juntas, demanda de 86.000 passageiros diários.

No futuro, incluindo as estações Mendes e Varginha, esta demanda subirá para aproximadamente 206.000 passageiros diários, totalizando aumento de 140% na demanda. Supondo a mesma distribuição horária dos passageiros ao longo do dia e redução de intervalos para 3 minutos e 20 segundos no pico, valor ainda superior ao limite mínimo de 3 minutos do sistema instalado, a nova oferta seria de 36.000 pax/h/sentido, correspondente a um aumento na capacidade também de 140%.

Conclui-se que o ATC da Linha 9 - Esmeralda está adequado às necessidades atuais e futuras da linha, mas necessita de aprimoramento por meio do módulo de automação ATO e de supervisão de regularidade de oferta ATS. Sem estes

módulos, as diferentes habilidades dos condutores e os diferentes tempos de parada nas estações tornariam a linha muito suscetível a atrasos e à propagação dos atrasos. De fato, a decisão acerca da implantação do ATO neste ramal já foi confirmada pela CPTM em 2009.

Poderia ser levantada a dúvida se a linha operaria muito próxima do limite de sua capacidade nesta nova configuração. A resposta é negativa porque o trecho sul da linha é novo e possui configuração mais moderna dos circuitos de via, o que permite que sejam praticados intervalos um pouco menores neste trecho caso seja necessário.

Além disso, propõe-se também mudanças no SPU. O SPU é um gerador de sinal modulado aplicado na divisa dos circuitos de via que é ativado quando existe rota alinhada e válida, habilitando o ATC de bordo. Ele impede que sinais que vazaram para a bitola mista sejam reconhecidos. Na prática, isto é que faz com que o trem trafegue na mesma velocidade com que entrou no circuito de via até atingir o final dele, independentemente da liberação dos circuitos a frente que possa ocorrer durante este percurso. Assim, os códigos de velocidade são recebidos em locais determinados (mesma discussão do item 4.6 acerca dos locais de recebimento do código de velocidade).



Figuras 54 e 55: Estação Cidade Universitária: a via sentido Grajaú (esquerda) não possui bitola mista, ao passo que a via sentido Osasco (direita) a possui.

Fonte: Mapio e Wikimapia, respectivamente.

Portanto, o SPU é necessário apenas por haver bitola mista instalada. Os trens de carga que antes trafegavam pela linha em direção ao litoral eram de bitola mista. Os trens japoneses que circulavam na precária extensão sul também usavam a bitola mista. Entretanto, as cargas não são transportadas pelo ramal há anos. Ressalta-se que os trilhos que ligavam a linha à Mairinque-Santos já foram arrancados, os trens japoneses já estão aposentados e o trecho sul da linha, que foi reinaugurado em 2007 e 2008, não conta com bitola mista. Apenas alguns veículos de manutenção possuem ainda bitola mista.

Assim sendo, a proposta seria buscar autorizações legais para realmente arrancar toda a bitola mista na Linha 9 - Esmeralda tendo como objetivo uma operação mais ágil que se traduziria em ganho adicional na capacidade da linha mediante a desativação do SPU.

Há também medidas que podem ser tomadas imediatamente numa tentativa de melhorar a regularidade na linha. Uma delas seria informar os passageiros, mediante anúncios e cartazes, de que os trens do loop são menos cheios para tentar aproximar os tempos de parada dos dois serviços. Uma outra opção, que consiste em alterações nos intervalos, está explicada nos parágrafos a seguir.

O intervalo médio entre trens no pico no trecho do loop é de 4 minutos. Logo, a probabilidade de pegar um trem que circula apenas no loop é 50%. A intervenção proposta consiste em fazer com que os trens que apenas circulam no loop partam um pouco depois de 4 minutos após a saída do trem que não é do loop. Com isto, os trens que não são do loop partiriam um pouco antes de 4 minutos depois dos trens do loop. O intervalo médio seria mantido, mas as probabilidades e tempos de acumulação mudariam.

No pico da tarde, por exemplo, isto não alteraria o intervalo entre trens sentido Grajaú, que continuaria a ser de 8 minutos, mas reduziria neste trem o número de passageiros com destino a estação Santo Amaro, já que a probabilidade destes passageiros embarcarem no trem com destino ao Grajaú será menor.

Poderia-se pensar também na substituição total da sinalização ATC para dar lugar

ao CBTC. A CPTM contratou este avançado sistema para as linhas 8, 10 e 11 e ATO para as linhas 7, 9 e 12. Pode causar estranheza o fato de a Linha 10 - Turquesa, a segunda menos movimentada, receber um sistema mais avançado que a Linha 9 - Esmeralda, que é a segunda mais movimentada. Entretanto, a decisão para modernização da sinalização nas linhas 7, 9 e 12 foi tomada num momento anterior à decisão para modernização da sinalização nas linhas 8, 10 e 11, o que explica a diferença.

O CBTC faria com que os intervalos mínimos possíveis da Linha 9 - Esmeralda caíssem à metade. Além disso, em caso de atrasos, o trem de trás poderia se aproximar mais do trem da frente e diminuir a propagação do distúrbio de uma maneira mais eficiente. Os benefícios do CBTC são inegáveis e resolveriam indubitavelmente todos problemas detectados na linha, além de abrir oportunidades para incrementos futuros na oferta.

No entanto, os problemas atuais não ocorrem porque os blocos (circuitos de via) são fixos (ATC). Por isto, eles podem ser resolvidos sem a instalação do CBTC (blocos móveis). Conforme já foi discutido também, o ATC instalado dará conta dos acréscimos no número de passageiros esperado.

Os contratos para modernização da sinalização nas 6 linhas da CPTM estão paralisados. O ATO da Linha 9 - Esmeralda avançou menos de 20%. Portanto, o CBTC pode ser uma opção interessante apenas em caso de rescisão destes contratos.

Quanto ao sistema de telecomunicações instalado e em operação, é difícil a obtenção de informações apenas por meio de inspeções de campo. Por isto, a análise deste sistema será feita por meio de informações obtidas diretamente com os ganhadores do edital de licitação de troca do sistema de telecomunicações em toda a linha.

O sistema SDH atende muito bem à demanda do sistema de sinalização atual. Na verdade, o sistema de sinalização pouco exige do sistema de telecomunicações. Existem linhas da CPTM que ainda possuem sistemas com capacidade inferior ao

SDH instalados e em operação (Linha 10 - Turquesa, por exemplo) que operarão com SDH em breve.

A CPTM irá trocar o sistema SDH pelo IP-MPLS porque necessita transmitir imagens de videomonitoramento e quer oferecer funcionalidades de ITS aos passageiros. Estes serviços não são suportados pelo sistema SDH instalado, cuja capacidade está limitada a 155 Mb/s. O novo sistema permitirá que os diferentes tipos de informações (dados, vídeo, voz etc.) sejam suportados pela mesma infraestrutura.

Conforme o ramal se desenvolveu, surgiram necessidades de obter e transmitir informações de forma rápida, da mesma forma que ocorre no Metrô. Com o aumento no número de passageiros transportados, a tomada rápida de decisão frente a imprevistos tem sua importância elevada. Por isto, é essencial obter informações para balizar a tomada de decisões. Além disto, a implantação do ATO também requererá maior banda para que o sistema de regulação automática (de intervalos, partidas, abertura e fechamento de portas etc.) funcione corretamente.

Nessa discussão entram os sistemas inteligentes de transporte (ITS). Deseja-se aprimorar o item de prevenção e segurança no tocante ao controle de aglomeração, superlotação, segurança pública e emergência.

O item de informações aos usuários também será alvo de melhorias. É comum que, ao esperar um trem na CPTM, anúncios sonoros avisem a localização do próximo trem com destino a determinada estação. Esta prática ocorre também na Linha 9 - Esmeralda. Na estação Pinheiros, verificou-se que havia anúncios informando que o próximo trem com destino à estação Osasco já havia partido da estação Hebraica-Rebouças. Portanto, a informação da posição dos trens está disponível para a área técnica da estação e é traduzida para os passageiros por meio de anúncios sonoros não automáticos. Existe, portanto, grande potencial para intervenções que podem melhorar a qualidade da operação, assunto que será discutido no item 8.

O sistema IP-MPLS a ser implantado oferecerá capacidade de 10 Gb/s (6.351%

superior à atual) e consistirá num único sistema de gerenciamento (rede e elementos) com sincronismo e GPS. A configuração lógica adotada é semelhante a do sistema atual implantado (SDH), em anel.

7 ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

As mudanças propostas demandam interferências nos sistemas atualmente em operação para que se efetivem. No entanto, não se quer interromper o funcionamento da linha. Este item tratará da forma de levar a cabo as mudanças propostas sem interromper a operação da linha.

7.1 SINALIZAÇÃO

O ATO a ser instalado na Linha 9 - Esmeralda utilizará comunicação *wireless* entre trem e estações e entre trem e equipamentos de via.

A implantação deste sistema demanda intervenções no material rodante. Cada extremidade do trem receberá os equipamentos do ATO. Esta instalação pode ser feita nos pátios sem interromper a operação da linha. Apenas ocorrerá diminuição da disponibilidade de trens, item que pode ser contornado com a transferência de trens de outras linhas.

Nas estações, será necessário instalar tags. Estes equipamentos farão com que o trem reconheça o lado da plataforma (informação vital). As informações entre trem e estação serão transmitidas por rádio por meio dos access points das estações e por meio da antena de cada cabeceira do trem. Estão previstos dois access points por plataforma em princípio. Quando, por exemplo, uma composição chegar em uma estação, reconhecerá por meio dos tags o lado correto de abertura das portas e abrirá as portas após receber este comando da estação por meio do rádio do ATO. O trem apenas partirá após receber o comando para fechar as portas proveniente da estação.

