

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3: PROJETO DE SISTEMA DE TRANSPORTE

COORDENAÇÃO INTERDISCIPLINAR NO DESENHO E CONTRUÇÃO DO PATIO DE TRENS DA LINHA 6 DO METRO DE SP

1. INTRODUÇÃO

A Linha 6 Laranja é o maior projeto de infraestruturas público-privada (EPC) em desenvolvimento na América Latina, e o maior projeto de infraestrutura da história da ACCIONA. Além de ser uma obra em benefício da comunidade, tendo impacto direto na qualidade de vida dos cidadãos, também contribui para o planejamento viário da cidade com transportes modernos, rápidos e sustentáveis.

Com 15,3km, a Linha 6-Laranja de metrô reduzirá a apenas 23 minutos um trajeto que hoje é feito de ônibus em cerca de 1h30min, trazendo assim mais tempo para as famílias e impulsionando ao comércio local, promovendo mais equidade social e desenvolvimento econômico. Serão 15 estações com 18 poços e 1 Pátio de Estacionamento e Manutenção de trens, além de 2 estacionamentos intermediários e um outro estacionamento no final da linha que servirão como reguladores da operação da Linha, e duas Subestações Primárias de energia com 40 MVA cada uma. O projeto prevê a concessão para construção e operação de linha de metrô por 19 anos. A linha operará com 22 trens para transportar cerca de 633 mil passageiros por dia.



Figura 1 - Esquema da Linha 6



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Quanto ao traçado, a Linha 6 ligará o centro da capital ao seu extremo noroeste e passará por vários bairros onde estão localizadas as principais faculdades universitárias da cidade, ligando a região central às zonas Oeste e Norte.

A execução dos trabalhos conta, para a escavação dos tuneis da linha principal, com duas TBM-EPB. Em termos de números globais do Projeto, foram escavados 3,2 milhões de m³ de solo e mais de 1,0 milhão de m³ de rocha, tendo sido utilizados mais de 980.000 de m³ de concreto e mais de 100.000 toneladas de aço em armações até hoje.

Localizado no extremo norte da linha, na região da Brasilândia, o Pátio de Manutenção e Estacionamento de Trens Morro Grande vem sendo construído assentado na antiga pedreira de Anhanguera, que encontrava-se abandonada. Com uma orografia peculiar, a implantação do Pátio Morro Grande tem sido um grande desafio desde os primeiros layouts do projeto por vários motivos: Além de ser um ponto elevado em relação à linha, com acesso por túnel escavado em rocha, situa-se em uma região onde havia um lago formado ao longo dos anos devido às chuvas. Ademais, houve a necessidade de se rebaixar em até 30m alguns pontos, sendo a maior parte da escavação em granito, no intuito de atingir-se a cota para a implantação compatível com a chegada da via desde o túnel de via. Por fim, devido a estar cercado por relevo mais elevado, houve limitações quanto ao espaço confinado para abrigar todas as instalações para a operação da linha.

Ao fim das obras, o Pátio Morro Grande terá capacidade de comportar e fazer a manutenção de 22 trens com 6 carros cada um. Isso se faz possível por meio da organização do layout por blocos, divididos por especialidades, possuindo desde uma oficina de manutenção de trens, via permanente e material rodante, até um posto de abastecimento de veículos elétricos. Dentre os diversos blocos, podemos citar tanto a presença de maquinário extremamente moderno, como o Torno Rodeiro e as máquinas de lavagem, para a manutenção dos trens, quanto blocos concebidos para prover apoio ao próprio Pátio, existindo toda uma estrutura de controle operacional e até mesmo uma academia e quadra poliesportiva para os funcionários.

Diante da magnitude de um projeto como o empreendimento Linha 6, um dos pontos mais importantes, é o Pátio de Manobras ou Pátio de Manutenção e Operação dos trens, tendo em vista que toda a estrutura desenvolvida atuará como ponto inicial e primordial para operação da linha, portanto, a definição de um layout e o desenvolvimento dos projetos em todas suas fases, até a concepção é fundamental para o êxito de operação. Além da função primordial de operação, o Pátio é a estrutura da linha na qual necessita ficar operativa antes de qualquer outra, isso porque é onde serão recebidos os 22 trens



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

que compõem a frota, e além disso, é onde deverão ser testados todos os sistemas da linha e da sua operação.

Para o desenvolvimento de um projeto de um Pátio de uma linha de metrô, deve-se considerar a interdisciplinaridade dos sistemas metroviários que o compõem, sendo que o alinhamento entre eles deve estar presente desde o processo de concepção.

A concepção do projeto é uma fase crucial em qualquer empreendimento, se faz necessário o planejamento detalhado de todas as etapas, desde a definição dos objetivos até a elaboração das especificações técnicas e dos recursos necessários para a sua correta execução, assim, um dos principais desafios na concepção de projetos de infraestrutura é a gestão interdisciplinar. Isso envolve a coordenação e integração de diferentes áreas de conhecimento e especialidades para garantir que todas as partes do projeto sejam desenvolvidas de forma harmoniosa e eficiente. Para o desenvolvimento do projeto de implantação do Pátio Morro Grande, foram envolvidas 12 disciplinas principais, e um total de 74 subdisciplinas, dentre as quais podemos citar obra civil, sistemas ferroviários, geotecnia, arquitetura, entre outras. A gestão interdisciplinar se torna ainda mais complexa devido à diversidade de elementos envolvidos e à necessidade de sincronização entre eles.

Por esse motivo, decidiu-se desenvolver o projeto e a construção do pátio com a metodologia BIM, desenvolvendo cada uma das disciplinas e integrando-as em um modelo complexo federado. Esse modelo multidisciplinar foi estabelecido como o canal para a coordenação de todas as disciplinas acima mencionadas, além de se tornar uma fonte unificada de informações sobre o projeto. Esses modelos, apesar de serem concebidos na fase de projeto básico, podem sofrer modificações e adaptações constantes durante a fase da construção, o que possibilita a coordenação do trabalho realizado *as-built* mediante avanço do projeto. Posteriormente, com a entrada dos diversos subcontratados do projeto, também se faz necessário integrar e coordenar seus respectivos modelos BIM em um único produto.

2. PREMISSAS DO PROJETO

Na concepção do desenho, existem três grandes desafios a serem levados em consideração pelo projetista: a compatibilização das disciplinas, as restrições normativas e, ainda, a necessidade de adequar o desenho às condições naturais do terreno.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Primeiramente, é de vital importância conhecer todos os condicionantes desde o início do processo do desenho. Estes requisitos podem ser agrupados em 4 grandes grupos: Obra Civil, Via Permanente, Sistemas e Material Rodante. A sequência lógica a ser seguida no processo construtivo seria: Civil → Via Permanente → Sistemas → Material Rodante. No entanto, o processo de recepção de inputs para desenvolvimento dos projetos básicos e executivos é precisamente o contrário. Ao se tratar de um Projeto Ferroviário Completo, o objetivo final é a circulação do trem, assim, os diversos projetos já devem ter em vista de antemão as necessidades do trem. Um exemplo disso é a necessidade de se prever furos no projeto estrutural para passagem de dutos de máquinas que ainda não se conhece as especificações técnicas (carga, diâmetro dos dutos, restrições de segurança etc.). É necessário um processo iterativo de adaptação e melhoria contínua dos projetos até que se obtenha um produto final funcional e eficaz (*Fit for Purpose*), não só sem conflitos entre disciplinas mas também respeitando normas técnicas e contornando limitações do terreno natural.

Assim, se faz necessário amplo conhecimento das restrições normativas e técnicas, estipuladas no Edital do Contrato. Nele, são estipuladas as diretrizes de desenho para todas as disciplinas, podendo ter como base tanto Normas Brasileiras quanto Normas Internacionais, além de especificações próprias do Metrô de São Paulo ou, ainda, metodologias tradicionalmente nele aplicadas. Em suma, os requisitos normativos de desenho abrangem:

- Trens: dimensões, características, necessidades de manutenção.
- Sistemas ferroviários/não ferroviários:
 - Energia: 2 subestações primárias e secundárias (MT e BT);
 - Sistema de tração: Catenária flexível;
 - Centro de controle e operação;
 - Comunicações;
 - Iluminação e força;
 - Ar-condicionado/ventilação.
- Via: 6 km de superestrutura de via em lastro, com 28 AMV's .
- Obra civil: oficina de manutenção, subestações, sala operacional e demais edifícios de apoio, rede de saneamento, pluviais com um piscinão de laminação das águas de chuva para não impactar negativamente a comunidade à jusante.

Por último, quanto às características naturais, levou-se em consideração a locação e a área de implantação do Pátio com suas singularidades orográficas e geotécnicas. Na Linha 6, a locação do Pátio numa antiga pedreira foi uma variável importante na

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

concepção do desenho. Ao Norte, no perímetro da pedreira, há um paredão de 80 metros de altura que constitui um ponto de risco a ser em consideração pelas possíveis movimentações de solo. Assim, os projetistas possuem o desafio adicional de dispor os elementos o mais afastados do paredão possível, concentrando-se ao Sul. Ademais, após a paralisação das atividades extrativas da pedreira, esta ficou abandonada e, por conta da chuva que acumulou durante o tempo e do afloramento de água subterrânea, originou-se um lago de 10 m de profundidade. Durante a obra, foi necessário bombear a água e aterrar o espaço com material da escavação, gerando um aterro de 30.000 m² em planta, aproximadamente. É razoável evitar a locação das grandes edificações nesta área, já que os parâmetros de resistência do solo, a priori, são melhores ao Sul. Os condicionantes descritos levam a concluir que é mais adequado uma agrupação dos blocos na região Sul da área, perto do acesso principal e na região com melhores condições geotécnicas. Portanto, considerando que a maioria das estruturas, nomeadas de blocos, tem um vínculo muito importante com o feixe de vias de manutenção, se considera como melhor opção a locação do grupo de linhas de estacionamento na área Norte, e, já o grupo de linhas de manutenção, junto ao Bloco A/C/E/L/R (bloco de manutenção e operação), na área Sul.



Imagem 1 – Estado original do Pátio



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2.1. LAYOUT DO PÁTIO

Com todos esses inputs como dados de partida e as características da implantação física, foi definido o seguinte *Pátio de Manobras para a linha 6 laranja*.

Situado em uma gleba com cerca de 210.000m², o Pátio Morro Grande é um complexo formado por um conjunto de 24 blocos, vias públicas e via permanente ferroviária, cujos objetivos principais são:

- Estacionar os trens do metrô que estiverem fora de operação;
- Limpar interna e externamente os trens do metrô que estiverem fora de operação;
- Realizar manutenção preventiva e corretiva nos trens;
- Dar apoio à manutenção de rede aérea e via permanente da Linha 6;
- Dar apoio à manutenção e conservação das construções e equipamentos das estações, poços, saídas de emergências e demais edifícios da Linha 6;
- Abrigar o Centro de Controle Operacional (CCO) da Linha 6.

A operatividade do Pátio para atender estas necessidades de operação se desenvolvem principalmente por meio dos 19 prédios para diferentes usos:

- **Manutenção:** Oficina manutenção de trens, oficina de veículos aux/manutenção rede área, via permanente, oficina de usinagem, solda e serralheria, torno rodeiro, conservação civil do pátio/manutenção de equipamentos fixos e apoio a via de teste.
- **Operação:** bloco administrativo que inclui o CCO, case de sinalização, quadra descoberta e academia de ginastica, e duas portaria. Portaria 1 principal de controle total de acessos a área geral e a portaria 2 controle na área operacional.
- **Infraestrutura:** subestação retificadora, subestação auxiliar, caixa de água, 1 caixas de acumulação de águas pluviais (coberturas), caixa de acumulação das áreas impermeáveis (sistemas de drenagem superficial e profundo) e estação de tratamento de esgoto sanitário e industrial.
- **Armazenamento:** almoxarifado, posto de combustível (por caminhão pipa), posto de abastecimento de veículos elétricos, deposito de inflamáveis, baias para depósitos de sucatas, balança rodoviária e deposito a céu aberto.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- **Limpeza:** máquina de lavar trens, apoio máquina de lavar trens, sopra de trens, operadores e limpeza de trens, depósito de lixo/lixo orgânico/lixo seco.

Além dos prédios indicados anteriormente, a operação do Pátio e a ligação deste e dos diferentes blocos com o túnel principal, efetua-se por meio de 29 linhas em lastro e 28 AMVs que distribuem as circulações com a configuração seguinte:

- 7 vias de manutenção
- 2 vias para veículos auxiliares
- 1 via de teste
- 1 via para o Torno Rodeiro
- 2 vias para as operações da lavado e soprado.
- 15 linhas de estacionamento: 8 de estacionamento simples e 7 para dois trens.



Imagem 2 - Infografia PMG

Da mesma forma que o Pátio é operado e distribuído para os trens mediante linhas férreas, na parte exterior dele, temos uma distribuição rodoviária para a distribuição interna do Pátio em termos de pessoal e equipamentos e fornecimento de materiais. Este sistema viário do pátio é definido por 12 ruas principais; algumas delas incorporam outras ruas secundárias:



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- RUA 1. É a rua principal que dá acesso ao pátio vindo do sistema viário existente. Estende-se da portaria de acesso geral, passando pela portaria G1 (portaria secundária), chegando até as vias de manutenção no Bloco A (oficina de manutenção);
- RUA 2. É a rua perimetral pelo lado Oeste, dando acesso ao Bloco S (apoio a via de teste);
- RUA 3. Situada no lado Leste, dá acesso aos blocos B1, D, D2, I1, N e acesso ao túnel;
- RUA 4. Rua entre o grande edifício das oficinas (A/C/E/L/R) e o Bloco B. Ela segue em direção a Oeste, chegando até o Norte nos blocos F, F1, e Q;
- RUA 5. Pequena rua que acompanha as linhas L28 e L29, utilizada para manobra de caminhões acessando o Bloco C
- RUA 6. Rua que contorna os blocos D1 e dá acesso ao Bloco E
- RUA 7. Rua que contorna os blocos D1 e I1 dá acesso ao torno rodeiro (Bloco R). Esta via será utilizada principalmente para a entrega de trens no pátio.
- VIA EXTERNA A: via que contorna o Pátio Morro Grande próxima aos limites da gleba, acompanhando o muro de vedação a Leste;
- VIA EXTERNA B: via que contorna o Pátio Morro Grande próxima aos limites da gleba, acompanhando o muro de vedação a Oeste;

Na concepção dos viários do Pátio, se faz necessário prever a acessibilidade para o fornecimento e montagem de trens. Os *trucks* e os veículos ferroviários novos ou reparados chegam habitualmente com transportes especiais pelo sistema viário. Foi conferida a manobrabilidade destes tipos de transporte. Para a entrega de trens novos e reparados no pátio com caminhões de 32m, há uma alternativa de acesso à área operacional a Oeste. O edifício das oficinas permite o acesso de veículos por ambos os lados, comunicando todos os blocos (A, C, E, L e R) diretamente com o sistema viário. Para garantir a operatividade do Pátio, estudaram-se os raios de giro críticos com vários tipos de veículos e reboques, até um comprimento máximo de 32 m. Analisaram-se os trajetos de ida e de volta. O estudo foi realizado com o software especializado "AUTOTURN";