Para prover maior disponibilidade, o rádio para comunicação terra-trem poderá operar em duas frequências diferentes: de 5,8 GHz, com vários canais, maior imunidade a interferências e maior atenuação; e de 2,4 GHz, com maior raio de cobertura, porém mais sujeitas a interferências. O rádio selecionará

automaticamente o sistema que melhor transmitirá o sinal.

As estações desempenharão a função de intermediárias na comunicação do trem com o CCO e vice-versa. O trem emite a informação pela antena; a estação a recebe pelo access point e a emite ao CCO pelo sistema óptico. O caminho inverso ocorre para a transmissão de informações do CCO para o trem.

Ainda nas estações, os *transponders* servirão de referência para que os trens desacelerem e parem de forma programada. O ponto de alinhamento será a cabeceira ao final da plataforma, pois deve-se alinhar a segunda porta do primeiro carro para os portadores de necessidades especiais (necessidade oriunda principalmente do piso tátil). A precisão deste sistema será de mais ou menos 30 centímetros (fator dificultante para instalações de portas de plataforma). Para a parada programada, estão previstos 6 *transponders*.

A instalação destes equipamentos não é difícil e pode ser feita na madrugada. Primeiramente, instalam-se os equipamentos numa via de testes. Após esta instalação, deve ser validado no CCO uma versão do software do ATO. Ele será o responsável pela automação nos movimentos dos trens, controle de intertravamentos, ajustes de intervalo e controle de desempenho dos trens.

Se os servidores para efetuar a comunicação entre CCO e o trecho já estiverem prontos, iniciam-se os testes em campo, com energização, verificação de funções básicas e análise de desempenho. Após a aprovação do trecho de testes, os equipamentos são implantados nos trechos restantes da linha, os quais são validados por partes.

A validação por partes ocorre por causa das estações-mestras, locais de onde há posto de controle do ATO. Estações consecutivas são agrupadas e uma estação deste grupo é escolhida para ser a estação-mestra. A ordem do CCO para uma estação deste grupo passará pela estação-mestra para depois ser encaminhada à estação final. Como exemplo, o projeto do CCO agrupou as estações Berrini, Morumbi, Granja Julieta e Santo Amaro em um único domínio. A estação-mestra escolhida para o grupo foi a Santo Amaro.

Todos os equipamentos do ATO da Linha 9 - Esmeralda já foram fabricados. A instalação, por outro lado, pouco avançou. Não são raras as matérias nos jornais revelando o abandono destes materiais. O trecho cuja estação-mestre é Santo Amaro é o mais avançado dos 6 domínios em que o comprimento atualmente em operação foi dividido. Já ocorreram até testes com trens nestas estações durante as madrugadas. O novo trecho até Varginha constituirá o sétimo domínio. Sua estação-mestra será Varginha e a escrava será Mendes.

Após a validação dos testes nas madrugadas em todos os domínios, iniciam-se os testes aos domingos, sem passageiros ainda. Depois, o sistema passa a operar com passageiros aos domingos. O período de operação é estendido para os sábados e, finalmente, a todos os dias da semana. A instalação do ATO sem interrupções pontuais na operação não é possível.

Existirá um período em que o sistema novo estará em operação durante a madrugada e o sistema antigo em operação durante o dia. O ATO é um módulo adicional do ATC. Desta forma, durante os testes, deve-se prever retorno ao sistema antigo em caso de falhas. Esta mudança na forma de operar dentro de um único dia não é feita durante a operação comercial, mas fora dela. Se houver falhas no ATO que exijam o retorno ao sistema antigo durante a operação comercial, transtornos serão inevitáveis, apesar de este retorno se concentrar no nível do software, pois os equipamentos físicos adicionais instalados são dispensáveis para a operação em ATC. Esta transição emergencial exigirá parada de todos os trens na linha até ativação do ATC antigo.

Para a extensão até Varginha, o intertravamento será mestre em Varginha e escravo em Mendes. Os equipamentos de campo, como sinais em LED, circuitos de via, máquinas de chave etc. deverão ser compatíveis com os equipamentos que já estão implantados no trecho em operação. Esta questão é resolvida ao se comprar equipamentos dos mesmos fabricantes que forneceram os aparelhos do trecho antigo. Apesar de não haver trilhos de bitola mista ao sul de Varginha e ao norte de Mendes, está prevista a implantação de SPU no novo trecho. Para a alimentação dos circuitos de via, cubículos de energia de 900V/90Hz ao longo da via serão

dispostos.

A figura 56 a seguir mostra a configuração de vias do novo trecho, sua divisão em circuitos de via e a localização dos sinaleiros, máquinas de chave (para movimentar os aparelhos de mudança de via) e caixas de locação (para acomodar os cabos).

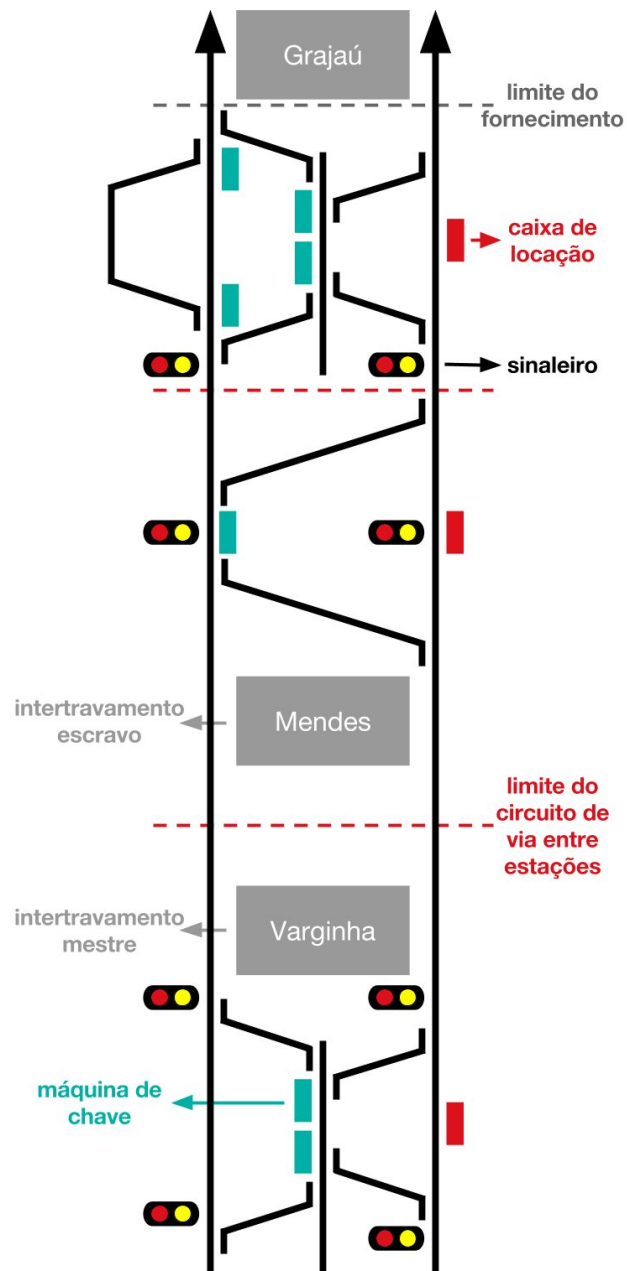


Figura 56: Equipamentos no trecho Grajaú - Varginha. Fonte: Consórcio Telar - Spavias.

A figura 57 exibe o posicionamento dos *access points*, dos transponders de plataforma, dos transponders de via, do aparelho responsável pelo SPU e da divisão do circuito de via entre Mendes e Varginha.