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

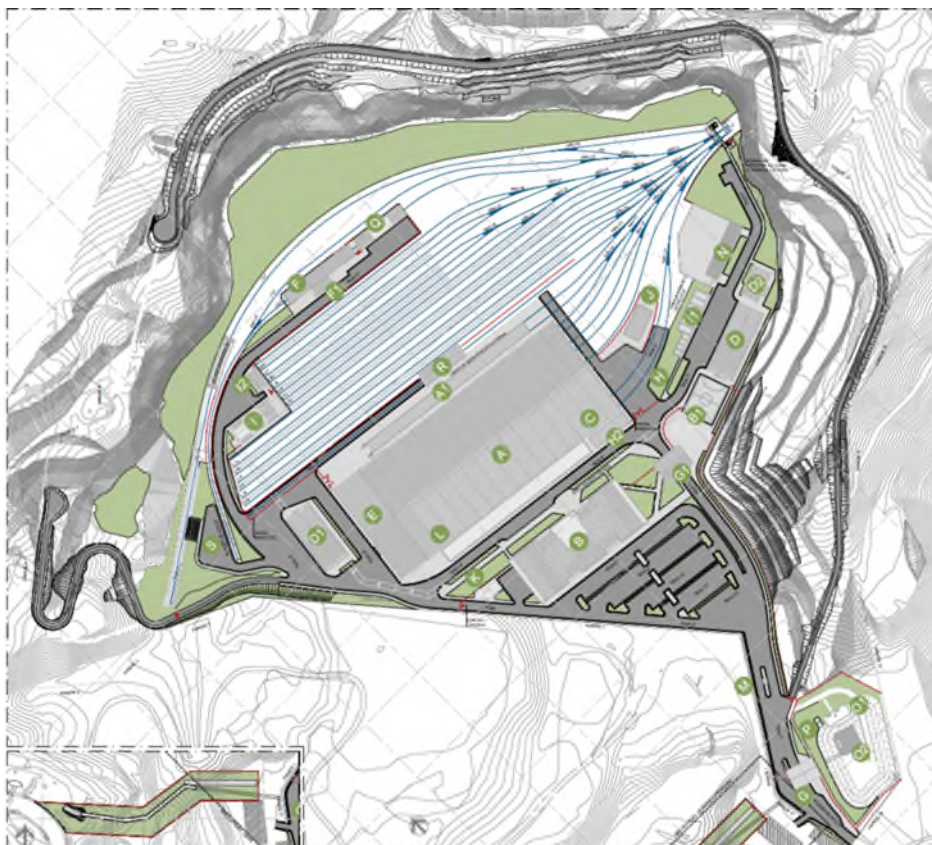


Figura 2 – Layout do Pátio

Além dos leitos carroçáveis, o pátio também conta com um passeio de pedestres que o conecta com o emboque do túnel e suas saídas de emergência. O emboque também conta com uma pequena passarela de pedestres, que permite a travessia da linha por pessoas que cheguem ao pátio pelo lado norte do túnel.

A construção se deu de forma acelerada, iniciando em 2021 e hoje já encontra-se com 63% das obras concluídas.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Imagem 3 – Avanço da obra (Agosto/2022)



Imagem 4 - Avanço da obra (Novembro/2023)



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2.2. DISCIPLINAS E SISTEMAS

Dentre as disciplinas e sistemas atuantes no projeto, destacam-se:

a. Obra Civil: De forma resumida, a Obra Civil no Pátio está composta pelas escavações e aterros, drenagem, canalizações subterrâneas, contenções, estruturas, prédios e arruamentos. Os desenhos de cada um destes itens devem ser compatíveis com os outros e com os demais sistemas. Assim, a drenagem profunda deve ser acessível para manutenção, pelas caixas de acesso e essas não podem ficar sob as vias nem interferir com as bases dos postes de catenária. Da mesma forma, as conduções subterrâneas terão que ser compatíveis tanto com a drenagem como com as bases de catenária e outros elementos do Pátio.

b. Via Permanente: No Pátio Morro Grande, o sistema principal das vias é construído com lastro. Este sistema compõe-se de 5 elementos principais: sublastro, lastro, dormentes, trilho e aparelhos de mudança de via (AMV's)

O sublastro é o primeiro dos componentes, e está formado por uma camada de brita bem graduada tipo BGS, com uma granulometria que permite reduzir ao mínimo os vazios e formar uma camada impermeável que permite que a água de chuva escorregue acima dela até atingir a drenagem superficial, responsável de evacuar esta água e manter a plataforma e a superestrutura de via sem alagamentos. Esta camada recebe a carga do trem que vem dos trilhos, dormentes e lastro. Por ser a última camada contínua e ser responsável da drenagem superficial, tem que estar coordenada tanto com as camadas inferiores como com os restantes sistemas. Acima dela temos o lastro. O lastro é uma camada de brita que, ao contrário do sublastro, tem uma granulometria sem partículas finas, e permite a formação de vazios com o intuito de ser muito permeável e permitir o movimento de água através deles e atingir a camada de sublastro para ser evacuada pela drenagem. Além das características de permeabilidade, o lastro tem mais duas funções na via. Pelo fato de ser uma camada com vazios, permite ao conjunto da superestrutura de via ter características amortecedoras e dotar ao sistema de conforto no movimento dos trens. Por último, a seção transversal da via tem um volume meio de 2,5 m³/ml de lastro (4 Tm/ml aprox.) que, junto com o atrito lastro-dormente, consegue dar estabilidade ao sistema durante a circulação dos trens.

A interligação entre os trilhos de rolamento e o lastro é feito através dos dormentes. Eles são vigas de concreto de 2,40 m, que ficarão dentro da camada do lastro, e que tem um sistema de fixação para o trilho. A través dos dormentes consegue-se a transmissão das cargas do trem para as camadas inferiores de lastro e sublastro. Acima deles são fixados



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

os trilhos. O trilho é uma viga metálica longitudinal de geometria especial onde fazem rolamento as rodas do trem. Os trilhos a usar tem padrão UIC e características de 60kg/ml

Finalmente temos os AMVs, o Aparelhos de Mudança de Via. São os elementos que permitem aos trens mudar de uma via para outra. Estão compostos por dormentes de concreto e trilhos com geometrias variáveis que permitem transformar as duas vias dos túneis do metrô nas 29 diferentes vias que teremos no pátio. Dentro do pátio, os AMVs tem geometria 1:5 (tg do ângulo de abertura das vias) com comprimento de aproximadamente 20m.

O sistema de montagem de via em lastro é construído desde as camadas inferiores até os elementos superiores, conhecido como *Push Up*. O processo começa com a camada de sublastro que conforma a geometria final da plataforma. Acima desta camada coloca-se uma primeira camada de lastro de 10-15 cm conformando uma superfície de horizontal onde serão distribuídos os dormentes com as fixações. Acima dos dormentes são colocados e fixados os trilhos. Com o sistema pré-montagem, continua o lançamento de lastro e socados sucessivos (vibrado-compactado) até atingir a cota definitiva dos trilhos com tolerâncias milimétricas. Após os primeiros socados, realiza-se a união dos trilhos mediante solda dos mesmos (elétrica ou aluminotermia)

c. Sistemas:

- Catenárias: Dentro do capítulo de sistemas ferroviários, um dos principais sistemas é a catenária. Neste caso catenária flexível. O sistema de catenária flexível em metros é um dos métodos mais comuns de fornecer energia elétrica aos trens, permitindo sua operação. Essa tecnologia envolve uma série de componentes que trabalham em conjunto para garantir um fornecimento de energia contínuo e confiável. O sistema está formado em uma forma básica por bases de fundação, postes, consoles e fios.

As bases de fundação para os postes de catenária são elementos cruciais do sistema e servem como ancoragem do poste ao solo, garantindo a estabilidade da estrutura e a segurança da rede elétrica. Acima delas instalam-se os postes de catenária mediante chumbadores. Estes postes (metálicos ou de concreto) tem altura suficiente para instalar os equipamentos de suporte dos fios da catenária na cota certa (neste caso 4,40m acima da cota de topo de boleto). Os equipamentos de suporte, conhecidos como suspensórios ou consoles, estão ligados aos postes num extremo e suportam os cabos de catenária no outro.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Por último, os cabos que compõem a catenária são 3: O Fio de Contato é o cabo principal pelo qual circula a corrente elétrica. Geralmente de cobre eletrolítico, devido à sua alta condutividade elétrica, costuma ter uma seção transversal circular. Encontra-se suspenso a uma altura adequada para que os pantógrafos dos trens possam fazer contato. O fio Mensageiro, suporta o peso do fio de contato e o mantém a uma altura constante. Pode ser de aço galvanizado, alumínio ou ligas de cobre, dependendo das tensões e condições ambientais a que está submetido. Por fim, o fio de Terra, proporciona uma conexão à terra segura para a catenária, evitando descargas elétricas e curto-circuitos.

- Sinalização: O outro sistema ferroviário fundamental num Pátio é a sinalização. No caso do Pátio da Linha 6 o sistema de sinalização implantado é o chamado CBTC. O sistema CBTC (sigla em inglês para Communications-Based Train Control), em português Sistema de Controle de Trens Baseado em Comunicações, é um sistema de controle e sinalização ferroviária que utiliza comunicações bidirecionais entre o equipamento do trem e o equipamento na via para gerenciar o tráfego. Dessa forma, a posição exata de um trem em uma linha é conhecida com maior precisão do que nos sistemas de controle tradicionais e, com isso, essa gestão do tráfego ferroviário é realizada de forma mais eficiente e segura.

Formalmente, poderíamos definir um sistema CBTC como um "sistema de controle automático e contínuo do trem, que utiliza determinação em alta resolução da localização de um trem independente de circuitos de via; que é baseado na comunicação contínua e de alta capacidade de dados entre o trem e a via; e com processadores tanto no trem como na via capazes de implementar funcionalidades de proteção (Automatic Train Protection, ATP), e opcionalmente funcionalidades de controle (Automatic Train Operation, ATO) e supervisão (Automatic Train Supervision, ATS). Ao conjunto de ATP, ATO e ATS se dá o nome comum de ATC (Automatic Train Control).

Este tipo de sistema se utiliza fundamentalmente em linhas de metrô (leve ou pesado). Poderíamos dizer que seu equivalente em ferrovias de longo percurso seria o Nível 3 da norma ERTMS, que ainda não foi colocado em prática.

Nos sistemas CBTC atuais, são os trens que comunicam seu estado (via rádio) aos dispositivos distribuídos ao longo da via (conhecido como equipamento de via). Esse estado inclui, entre outros, parâmetros como sua posição exata, velocidade, sentido de marcha ou distância de frenagem. Isso permite, portanto, calcular a zona potencialmente ocupada pelo trem durante seu percurso. Com essa informação, o equipamento de via pode calcular os pontos que não devem ser ultrapassados pelos

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

trens que circulem pela mesma via. Esses pontos são então comunicados para que os trens ajustem de forma automática e contínua sua velocidade, ao mesmo tempo que circulam com total segurança. Ou seja, os trens recebem constantemente informações de sua distância em relação ao trem precedente e podem ajustar sua distância de segurança em consequência.

Estes equipamentos de via distribuídos pela via são controlados pelo posto central. Sendo o sistema que garante a segurança das circulações, os sistemas de sinalização e redundante e dispõe dum sistema secundário baseado em circuitos de via a sinais. Assim o esquema de sinalização do Pátio teria uma configuração:

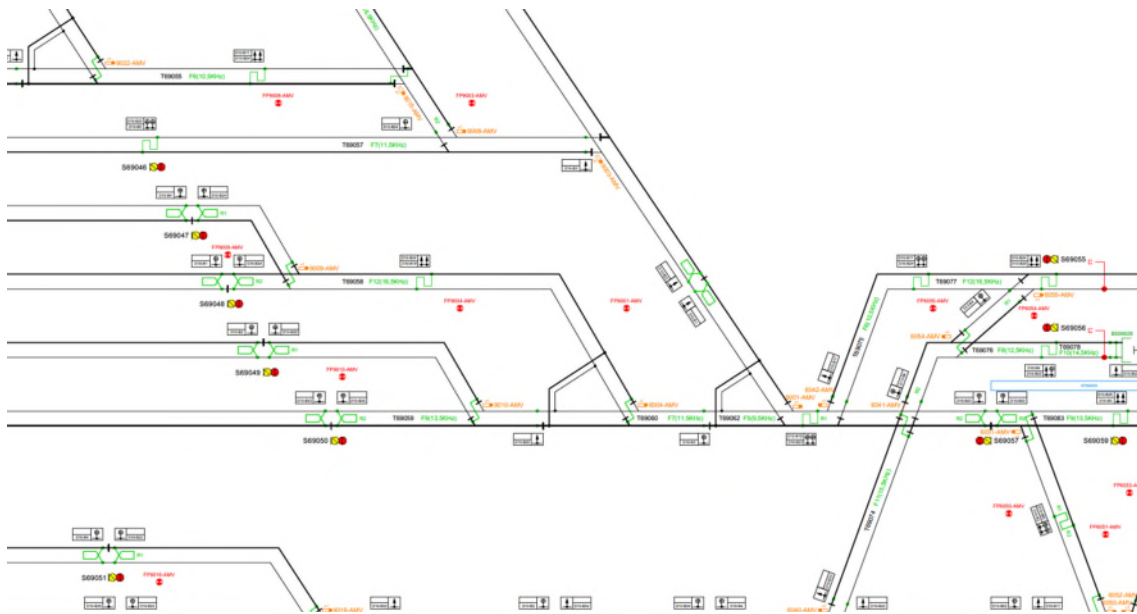


Figura 3 – Detalhe esquema sinalização

Todos estes equipamentos são instalados nos elementos da via permanente e pelo tanto deve ser feita coordenação entre ambas as disciplinas.

2.3. ESTUDO DE INTERFACES

Entendendo que as análises de interface devem que ser feitas de todos os sistemas para todos os sistemas, desenvolveremos a continuação o caso do sistema de Catenária e como foi realizado o estudo prévio de interfaces para poder começar com o desenvolvimento do desenho. As principais interfaces desse sistema são: Via

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Permanente, Obra Civil (Arquitetura, Estruturas), Material Rodante, Subestações Retificadoras e Sinalização.

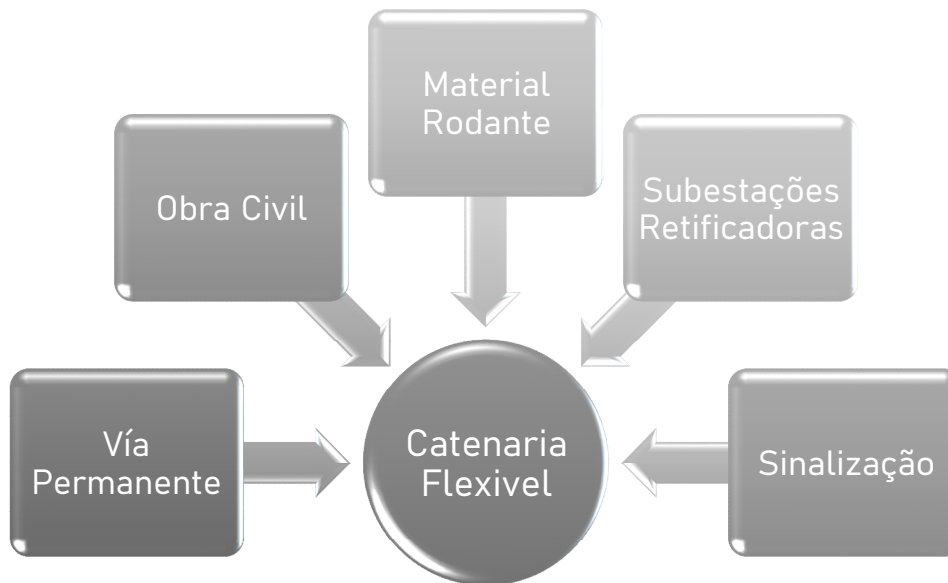


Figura 4 – Esquema de interfaces para sistemas de Catenárias

Quanto à **Via Permanente**, é necessário saber que a divisão das vias ocorre de forma operacional, sendo dividida em: Via De Provas, Vias De Estacionamento, Vias Operacionais e Vias De Manutenção, além da posição dos AMVs, sendo que o sistema da catenária acompanha a mudança de via em todos os AMV's. Assim, gera-se pontos obrigatórios de referência que não podem ser deslocados, e, nesses pontos, quase sempre são colocados postes.

Estas informações são necessárias para detalhar o tipo de catenária que será desenhada e instalada. Para o projeto, temos dois tipos de catenária: uma flexível simples (1 fio de contato ou 2 fios de contato) e catenária composta (fios de contato mais cabo mensageiro, pendolas e conexões elétricas). Tudo isto gera inputs, como esforços, pesos e momentos de inercia, que são utilizados para os desenhos das fundações, tanto em tamanho quanto em profundidade.

A interface com o **Material Rodante** diz respeito, principalmente, ao conjunto de veículos que trafegam na ferrovia. Essa interface traz informações muito importantes para o desenho da catenária, como o gabarito do trem (Estático e Dinâmico) e a altura máxima de operação do pantógrafo.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Com estas informações, o sistema de catenária tem o desafio de alocar os postes de forma que não interfira com o gabarito dos trens, e, assim, também determinar a altura dos postes para que seja instalado o fio de contato. Quase em todos os Pátios do sistema de Metrô, a altura de trabalhos dos pantógrafos difere entre Pátio e Via Principal (Túnel), o que faz que o sistema de catenária desenhe uma transição entre Pátio e Túnel. Além da mudança de altura, também temos a diferença de sistema, já que há a mudança de catenária flexível para catenária rígida.

A interface com a **Subestação Retificadora** é principalmente a alimentação de energia na catenária, porque dependendo da configuração adotada na via permanente (Via De Provas, Vias De Estacionamento, Vias Operacionais e Vias De Manutenção) a subestação dividirá a configuração adotada em pacotes elétricos, levando os feeders (conjunto de cabos de energia positivos em corrente contínua de 1500 V) e cabos de retorno de tração (conjunto de cabos de energia negativos em corrente contínua de 1500 V) a diferentes pontos do Pátio. Isso implica em desenhar canalizações ou rotas com eletrodutos enterrados, gerando uma interface maior com o resto dos sistemas enterrados, a drenagem, canalizações de corrente alternada tanto em Media Tensão como Baixa Tensão, sistemas eletrônicos, e, às vezes, com as fundações dos prédios.