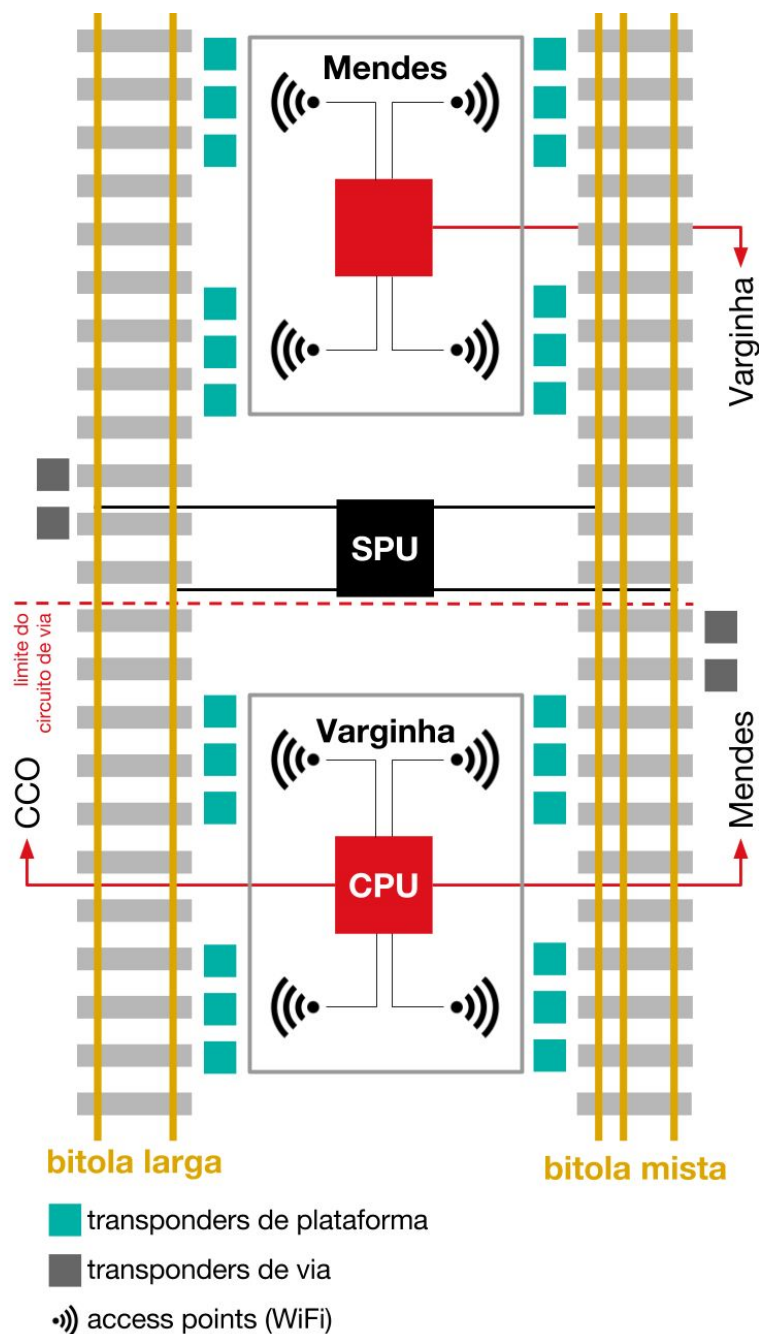


Figura 57: ATO no trecho Mendes - Varginha. Fonte: Consórcio Telar - Spavias.

7.2 TELECOMUNICAÇÕES

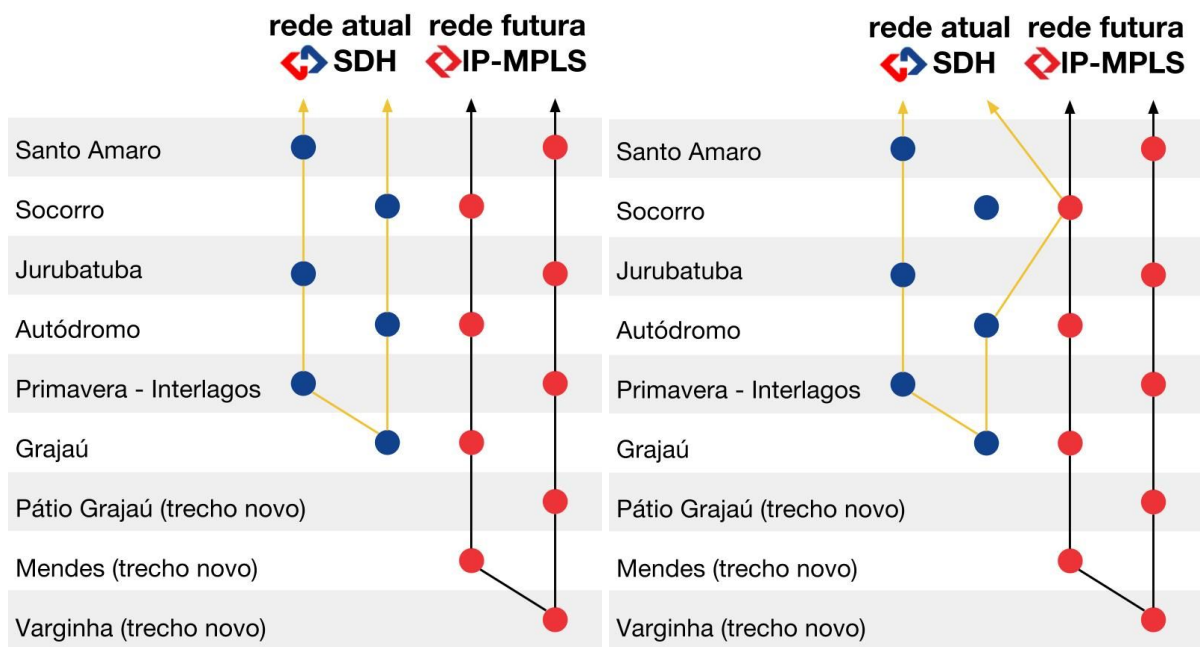
A migração do SDH para o IP-MPLS traz desafios maiores que a migração do ATC para ATC com ATO. Os equipamentos para o ATO, sistema não vital à segurança da operação, são adições aos equipamentos do ATC, de modo que, no período de transição dos sistemas, a possibilidade de retorno ao modo antigo de operação é facilitado.

Para os equipamentos de telecomunicações em fibra óptica, o retorno não se processará de forma simples. O sistema de telecomunicações é vital à segurança operacional. Uma vez conectados os novos cabos e equipamentos, eles não mais serão desconectados. Portanto, um sistema vital, que não é adição a um sistema já existente, será completamente trocado sem paralisar a operação do ramal.

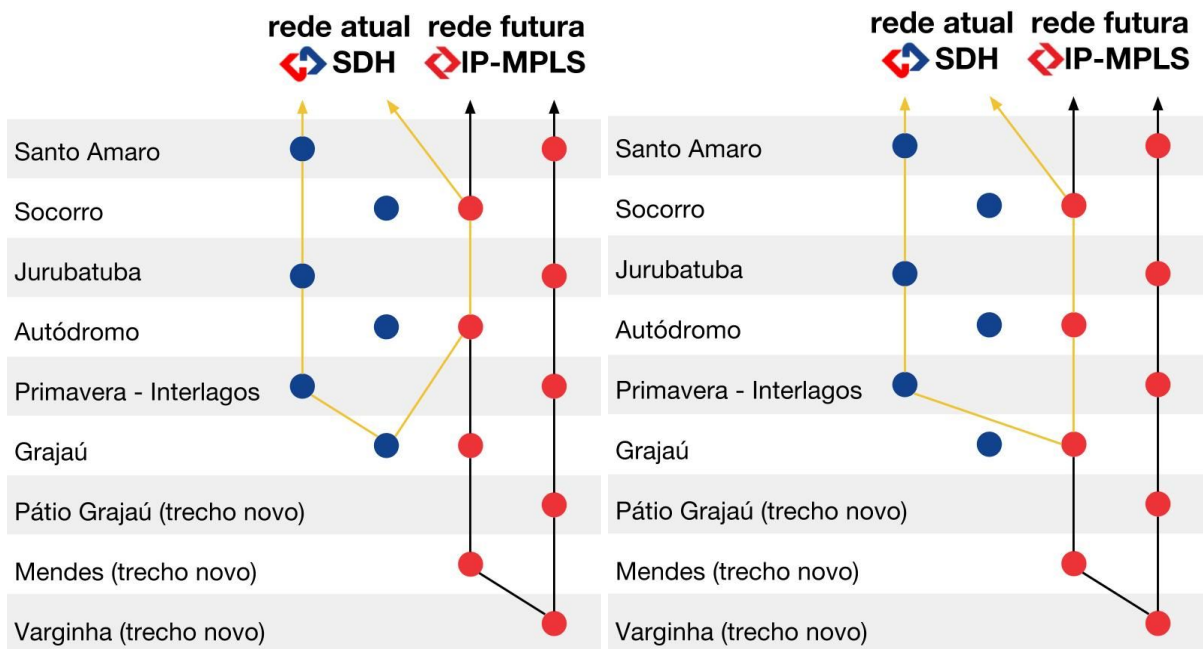
A forma de concretizar esta mudança está na conexão gradual da nova rede óptica à rede antiga e à interface do IP-MPLS com o SDH. Tomando partido desta interface, o sistema novo será concebido com o sistema velho em seu interior, permitindo a substituição gradual e a operação conjunta de trechos da rede nova com trechos da rede antiga, ainda não substituída.

Primeiramente, implanta-se a rede nova ao lado da rede antiga, sem efetuar nenhuma conexão ainda. Terminada esta etapa e confirmado o lançamento correto dos cabos e suas condições para iniciar a operação, a troca se processará de estação em estação.

A seguir será apresentada uma série de ilustrações mostrando como a troca será feita. Usou-se o trecho entre Morumbi e Varginha como exemplo. Talvez a implantação não siga a sequência adotada, mas a lógica é a mesma. As linhas de cor amarela representam a rede alocada para operação, ao passo que a linha preta representa a rede futura implantada ao lado da antiga. Note que, enquanto houver trechos da rede antiga ainda em operação, sua capacidade ainda ficará restrita a 155 Mb/s.



Figuras 58 e 59: Configuração inicial e 1ª transição, respectivamente.



Figuras 60 e 61: 2ª e 3ª transições, respectivamente.