A interface com a **Sinalização**, se dá por meio da geração de inputs das catenárias: A Catenária, além de fornecer energia para os trens, também alimenta o sistema de sinalização com informações cruciais, como a energização de pacotes elétricos e pontos de conexão para cabos de retorno da tração nos trilhos. Essa interação complexa exige um estudo cuidadoso da parte elétrica, especialmente no que diz respeito à integração dos cabos de retorno sem interferir nos circuitos de via da sinalização. Essa análise detalhada pode levar à necessidade de novos trajetos para eletrodutos subterrâneos, garantindo a segurança e o bom funcionamento de ambos os sistemas.

A interface com a **Obra Civil** se configura como um desdobramento das interfaces previamente discutidas (Sinalização, Subestação Retificadora, Material Rodante e Via Permanente), visto que os projetos arquitetônicos e estruturais precisam ser capazes de comportar e prover funcionalidade a todas as outras disciplinas. Um dos maiores desafios é a instalação da catenária no interior das edificações, que exige meticulosa avaliação de diversos aspectos: as distâncias de segurança, esforços para ancoragem dos fios, carga dos componentes da catenária que tem que ser incluídos para o desenho das estruturas e fundações.

Em suma, a compatibilização de diferentes disciplinas representou um grande desafio para a equipe da Linha 6 – Laranja, já que, no início, quase 90% dos desenhos das

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

catenárias possuía interferências com outras disciplinas, tanto na parte underground, desenhando o melhor percurso para levar todos os cabos tanto *feeder* com o retorno, como para alocar as bases de catenária, e na parte de superfície com as plataforma ou passarelas operativas e a montagem de equipamentos nas estruturas, com um grande esforço e ajuda das áreas civil, estruturas, via permanente cada uma delas alterando um pouco em cada um de seus sistemas, até o momento estamos conseguindo com sucesso instalar tudo da melhor forma. Atualmente trabalhamos ainda com 15% de interface para completar 100% da instalação.

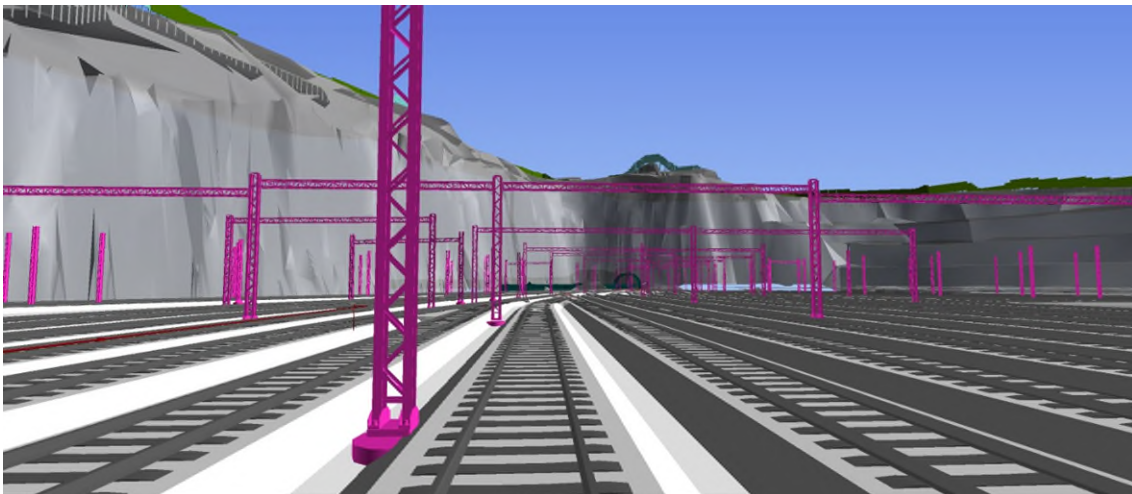


Figura 5 – Exemplo de *clash* de catenária com a via durante fase de estudo

Este processo de estudo de interfaces deve ser feito entre todas as disciplinas para todas as disciplinas. Para este trabalho, desenvolve-se tradicionalmente mediante reuniões entre disciplinas, geração de desenhos, estudo deles e reconfiguração do projeto até atingir soluções coerentes. No final é um processo reiterativo, pesado e demorado.

Com o intuito de melhorar este processo, recorreremos à modelagem BIM de todas as disciplinas e a criação de um modelo federado que permite a análise em conjunto de todas estas disciplinas. Desta forma, em somente um modelo podemos avaliar todas as interfaces e tomar soluções globais que atendam todos os sistemas envolvidos.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3. METODOLOGIA BIM

Nos últimos anos, houve a chamada revolução digital no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) e, com ela, a modelagem da informação da construção (BIM) foi estabelecido como essencial no desenvolvimento de projetos, mais especificamente em projetos de infraestrutura. O *Building Information Modeling* - BIM é a construção de um modelo virtual preciso de um edifício digitalmente. Quando concluído, o modelo gerado por computador contém informações precisas geometria e dados relevantes necessários para apoiar a construção, fabricação, e atividades de aquisição necessárias para realizar o edifício. (1).

O aprimoramento e o desenvolvimento de processos, tanto técnicos quanto não técnicos, têm sido fundamentais para a implementação dessa metodologia. Quando falamos de aspectos técnicos destacamos o surgimento de softwares, ferramentas, bibliotecas e computadores de alto desempenho e de fácil utilização. (2) E, com relação aos aspectos não técnicos, é importante destacar a pesquisa contínua para aprimorar o conhecimento, bem como a mudança de mentalidade das pessoas envolvidas nos projetos no setor de AECO em geral.

Assim, os avanços contínuos provocados pela introdução de novas formas de organização e digitalização de informações proporcionaram às pessoas uma nova maneira de trabalhar, o que resultou no desenvolvimento de diferentes softwares, mais precisos e especializados para aumentar a eficiência em todos os tipos de tarefas que não são atendidas pelo CAD (*Computer Aided-Design*) utilizado até então. Como se sabe, essa evolução dos programas CAD-2D levou a uma mudança de mentalidade e do próprio software, o que causou não apenas a mudança de 2D para 3D, mas também a adição de dados necessários para o projeto, a construção e a operação. Tudo isso em conjunto possibilita a realização de um projeto mais elaborado e controlado, além de ajudar na coordenação subsequente do mesmo e na obtenção dos requisitos necessários no projeto, tanto contratuais quanto funcionais.

É preciso ter em conta que em todas as etapas do desenvolvimento de um modelo BIM as informações podem ser adicionadas, levando em consideração qual informação é necessária naquele momento, para que essas informações sejam adicionadas da maneira correta e o mais importante, para que elas possam ser utilizadas por todos os envolvidos. É de extrema importância que todos os *stakeholders* envolvidos no projeto colaborem com a criação desse modelo BIM e compartilhem informações no tempo certo, garantindo assim que todas tenham acesso à informação mais atualizada quando precisarem acessá-la.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Todos esses conceitos levam ao que muitos textos descrevem como um dos pilares da metodologia BIM: maior colaboração e comunicação entre os participantes do projeto e o uso de uma única fonte de informações. Essa interoperabilidade é a chave para a implementação e a colaboração eficaz em projetos BIM. Isso leva à implementação de conceitos como comunicação, coordenação, cooperação, colaboração e canalização.(3)

Os primeiros conceitos da metodologia BIM datam da década de 1970, quando já estavam sendo descritos por Charles Eastman. (4) Já em 1986, Robert Aish usa o termo "Building Modelling" para se referir a conceitos como modelagem tridimensional (3D) e bancos de dados relacionais. (5). Porém, foi em 1992 que o termo Building Modelling Information apareceu em um artigo de Nederveen e Tolman (1992), referindo-se ao conceito de modelo e aos diferentes usos aplicáveis a um projeto. Em 2002 foi publicado pela Autodesk o "White Paper", onde o termo BIM se populariza, nessa publicação foram descritas as vantagens do uso dessa metodologia. E em 2019, surgiu a primeira norma global para o uso do BIM, a ISO 19650.

Embora o BIM esteja se desenvolvendo há várias décadas e tenha havido esses avanços quantificáveis, o nível de adoção é lento, (6) e exemplos de estudos de caso de BIM na construção na prática em grandes projetos ferroviários, não são encontrados facilmente.

Embora o progresso das ferrovias está estreitamente ligado à adoção de tecnologias avançadas, pois estas são o ponto de partida para novas oportunidades, é necessário um maior desenvolvimento de estudos para compreender a aplicabilidade e aprimorar a colaboração entre os envolvidos, visando melhorar o processo de tomada de decisão. E o BIM vem como um processo de trabalho que possibilita a coleta dados, facilitando a interconexão de informações, além de apoiar a gestão colaborativa e a otimização de decisões entre todas as partes envolvidas na construção. Sendo fundamentais para prever e resolver possíveis problemas antes e pós a implementação física, garantindo eficiência e precisão no ciclo de vida. (7) para uma gestão de design de alto nível aconteça com eficiência, atendendo a todo o ciclo de vida, é necessário implantar uma plataforma colaborativa em nuvem para ser o um ponto central de dados. Dessa forma o BIM entra nesse contexto como suporte para a criação de um sistema de informações correspondente a todo o ciclo de vida das entidades relacionadas à ferrovia, facilitando o compartilhamento de informações, ou seja, um banco de dados compartilhado.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3.2. COORDENAÇÃO BIM

Conforme já abordado neste artigo, o projeto e a construção de um pátio ferroviário consistem em uma infinidade de disciplinas, sistemas e variáveis projetados, por diferentes partes, em diversos modelos e com alto potencial de conflitos entre os sistemas. A isso se somam os prazos apertados do cronograma e, principalmente, a sobreposição de atividades devido ao fato de ser um projeto muito complexo e *fast-track*.

No decorrer do desenvolvimento do Pátio de estacionamento de trens foram feitos diversos processos de coordenação interdisciplinares e neste artigo iremos falar dos 3 mais significativos:

Sendo o primeiro deles, a coordenação feita com os primeiros modelos das disciplinas entregues onde estavam envolvidos os modelos de civil, arquitetura, sistemas hidráulicos, elétricos, bandejamento e um largo etcetera. Após esse processo de análise as interferências levantadas passavam pela análise de todos os envolvidos no projeto, como projetistas, equipe de obra, topografia, cliente, coordenadores de disciplinas e demais responsáveis, e em conjunto foram definidas as soluções.

O segundo processo, teve seu marco quando os subcontratados iniciaram o desenvolvimento dos seus modelos BIM, e nessa etapa estavam incluídos elevadores, sistema de alimentação elétrica dos trens (catenária), catracas e demais disciplinas. Esses *stakeholders* tiveram como *inputs* os modelos entregues e coordenados previamente, como método de trabalho esses modelos que foram gerados pelos subcontratados também passaram pela etapa de coordenação, onde todos foram federados juntamente com os *inputs* necessários para o seu desenvolvimento, e após ser realizada uma nova rotina de *clash detection*, identificando novas divergências, que são solucionadas com a colaboração de todos os envolvidos.

À medida que novas disciplinas são elaboradas, esses novos modelos entregues são gradualmente federados com os demais modelos disponíveis, e passam pelo processo de coordenação onde novas decisões são tomadas. Dessa forma, a detecção de colisões pode ser realizada em várias fases antes da construção real. A ideia sempre é detectar não apenas os conflitos de projeto, mas também os conflitos de implementação e gerenciamento que podem ocorrer durante a construção. Isso torna possível mostrar problemas no estado atual do projeto, bem como problemas em um futuro próximo ou distante. Esses sistemas de alerta oferecem à gerência a oportunidade de fazer os ajustes necessários para evitar conflitos.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

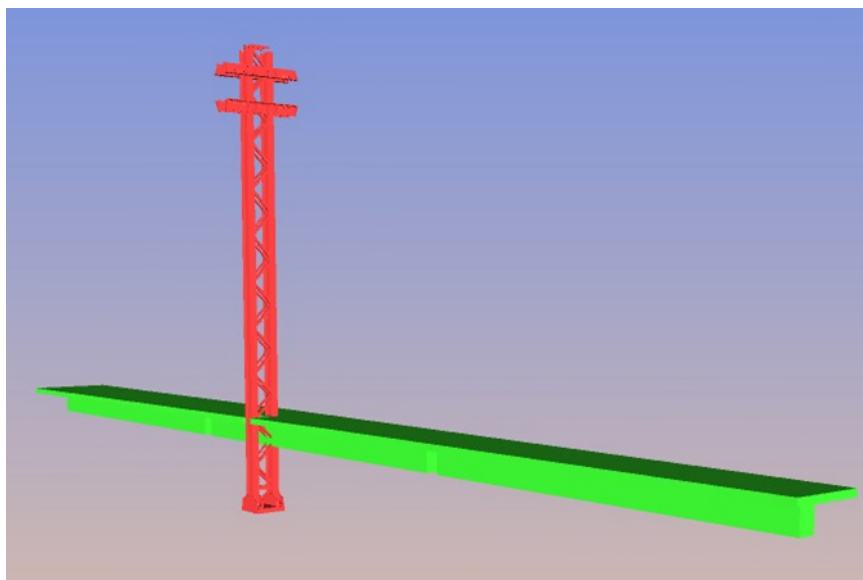


Figura 6 – Exemplo de *clash* de duas estruturas

Para a terceira etapa de coordenação, foram utilizados o resultado desse trabalho desenvolvido em conjunto com todas as equipes, com base nos modelos BIM e nos projetos que resultaram deles, a construção é realizada, durante esse processo de construção, devido ao tempo e às decisões que tiveram de ser tomadas no local, ocorreram algumas mudanças. Com a utilização do BIM foi possível mapear essas mudanças produzidas na construção e incorporá-las aos modelos (*Asbuilt*), tínhamos como base os levantamentos topográficos das disciplinas já executadas e as nuvens de pontos, e seguindo esses *inputs* que viam da equipe de obra, o projeto era atualizado.

Esses modelos foram essenciais para visualizar e entender os projetos em sua construção, bem como para tomar alternativas de forma rápida, eficiente e consensual, além de quantificar esses impactos gerados e ditar as mudanças que eles criam nas outras disciplinas.

Por meio dessas reuniões de coordenação, foram tomadas medidas para que os diferentes projetistas e subcontratados alterassem seus modelos e, mais uma vez, o modelo federado fosse coordenado. Para que esse processo ocorresse, foi necessário obter uma grande sinergia entre a equipe da obra, topografia, os projetistas e o escritório técnico, a fim de incorporar todas essas alterações de forma rápida e eficaz.

Os modelos BIM, conforme descrito acima, foram criados de forma independente pelos diferentes projetistas, com base em seus requisitos, premissas e cálculos. Todos esses

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

modelos foram recebidos e coordenados entre si e federados em um único arquivo, que serviu como um canal de comunicação crucial entre arquitetos, engenheiros e construtores, possibilitando uma visão unificada do projeto e facilitando a detecção precoce de interferências e inconsistências entre as disciplinas. Analisando o projeto como um todo, e entendendo que ele é uma construção virtual, os conflitos são evidenciados, e temos a possibilidade de buscar uma solução rápida e eficaz, fazendo com que o projeto e obra se desenvolvam de maneira coordenada e colaborativa.

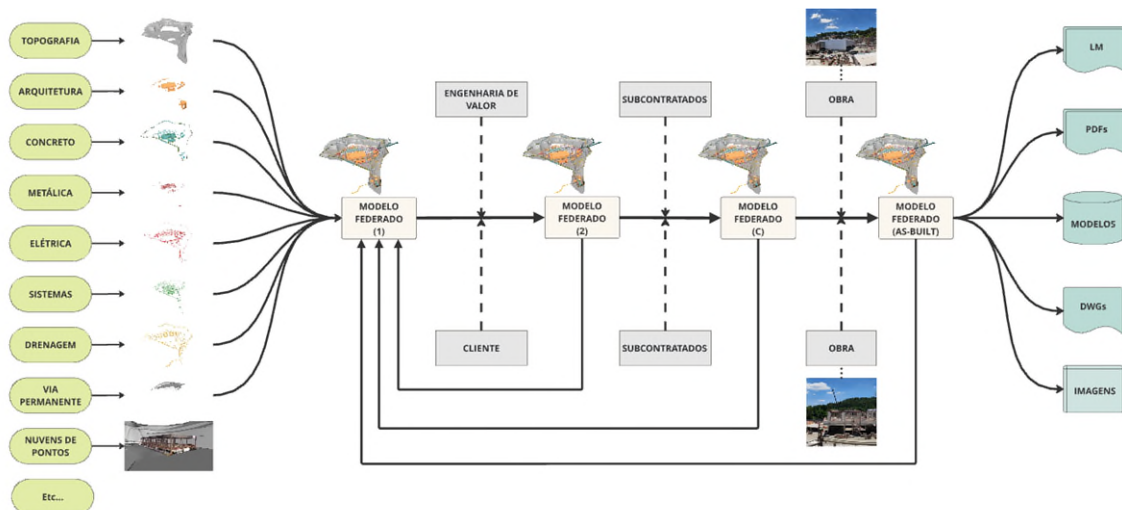


Figura 7 – Fluxo de trabalho BIM

3.3. USOS E MODELOS BIM

Devido à grande complexidade desse projeto, além da utilização dos modelos BIM é necessário introduzir vários tipos de usos e dimensões BIM para auxiliar as equipes envolvidas na análise, e coordenação dos projetos. Esses usos são atualizados conforme o projeto está evoluindo, dependendo das disciplinas que estão envolvidas no projeto, da construção, e da metodologia de trabalho, para que a tecnologia BIM possa ser utilizada de forma mais efetiva, é importante entender o que se espera dos modelos BIM naquela etapa, e assim identificar o melhor uso para atender os objetivos da equipe.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