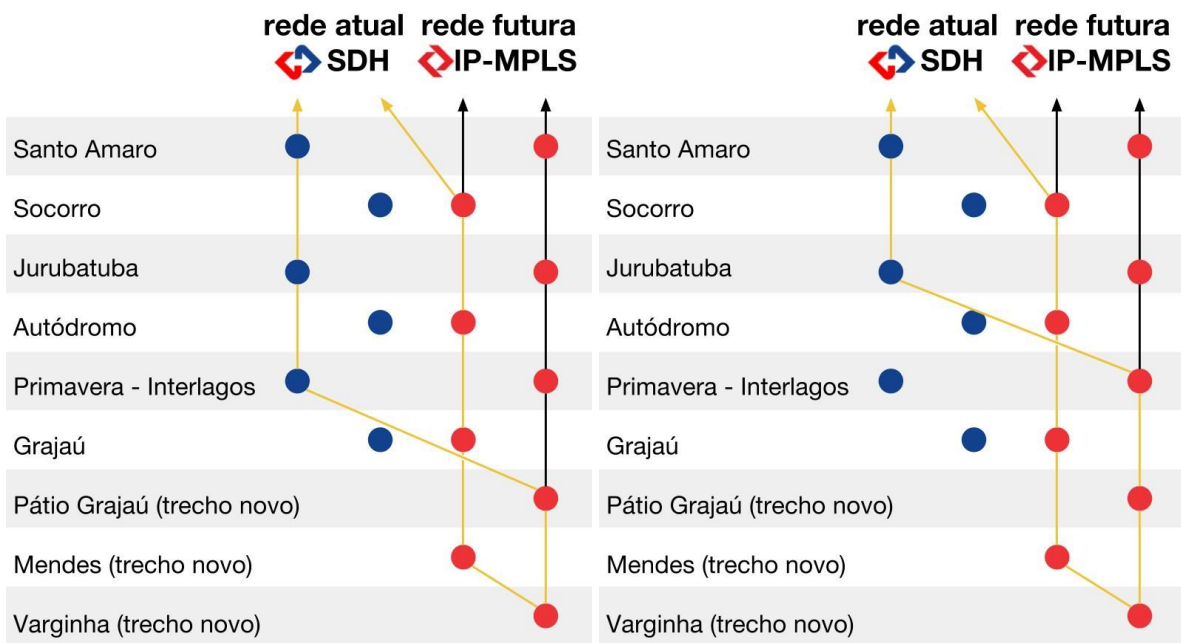


Figura 62 e 63: inclusão do trecho novo e 4ª transição.

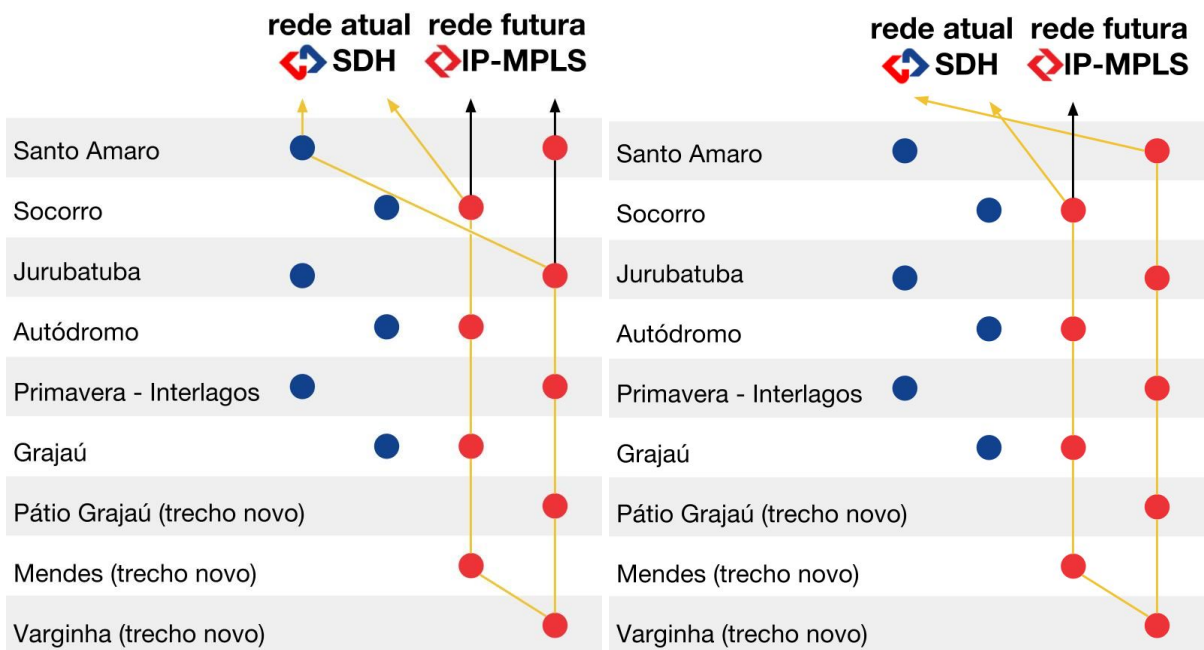


Figura 64 e 65: 5ª e 6ª transições, respectivamente.

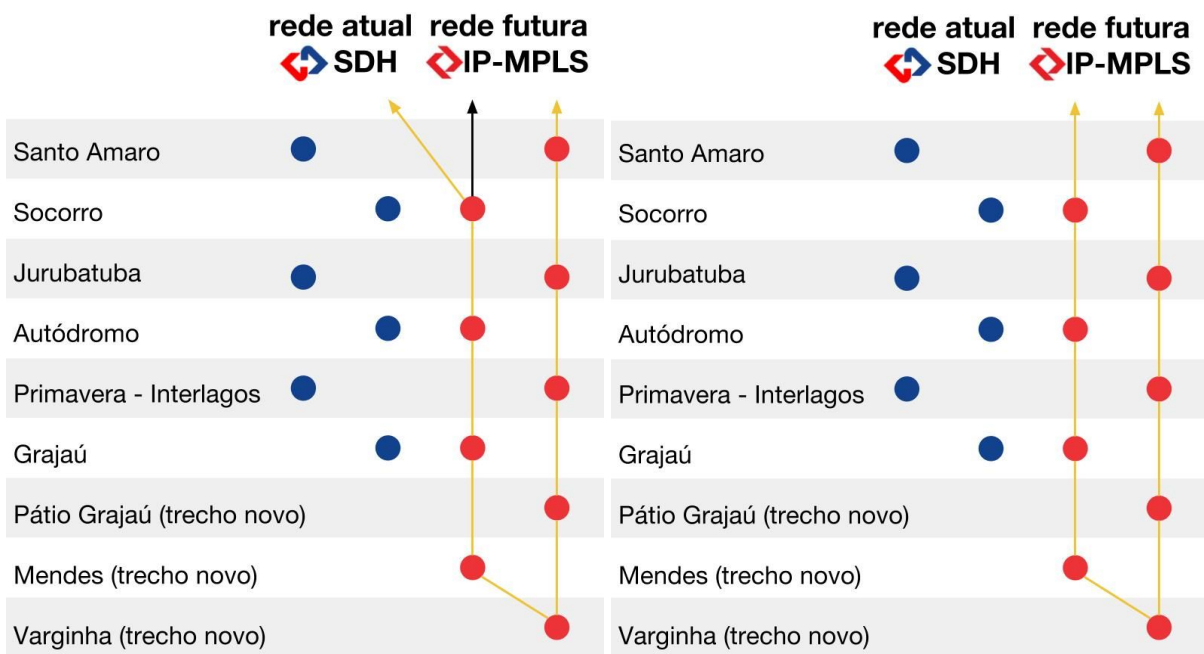


Figura 66 e 67: 7ª transição e configuração final, respectivamente.

Nas ilustrações acima, as bolas azuis representam todo o conjunto do retângulo cinza mostrado na figura 52 (página 76), ou seja dois equipamentos AM-1 para passar do STM-1 para E1 e um IMACS para realizar a interface com os serviços da estação.

No novo sistema, representado pelas bolas vermelhas, esta configuração mudará. Haverá dois DGOs (distribuidores internos ópticos) responsáveis pela passagem do cabo óptico para os cordões monofibra e vice-versa. Em cada estação, 2 dos 72 cordões monofibra estarão ligados aos switches de agregação, que farão a multiplexação e demultiplexação. Do switch de agregação, passa-se para o switch de acesso, responsável pela integração com o acesso da rede legada, que fará a interface com os serviços das estações, conforme a figura 68 a seguir:

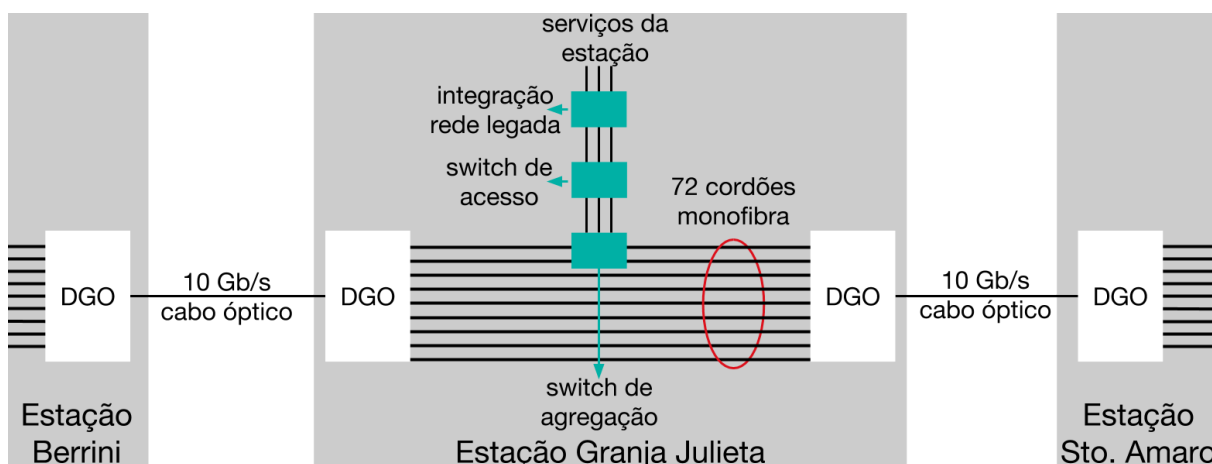


Figura 68: configuração da rede de acesso do sistema IP-MPLS. O conteúdo do retângulo central cinza representa o conteúdo de cada bola vermelha das imagens anteriores.