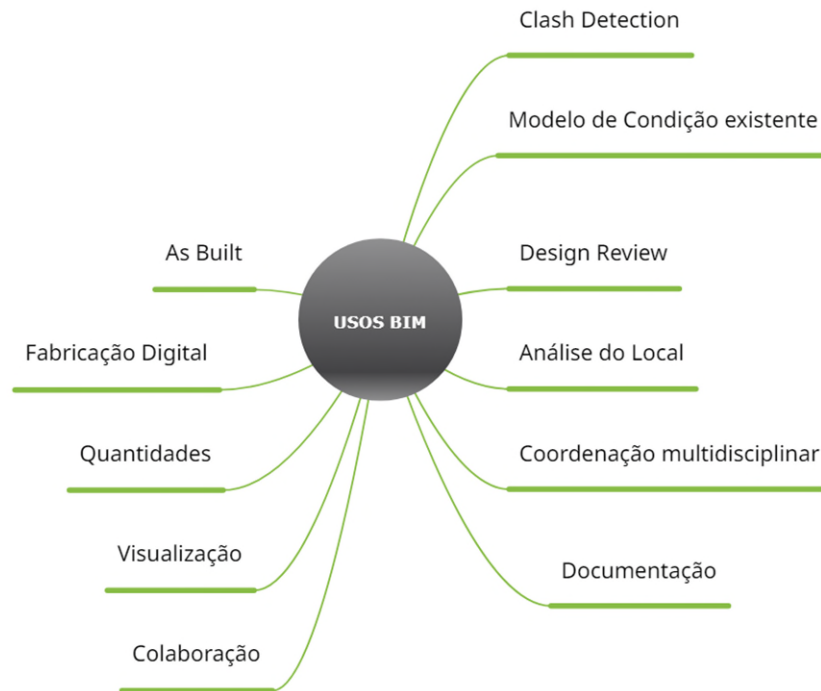


Figura 8 – Usos de modelos BIM

Como dito anteriormente em projetos de infraestrutura como é o caso do Pátio de estacionamento de trens, temos inúmeras disciplinas envolvidas no projeto, e conseqüentemente muitos stakeholders como; equipe de obra civil, sistemas ferroviários, estruturas, geotecnia, arquitetura, fornecedores, fabricantes, entre outras que ao decorrer do projeto vão sendo necessárias para dar continuidade no desenvolvimento.

O grande número de disciplinas envolvidas no projeto resultou em multitude de modelos BIM entregáveis, onde foram divididos conforme necessário para que o tamanho desse arquivo fosse saudável de ser trabalhado, tanto para projeto quanto para coordenação, conforme o desenvolvimento dessas disciplinas foi sendo iniciado o número desses modelos cresciam simultaneamente. Das mais de 70 disciplinas que integram o projeto do pátio, aproximadamente 30 foram desenvolvidas e entregues em BIM, a fim de melhorar a qualidade de trabalho foi necessário a junção de algumas disciplinas dentro dos modelos BIM, e como resultado temos 21 modelos BIM entregáveis das diferentes disciplinas, e que conformam 20 modelos federados.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Atualmente temos um total de 180 modelos BIM disponíveis no nosso CDE, porém conforme podemos observar na Figura 9 esse número nem sempre foi tão alto, como pode ser visto no início do gráfico que corresponde ao ano de 2021 o ano em que o projeto é iniciado, e no decorrer dos anos o número de modelos e disciplinas aumentam conforme o projeto e obra vão se desenvolvendo

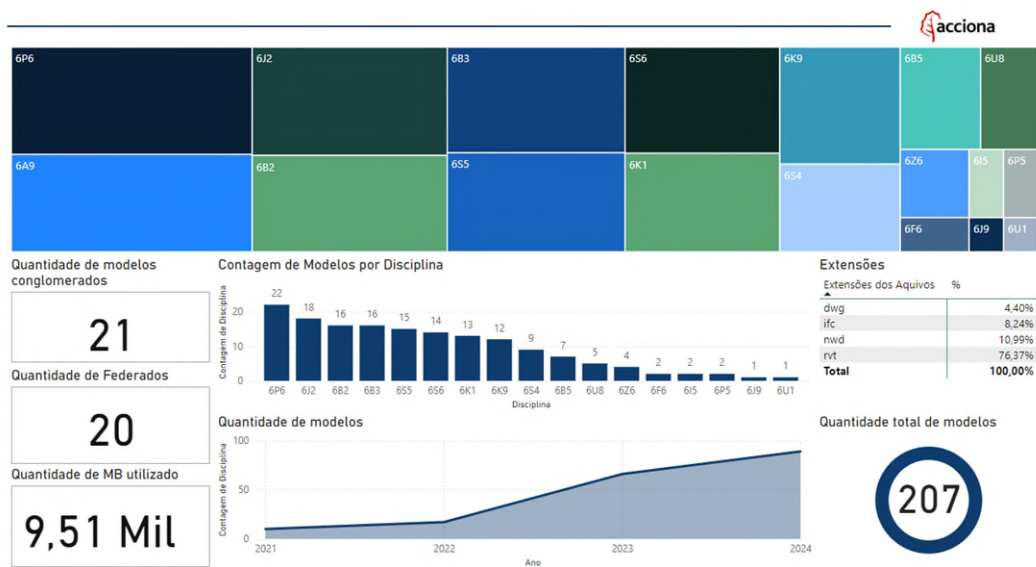


Figura 9 – Controle modelos BIM

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto foi desenvolvido baseado nos requisitos do Edital do contrato e nos inputs específicos do projeto, como os trens que irão ser operados na linha.

Com a integração em BIM em um único modelo multidisciplinar que foi estabelecido como o canal para a coordenação de todas as disciplinas acima mencionadas, além de se tornar uma fonte única de informações reais sobre o projeto.

No início do desenvolvimento do projeto, como trata-se de um Design and Built, as primeiras estruturas a serem desenvolvidas foram os prédios, vias e infraestrutura, baseado nas necessidades e requerimentos da linha, porém o pátio é construído de baixo para cima, sendo necessário ter uma coordenação interdisciplinar desde o primeiro momento.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

As primeiras definições e projetos que foram elaborados e coordenados com o uso da metodologia BIM foram:

- Terraplenagem → definiu-se as cotas de escavação total considerando todo os sistemas no *underground* (como drenagem profunda, drenagem superficial, canalizações de sistemas de sinalização, energia, catenária e telecomunicações)
- Contenções do talude rochoso: limpeza vegetal, bate choco e grampos e malhas → o pátio está implantado numa gleba com paredão rochoso de até 80m, portanto foram necessários projetos de contenções por todo seu entorno, com especial importância no paredão do emboque do túnel que conecta o Patio com o resto da linha.
- Sistemas de drenagem profundo → implementado na área da antiga lagoa, utilizando a metodologia de preenchimento com pedrapleno.
- Sistema de drenagem superficial da praça de vias e das bermas do paredão sul do patio.
- Furos embutidos → projetos de sistemas de furos para implantação dos sistemas necessários para a operação da linha.
- Execução da galeria de cabos que conecta a subestação retificadora com a subestação auxiliar e os blocos administrativo e CCO e oficina de manutenção
- Fundações profundas do bloco de manutenção, administrativo, caixa de água, subestações e case de sinalização
- Estruturas dos blocos → projetos de civil para implementação dos prédios operacionais e administrativos.
 - Os critérios para estabelecer a tipologia estrutural dos edifícios foram os seguintes:
 - Nos edifícios com andares intermediários e maiores sobrecargas foi projetada estrutura de concreto armado e pré-moldados;
 - Nos edifícios leves, sem andares intermediários, será adotada a solução em estruturas metálicas pela menor dimensão dos pilares e vigas desta solução, em comparação à de uma solução em estruturas de concreto pré-moldado com dimensões mínimas um pouco maiores. Para essas soluções, os perfis podem ser ajustados ao mínimo necessário;
 - As coberturas serão projetadas metálicas naqueles edifícios com grandes vãos. Nos edifícios de menor vão



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

serão projetadas vigas metálicas ou de concreto e lajes pré-moldadas de concreto, impermeabilizadas. Em situações específicas de alguns edifícios, como os reservatórios, serão projetados com estrutura em concreto armado moldado no local.