Na figura 68, o trecho do anel mostrado possui interface tanto em Granja Julieta quanto em Santo Amaro, estações consecutivas. Entre elas está prevista a Estação João Dias. A nova rede já estará preparada para atender a nova estação quando ela estiver pronta. Por já prever esta estação, a configuração de atender uma estação e pular outra é mantida.

O cabo óptico que está conectado aos DGOs não é o mesmo cabo que percorre o trecho entre as estações. Antes da entrada no ambiente interno, há uma caixa de emenda estanque (IP-68) na qual o cabo óptico instalado na via é ligado ao cabo óptico interno, que possui características especiais para evitar a propagação de chamas.

A rede completa não se limitará aos anéis apresentados, os quais são chamados de anéis de agregação. No caso da estação Granja Julieta, mostrada na figura 68, não há ligação com nenhum outro anel. Em outras estações, o switch de acesso poderá estar ligado a dois outros tipos de anel: anel-core e anel de acesso.

O anel-core possui interfaces apenas no CCO Brás, em Vila Olímpia, Berrini e Varginha. Sua função é evitar congestionamentos na rede providenciando um caminho rápido até o CCO. Como haverá interfaces da rede óptica em várias estações, uma informação proveniente de Varginha teria que passar por todas as estações até chegar ao Brás. Em Osasco, por exemplo, a rede teria o fluxo de todas

as estações da linha. Com o anel, isto não ocorre, pois são abertos caminhos rápidos até o CCO em outros pontos do ramal.

Os anéis de acesso, por sua vez, foram pensados para prover interfaces entre as estações em locais com baixa demanda, como por exemplo subestações, cabines seccionadoras etc. Não compensaria prover toda a interface das estações nestes locais, por isto eles serão atendidos por meio de cabos conectados diretamente aos switches de acesso das estações próximas, conforme a figura 69 a seguir.

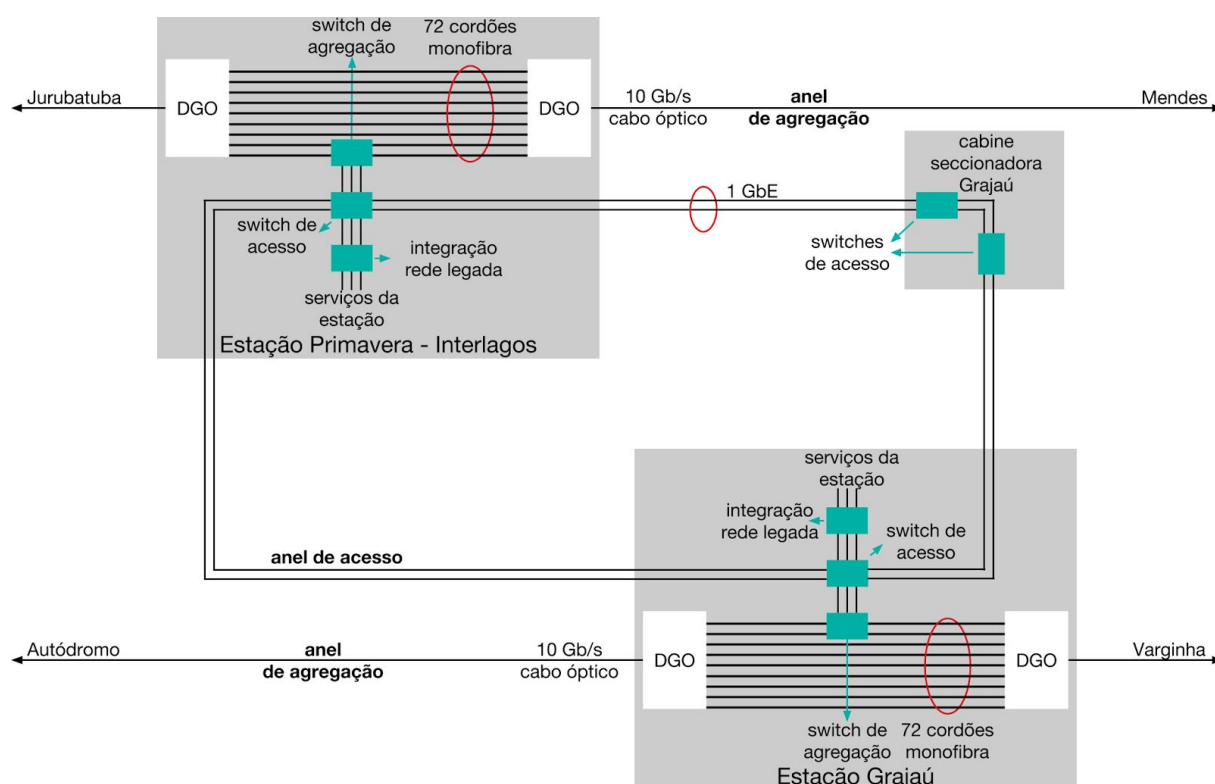
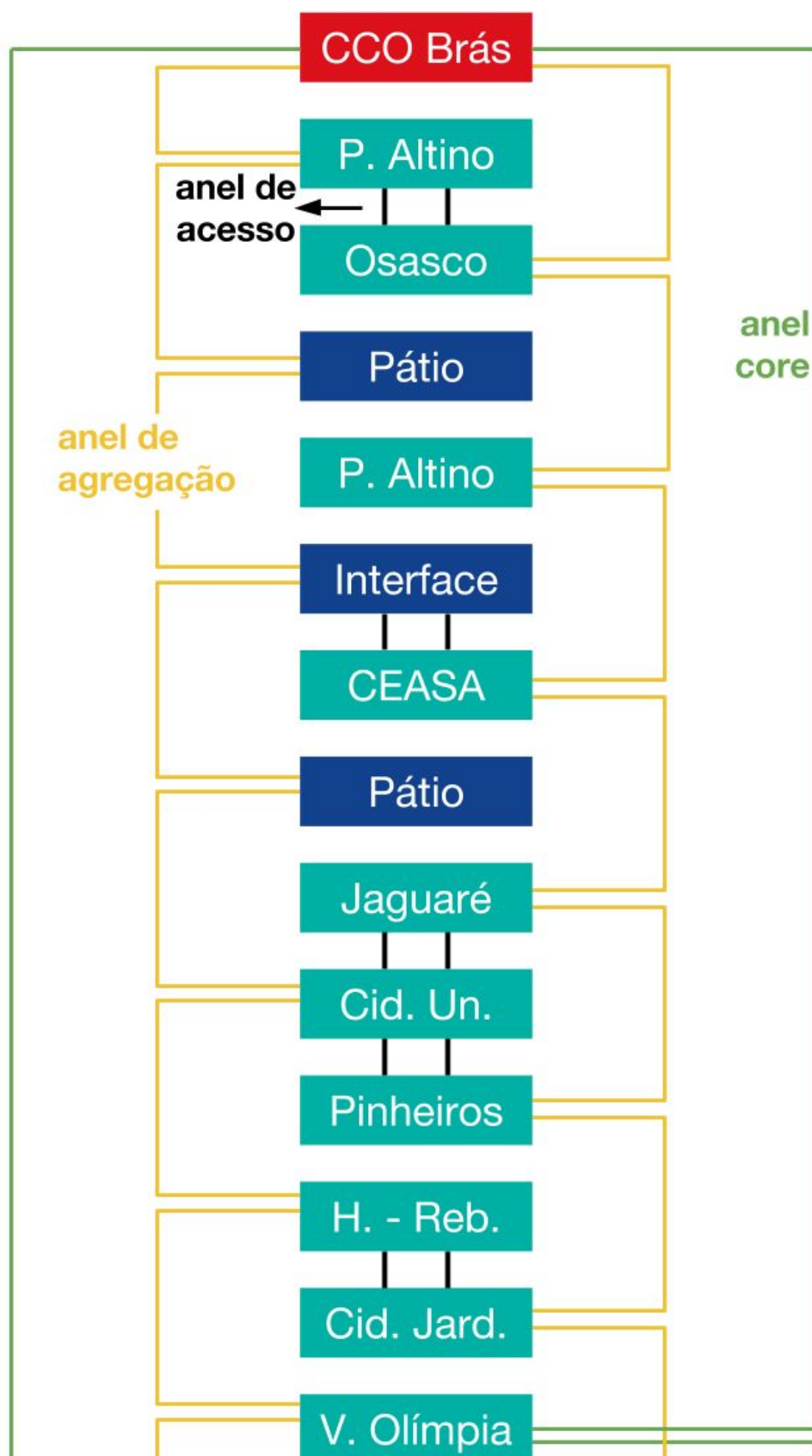


Figura 69: anel de acesso entre as estações Primavera - Interlagos e Grajaú para prover acesso à cabine seccionadora Grajaú, localizada entre as duas estações.

Portanto, é possível que a substituição da rede óptica comprometa a operação da linha. O único instante em que os serviços da estação não seriam atendidos seria para desligá-los dos IMACS e ligá-los aos switches de acesso. Esta etapa poderia ser feita, em cada estação, durante uma madrugada.

A figura 70 mostra a configuração final da nova rede óptica da Linha 9 - Esmeralda.



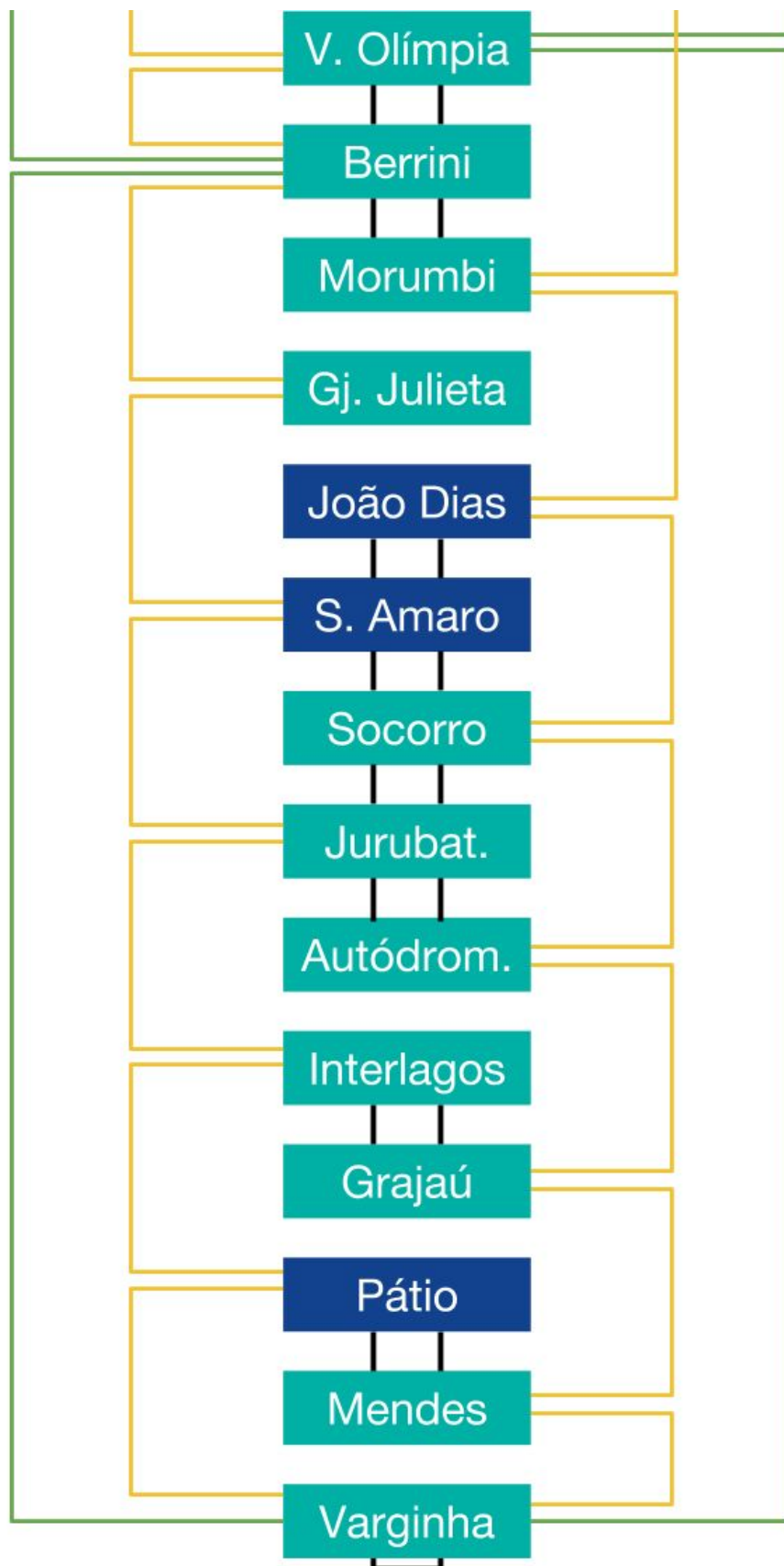


Figura 70: configuração total da nova rede óptica da Linha 9 - Esmeralda da CPTM.

8 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Esta última parte pretende analisar as possibilidades de melhoria nos serviços da Linha 9 - Esmeralda após a implantação e maturação dos novos sistemas de telecomunicações e sinalização e mudanças que podem ocorrer a longo prazo.

A melhora na regularidade dos intervalos será o primeiro benefício a ser percebido na operação comercial. Os tempos de parada nas estações serão regulados automaticamente de acordo com a demanda de cada estação e de modo a manter a regularidade dos intervalos. Além disso, as diferentes habilidades dos maquinistas não mais influenciarão o desempenho dos trens, os quais terão sua aceleração e desaceleração controladas. Essa ferramenta poderia realizar automaticamente a proposta apresentada de regulação dos intervalos entre trens do loop e trens que não são do loop.

Em situações de anormalidade, como a interrupção de um trecho da linha, o sistema estaria apto a operar em trechos reduzidos. Caso haja necessidade de não atender uma estação, isto também seria possível. Se as linhas que fazem integração com a Linha 9 - Esmeralda apresentarem problemas, também é possível reduzir o desempenho dos trens para ajustar o número de passageiros desembarcando à possibilidade de recebimento de mais passageiros nestas estações de integração. Todas estas estratégias podem ser efetivadas pelo sistema de sinalização.

A parada automática (programada) nas estações apresentará precisão de 30 centímetros para mais ou para menos. Seria possível a instalação de portas de plataforma semelhantes às existentes na Linha 4 - Amarela de metrô para isolar a plataforma da via. Além de proporcionar maior sensação de segurança e diminuir sensivelmente incidentes de queda de passageiros ou objetos na via, ainda seria possível fazer com que a velocidade de entrada e de saída de cada composição na estação fosse maior. Como exemplo de eficiência deste sistema, a Linha 4 - Amarela nunca teve problemas de usuários ou objetos na via. Por outro lado, se tomarmos como exemplo a Linha 1 - Azul, a única linha de metrô que não possui nenhuma estação com portas de plataforma, os incidentes são mais comuns, sendo

que o último ocorreu na Estação Paraíso no dia 6 de dezembro de 2017.

A experiência do Metrô na compatibilização do ATO com as portas de plataforma não é boa. Esta instalação demandou reforços estruturais nas plataformas e longos períodos de testes e de operação manual das portas. Houve dificuldade na precisão do ponto de parada também. Assim, esta implantação seria um grande desafio.

Mesmo com portas de plataforma em todas as estações e mesmo se o sistema de sinalização implantado fosse o CBTC em vez do ATO, não há como dispensar o maquinista de sua posição estratégica na cabine para implantar operações do tipo *driverless* ou *unattended train operation* porque a faixa de domínio da linha é bastante exposta. Esta questão de segurança será abordada à frente.

Grandes benefícios dos novos sistemas da linha decorrerão da possibilidade de obter, transmitir e disponibilizar maiores informações aos gestores, aos equipamentos, aos operadores, aos condutores, aos usuários e às agências regulatórias. Haverá infraestrutura para acomodar funcionalidades de ITS (sistemas inteligentes de transporte).

O sistema de informação ao usuário proporciona subsídios para que o passageiro programe melhor sua viagem e viaje melhor. Com relação à programação das viagens, a CPTM já possui um site com informações de horário de funcionamento, mapa da rede e tarifas. Em cada estação, estas informações são obtidas facilmente. Porém, algumas funcionalidades do site poderiam ser aprimoradas.

Já existe um sistema de programação de viagens pela rede de transporte sobre trilhos da cidade e já existe também um sistema que mostra a situação operacional de cada linha. Os novos sistemas instalados poderiam subsidiar a mudança do programador de viagens, que hoje fornece o mesmo tempo de viagem entre quaisquer estações independente do horário do dia, para um sistema sensível aos horários do dia e às condições atuais de operação, que seriam atualizadas automaticamente. A conveniência do sistema aumentaria e a escolha de deslocamento do usuário seria mais acurada.

Com relação às informações ao passageiro durante a viagem, sugere-se um painel

na entrada de cada estação que mostre a situação da linha que a atende e das demais linhas do sistema, algo semelhante ao que já ocorre na Linha 4 - Amarela. Em caso de anormalidades, anúncios sonoros e visuais reforçariam a informação.

Poderiam ser instalados painéis de mensagens variáveis nas estações para exibir mensagens institucionais e indicar o tempo de espera até a chegada dos próximos trens. Aliados a esta informação, o painel poderia ainda discriminar o destino de cada trem e sua lotação por carro (obtida com base no peso de cada carro). Assim, o passageiro que optar por esperar um trem mais vazio saberia o tempo até sua chegada e o carro menos cheio para embarque. Em conjunto com mensagens sonoras, estas seriam soluções muito boas para diminuir as diferentes solicitações dos trens do loop em relação aos trens que percorrem a linha toda.

Poderia ser aprimorado o sistema de informação aos passageiros existente no interior de cada composição. Hoje, este sistema informa ao passageiro de forma sonora e visual o destino do trem, a data, a hora local, as próximas estações e suas conexões, mensagens de segurança e de práticas adequadas no interior das composições. Sugere-se que a mensagem acerca do tempo restante para se chegar às principais estações pelas quais a composição passará seja exibida, bem como a situação operacional das linhas do sistema. As televisões no interior dos trens ainda são pouco exploradas comercialmente. Junto com os demais meios eletrônicos, mais receitas poderiam ser captadas. Ainda no interior do trem, por causa da nova rede óptica, abre-se a possibilidade de disponibilizar *internet* para funcionários e passageiros.

O ATS geraria relatórios e estatísticas contendo todas as informações sobre a operação, trens, tempo de parada, incidentes notáveis e respectivos tempos de recuperação, lotação das composições, decisões de emergência, condições de equipamentos etc. As informações que configuram situação de risco seriam transmitidas com máxima prioridade e gerariam sinal de alerta para o supervisor responsável (seja ele o maquinista, controlador de tráfego, supervisor de estação etc). Todas as informações coletadas seriam armazenadas num banco de dados para subsidiar o planejamento de curto-prazo da operação e manutenção dos

equipamentos da linha. Assim, torna-se fácil detectar pontos em que mais ocorrem atrasos, localizar o trecho de carregamento crítico a cada dia, levantar informações sobre procedimentos adotados por cada operador, detectar peças com maior recorrência de falhas, montar estratégias para atendimento de grandes eventos (como a Fórmula 1 no autódromo de Interlagos) etc. Estes dados também podem ser usados pelo gestor público (STM - Secretaria de Transportes Metropolitanos) para verificar o desempenho da operação.

Com o advento da transmissão simultânea das câmeras de vigilância dos trens e estações para o CCO, item em que a CPTM está bastante atrasada, poderia-se avançar na detecção de incidentes, detecção e prevenção de aglomeração, punição para acionamento indevido de botoeiras de emergência, combate à criminalidade, ao vandalismo, ao comércio ambulante e à evasão de receitas. O comércio ambulante, hoje, está fora de controle em toda a CPTM. Não ocorrem pausas nem mesmo nos horários de pico. A segurança patrimonial atual é contratada e não possui poder de polícia. Com isso, não há intimidação ao comércio e à mendicância. O vandalismo, por outro lado, diminuiu bastante desde a entrada da CPTM. Hoje, a Linha 9 - Esmeralda é a que menos registra ocorrência de troca de para-brisas apedrejados (apenas 6 em 2016).

Com relação à faixa de domínio, ela ainda é aberta em muitos trechos. Na Linha 9 - Esmeralda, esta situação é melhor que em outras linhas. Entretanto, o pátio Presidente Altino ainda é muito exposto. A solução para segurança dos passageiros e do patrimônio não será resolvida apenas com a possibilidade de monitorar todas as câmeras em tempo real e com os canais de denúncia, mas com a montagem de uma central especializada em segurança e com mais agentes com poder de polícia em campo. Há poucos anos, por exemplo, as próprias grades que separavam a Linha 9 - Esmeralda das pistas para tráfego de automóveis foram furtadas em plena marginal Pinheiros. Pichações ainda acontecem em Presidente Altino e os vidros riscados não são raros.

No médio prazo, está prevista a abertura da Linha 17 - Ouro, numa primeira fase ligando a estação Morumbi ao aeroporto de Congonhas e ao Jardim Aeroporto e,

no futuro, o Jabaquara ao Morumbi. Esta linha terá sua demanda bastante distribuída nos dois sentidos e ao longo do dia. Pode haver incremento de passageiros na Linha 9 entre Morumbi e Pinheiros, principalmente.

Com a extensão da Linha 4 - Amarela até a Vila Sônia e mais tarde até Taboão da Serra e também com a extensão da Linha 5 - Lilás até o Jardim Ângela, certamente haverá aumento de usuários no trecho Pinheiros - Santo Amaro. Não se sabe quando estas extensões ficarão prontas, mas a Linha 9 - Esmeralda contará com o benefício de não ter o trecho crítico entre estas estações, o que abre espaço para aumento de demanda.

Ainda está prevista a implantação do Expresso Oeste-Sul, ligando a estação Pinheiros à estação Barueri. Ainda não foi definido se haverá compartilhamento de vias ou se haverá vias novas para este serviço. Junto com este expresso, prevê-se a mudança de terminal do ramal de Osasco para Água Branca. Esta mudança demandaria soluções semelhantes às apresentadas para a extensão Grajaú-Varginha, de modo a incluir um novo trecho operacional a um trecho já existente.

Em relação a futuras estações além de Mendes e Varginha, está prevista a construção da estação João Dias, conforme já foi mencionado. A estrutura para a rede óptica para ela já foi prevista no projeto. Mas também há possibilidades, ainda muito incipientes, de incluir novas estações, como a estação Pedreira entre Jurubatuba e Autódromo e uma estação entre Cidade Universitária e Villa Lobos - Jaguaré. Neste caso, a rede óptica seria segmentada para inclusão das novas localidades.

Com inaugurações distantes de mais ferrovias, como a Linha 20 - Rosa, sob a Av. Faria Lima, a Linha 19 - Celeste, sob a Av. Brig. L. Antonio e Av. Sto. Amaro, a Linha 22 - Cobre, sob a Rod. R. Tavares, a linha sob a Av. Jaguaré e o arco oeste da CPTM, passando por Jurubatuba, Cpo. Limpo, Vl. Sônia e Barueri, a tendência é de haver redistribuição de passageiros, menores demandas concentradas e pendulares. Os sistemas analisados provavelmente estariam aptos a esta situação.

9 CONCLUSÃO

Passados 60 anos após a inauguração, a Linha 9 - Esmeralda já foi administrada por três empresas diferentes e, por ocasião das mudanças de administração, a nova empresa que a assumia sempre reconhecia que melhorias eram necessárias no ramal.

A EFS precisava de um novo ramal para encurtar a distância até o litoral e construiu a ligação que viria a ser a linha 9. O perfil de uso do ramal mudou e, sob a gestão FEPASA, poucas cargas usavam o ramal, o que levou à modernização para atender aos serviços metropolitanos. Tanto a EFS quanto a FEPASA não aproveitaram todo o potencial do ramal, que ficou subutilizado. Apenas na gestão CPTM, com a construção de mais estações e com o prolongamento até áreas populosas do sul da cidade, a linha conseguiu superar a subutilização. Ajudaram neste processo a construção de mais linhas de metrô e o bilhete único.

O desenvolvimento dos sistemas de sinalização foi norteado pela oposição entre segurança e capacidade. Na Linha 9 - Esmeralda, o sistema original da EFS era o simplório *staff*, adequado às demandas da época. A operação de serviços metropolitanos com *staff* indicava o baixo uso da linha. O salto para o ATC foi enorme. A FEPASA já tinha em mente os futuros investimentos que seriam feitos, mas não conseguiu realizá-los.

Até hoje, o ATC da FEPASA está em operação. Aos poucos, a CPTM modernizou sua interface com o sistema de telecomunicações, instalando o SDH e a indicação na cabine do condutor da velocidade adequada para o próximo trecho a ser percorrido. A evolução dos sistemas de telecomunicações na linha foi norteada pela necessidade de maior capacidade e facilidade para acessar os dados.

A CPTM é a primeira empresa que vê o forte resultado dos seus investimentos no ramal e reconhece que precisa substituir um sistema que ela mesma havia instalado. Os principais problemas atuais da Linha 9 - Esmeralda são as irregularidades nos intervalos nos horários de pico e a ausência de sistema de suporte para transmissão de grandes quantidades de informações para auxiliar a

operação em níveis elevados de demanda.

Dentre as tecnologias de sinalização e de telecomunicações empregadas no mundo, concluiu-se que o ATO é o sistema mais adequado para enfrentar o futuro do ramal. No âmbito das telecomunicações, o sistema escolhido foi o IP-MPLS.

Esses sistemas, escolhidos pela CPTM e analisados neste trabalho, precisam ser implantados numa linha que não é mais a menos movimentada, mas a segunda que mais transporta em toda a CPTM. Este ineditismo na Linha 9 - Esmeralda motivou a pesquisa deste conteúdo para entender de que modo esta transição pode ocorrer de modo a causar interferências mínimas à operação comercial.

Enquanto o prolongamento do ATC e a migração para ATO demandam longos testes nas madrugadas e interrupções sucessivas para validação dos protocolos de segurança e cumprimento das horas de teste, a troca do sistema de sinalizações não prevê interrupção alguma no ramal. Entretanto, a menos que ocorra durante a operação comercial, o retorno ao sistema antigo em caso de falha no ATO é mais simples. No caso das telecomunicações, também há testes para verificação dos equipamentos, mas uma vez feita a substituição, não há retorno aos equipamentos antigos. A ideia para esta substituição ser eficaz é montar o sistema novo com o sistema antigo dentro dele e, aos poucos, efetuar a migração. Estas estratégias de implantação e substituição de sistemas se revelam apropriadas até para possíveis futuras extensões da linha.

Com os sistemas instalados e em operação, abrir-se-á um numeroso leque de possibilidades para melhorar ainda mais o serviço do ramal. A operação automática resolverá os problemas de irregularidades nos intervalos e o novo sistema de telecomunicações prestará serviços que auxiliarão o passageiro antes, durante e depois do seu deslocamento pelo ramal. No âmbito gerencial, praticamente todas as variáveis poderão ser monitoradas de perto. Assim, será possível detectar padrões de falhas antecipadamente, responder rapidamente a quaisquer imprevistos e pôr em prática operações diferenciadas. Tudo isto se reverterá em benefícios para a rede ferroviária e, principalmente, para a população.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ESTRADA DE FERRO SOROCABANA. **Relatório referente ao ano de 1951 apresentado ao excelentíssimo senhor secretário da viação e obras públicas pelo diretor da estrada.** São Paulo: [s.n.], 1952.

_____. **Relatório referente ao ano de 1952 apresentado ao excelentíssimo senhor secretário da viação e obras públicas pelo diretor da estrada.** São Paulo: [s.n.], 1953.

_____. **Relatório referente ao ano de 1953 apresentado ao excelentíssimo senhor secretário da viação e obras públicas pelo diretor da estrada.** São Paulo: [s.n.], 1954.

_____. **Relatório referente ao ano de 1954 apresentado ao excelentíssimo senhor secretário da viação e obras públicas pelo diretor da estrada.** São Paulo: [s.n.], 1955.

_____. **Relatório referente ao ano de 1955 apresentado ao excelentíssimo senhor secretário da viação e obras públicas pelo diretor da estrada.** São Paulo: [s.n.], 1956.

_____. **Relatório referente ao ano de 1956.** São Paulo: [s.n.], 1957.

_____. **Relatório referente ao ano de 1957.** São Paulo: [s.n.], 1958.

ILUSTRAÇÃO NOSSA ESTRADA: MENSÁRIO DE CULTURA FERROVIÁRIA. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 85, julho 1945.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 86, ago. 1945.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 87, set. 1945.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 88, out. 1945.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 89, nov. 1945.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 163, jan. 1952.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 166 e 167, abr. e mai. 1952.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 177, mar. 1953.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 178 e 179, abr. e mai. 1953.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 233 e 234, nov. e dez. 1957.

_____. São Paulo: Estrada de Ferro Sorocabana, n. 305 e 306, nov. e dez. 1963.

MONTES, Fernando. Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución.

Anales de mecánica y electricidad. Madrid: jan. e fev. 2007. p. 30-39.

RIVES, F. O.; MENDEZ, M. R.; PUENTE, M. M. **Tratado de ferrocarriles II:** ingeniería civil e instalaciones. Madri: Rueda, 1980. 1173 p.

TOGNO, F. M. **Ferrocarriles.** Cidade do México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., 1982. 506 p.

NABAIS, RUI JOSÉ DA SILVA. **Manual básico de Engenharia Ferroviária.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 349 p.

PITA, ANDRÉS LÓPEZ. **Explotación de líneas de ferrocarril.** Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2008. 543 p.

YAMAGUTI, B. M. **Aparelhos de sinalização.** São Paulo: Rede Ferroviária Federal S.A. [entre 1975 e 1995]. 53 p.

ALOUCHE, PETER LUDWIG; NAKAGAWA, TADASHI. ITS no setor metroferroviário. In: SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE. [S.I.]: ANTP, v. 8, maio 2012. p. 61 - 75.

ANDRES, E. et al. **Railway Signalling & Interlocking:** International Compendium. Hamburg: Eurailpress, 2009. 448 p.

THE NIPPON SIGNAL CO., LTD. **Centralized Traffic Control (C.T.C.).** [S.I.]: Japan International Cooperation Agency. [19--]. Paginação irregular.

PORTO, Telmo Giolito. **Aula 7 - Operação dos trens.** Slides de aula de PTR2501 -

Transporte ferroviário e transporte aéreo. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/ptr0540/download/aula7.pdf>>. Acesso em 07 jun. 2017.

STEFANI, Celia Regina Baider. **O sistema ferroviário paulista: um estudo sobre a evolução do transporte de passageiros sobre trilhos**. São Paulo, 2007. 304 p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-12022008-102649/pt-br.php>>. Acesso em 05 jun. 2017.

GRANDI, Guilherme. **Estado e capital ferroviário em São Paulo: a Companhia Paulista de Estradas de Ferro entre 1930 e 1961**. São Paulo, 2010. 267 p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8137/tde-19092011-133824/pt-br.php>>. Acesso em 06. jun. 2017.

ROSA, Ádima Domingues da. O processo de privatização da FEPASA na década de 90. **Revista de Iniciação Científica da FCC** (Faculdade de Filosofia e Ciências da UNESP), Marília, v.4, n.3, p. 105-116, 2004. Disponível em: <<http://www2.marilia.unesp.br/revistas/index.php/ric/article/download/103/104>> . Acesso em 06 jun. 2017.

GIESBRECHT, RALPH MENNUCCI. **Estações ferroviárias do Brasil**. São Paulo: sítio eletrônico com banco de dados. Disponível em: <<http://www.estacoesferroviarias.com.br/>>. Acesso em 10 mai. 2017.

GORNI, ANTONIO AUGUSTO. **A eletrificação nas ferrovias brasileiras: Estrada de Ferro Sorocabana**. Disponível em: <<http://www.pell.portland.or.us/~efbrazil/lectro/efs.html>>. Acesso em 05 jun. 2017.

RECHI, H. J. **Sinalização ferroviária**. Osasco: 2014. Disponível em: <<http://hrechiblogspot.com.br/2014/09/sinalizacao-ferroviaria.html>>. Acesso em 05 jun. 2017.

GIESBRECHT, ALEXANDRE. **O serviço de subúrbios da FEPASA**. São Paulo: 2014. Disponível em: <<http://www.historiaspaulistanas.com.br/index.php/servico-suburbios-fepasa/>>. Acesso em 05 jun. 2017.

Metrô inicia integração com CPTM na Estação Pinheiros da Linha 4. G1. São

Paulo: 03 jun. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/06/metro-inicia-integracao-com-cptm-na-estacao-pinheiros-da-linha-4.html>>.

Acesso em 07 jun. 2017.

Construtora deve bancar estação da CPTM. O Estado de São Paulo. São Paulo: 01 set. 2011. Disponível em: <<http://www.revistaferroviaria.com.br/index.asp?InCdN ewsletter=6288&InCdUsuario=40523&InCdMateria=13911&InCdEditoria=2>>. Acesso em 07 jun. 2017.

LOBO, RENATO. **Implantação de novo sistema de sinalização da CPTM segue atrasada.** ViaTrolebus. São Paulo: 03 fev. 2016. Disponível em: <<http://viatrolebus.com.br/2016/02/implantacao-de-novo-sistema-de-sinalizacao-da-cptm-segue-atrasada/>>. Acesso em 07 jun. 2016.

FILOMENO, PAULO ROBERTO. **O uso das telecomunicações na ferrovia.** Revista Ferroviária. São Paulo: 23 set. 2008. Disponível em <<http://revistaferroviaria.com.br/index.asp?InCdEditoria=2&InCdMateria=6971&pagina=247>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

Um toque de saudosismo no "Adeus aos Toshiba" da CPTM. Linobus. São Paulo: 11 ago. 2010. Disponível em <<http://linobuseoutrasimagens.blogspot.com.br/2010/08/um-toque-de-saudosismo-no-adeus-aos.html>>. Acesso em: 11 jun. 2017.

JUAN, ALBERTO DE. **¿Qué es la Marcha a la vista en el ferrocarril?** Trenvista: el ferrocarril en sus manos. Disponível em: <<https://www.trenvista.net/descubre/mundo-ferroviario/marcha-a-la-vista-en-el-ferrocarril/>>. Acesso em 12 jun. 2017.

Quem sabe o que é STAFF? Planeta Ferrovia. Disponível em: <<http://planetaferrovia.blogspot.com.br/2013/10/quem-sabe-o-que-e-staff.html>>. Acesso em 23 ago. 2017.

Linha 9-Esmeralda irá até Varginha e deve atender 120 mil novos usuários. SP Notícias. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/linha-9-esme>

[ralda-sera-ampliada-ate-varginha-e-atendera-120-mil-novos-usuarios/](#)>. Acesso em 29 out. 2017.

Revolução digital chega às ferrovias. Instituto Brasileiro de Logística. Belo Horizonte: 24 mai. 2011. Disponível em: <http://www.ibralog.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=93Arevolucao-digital-chega-as-ferrovias&catid=193Alogistica&Itemid=13&lang=en>. Acesso em 15 set. 2017.

TUDE, EDUARDO. **IP: roteador.** Teleco: 28 out. 2002. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialip/>>. Acesso em 4 dez. 2017.

FILHO, HUBER BERNAL. **Redes SDH.** Teleco: 05 jul. 2009. Disponível em: <<http://teleco.com.br/tutoriais/tutorialrsdh/default.asp>>. Acesso em 3 nov. 2017.

TEIXEIRA, VALTER. **RAD fornece Tecnologia de Comunicação Trem-Terra para o Monotrilho da Linha 17 do Metrô de São Paulo.** RAD: 14 mai. 2014. Disponível em: <<http://portuguese.rad.com/19/32913/>>. Acesso em 22 nov. 2017.

CORREA, ANDERSON BACCAS. **Solução terra-trem utilizada no SCMVD da Linha 17 - Ouro.** AEMESP. São Paulo: set. 2015. Disponível em: <<http://www.aeamesp.org.br/biblioteca/stm/21sml96rl.pdf>>. Acesso em 24 nov. 2017.

KITAGAWA, MARIANGELA MITSUE SHIMIZU. **WDM e suas tecnologias.** UFRJ: Rio de Janeiro: 2004. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/04_1/wdm/wdm.html>. Acesso em 20 nov. 2017.

REVISTA ENGENHARIA. São Paulo: Engenho Editora Técnica, n. 610, 15 ago. 2012, 212 p. Disponível em: <https://issuu.com/www.viapapel.com.br/docs/610_baixa/136>. Acesso em 6 dez. 2017.

MARTE, CLAUDIO LUIZ. **Slides de aula de PTR2580.** São Paulo: 2017. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=31468>>. Acesso em 08 dez. 2017.