- Os blocos de lavagem e sopra de trens serão projetados em estruturas metálicas.
 - Nos edifícios com grandes vãos entre os pilares de concreto, serão projetados pilares intermediários metálicos para estruturação das fachadas em painéis de fechamento leve (ex: telha sanduíche).
 - Nos edifícios menores, os fechamentos serão feitos com alvenaria
- Aterro → definição dos aterros na área escavada para implantação dos sistemas no *underground*, e ter a capacidade necessária para cada uso: prédios, ruas, praça de vias, transições lastro concreto na entrada do prédio de manutenção e túnel.
 - Sistema de drenagem superficial
 - Impermeabilização dos prédios e áreas necessárias
 - Malha de aterramento (junto com sistemas SPDA previsto) do pátio e dos prédios → estes projetos são necessários definir no começo com as fundações dos prédios e os aterros, para garantir o isolamento necessários dos mesmos.
 - Cobertura metálica do bloco de manutenção com aproximadamente 2000 m²
 - Sistemas ferroviários → telecomunicações, sinalização e energia
 - Acabamentos dos prédios → instalações prediais, sistemas de ar condicionado, acabamentos de arquitetura.

Como particularidade dos pátios, tem estruturas que são feitas especificamente para os equipamentos que são comprados neste caso:

- Máquina lava trens e sopra
- Torno rodeiro
- Drop table

5. ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para lograr o êxito em projeto *design and build* é importante que as equipes se comuniquem entre si, o canal de comunicação entre os envolvidos no projeto do pátio de trens foi o modelo federado, que contém todas as informações necessárias para a execução do que está projetado. Para garantir que todos tenham acesso a essas informações foi adotado um CDE (*Common data environment*) ou ambiente comum de dados, onde esses modelos são compartilhados de modo aberto e eficiente à medida que sofrem alterações significativas. Em todas as etapas de coordenação descritas anteriormente três principais tarefas se repetiram, a realização de *clash detection*, reuniões para entender a interferências e buscar a melhor solução, e como resultado dessas reuniões a retroalimentação do projeto e conseqüentemente a obra, possibilitando uma coordenação e visualização do *As built* enquanto o projeto continua sendo desenvolvido.

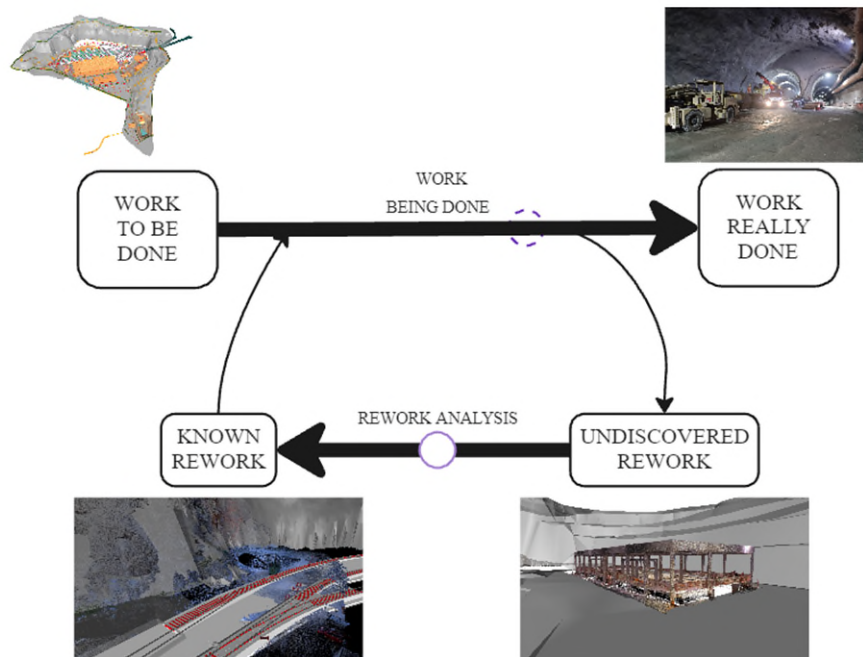


Figura 10 – Fluxo seguimento execução

Podemos ver nos exemplos que se mostram a continuação como pode ser feito este acompanhamento do desenho original durante a execução da obra a com a utilização dos modelos BIM

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Neste primeiro caso pode se ver como foi prevista a implantação de um AMV com a cota de lastro sob dormente, e como foi executada a montagem na obra.

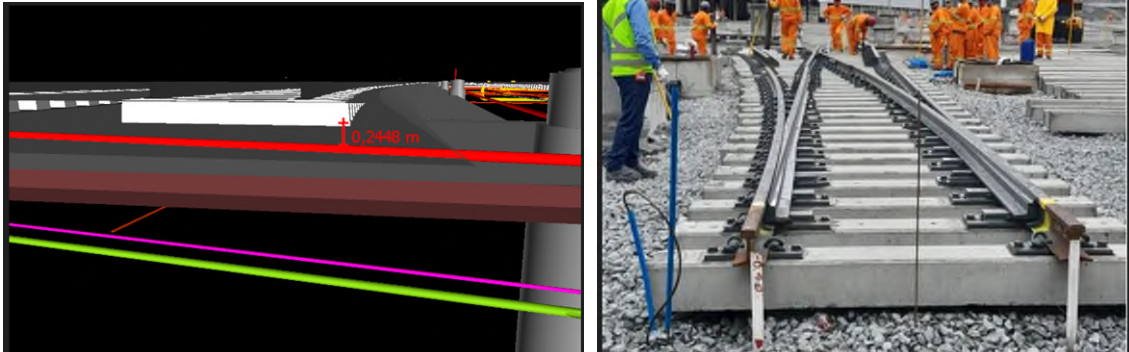


Figura 11 – Montagem AMV. Comparativa

De forma similar podemos ver como foi modelada a interface entre as caixas do underground de canalizações com a montagem de via e AMVs, e como durante a implantação real no Pátio esses trabalhos prévios de interface permitiram a montagem certa mesmo com as limitações de espaço que tínhamos.

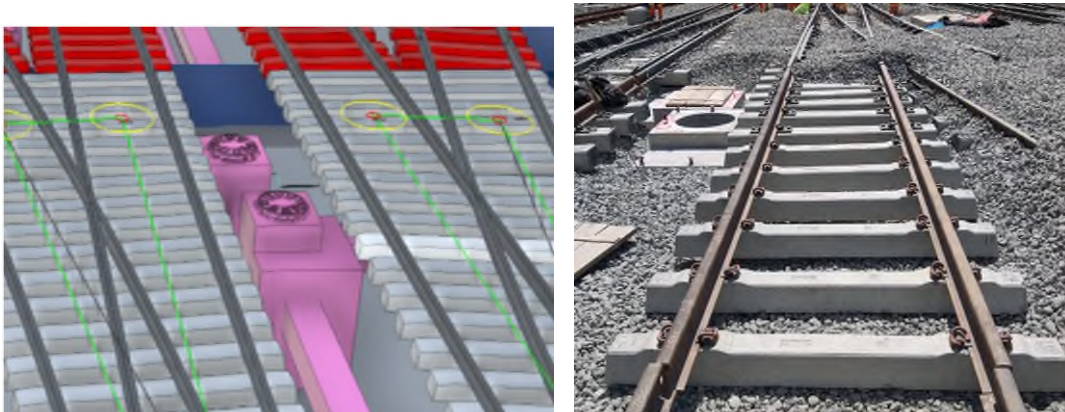


Figura 12 – Interface caixas. Comparativa

Além de verificar diferentes disciplinas ou modelos gerais, podemos também trabalhar com detalhes dos modelos e conferir que os trabalhos executados refletem o que foi previsto nos projetos e modelos BIM. Neste exemplo que apresentamos pode se visualizar a escada de acesso ao prédio principal, tanto no modelo como o resultado executado.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

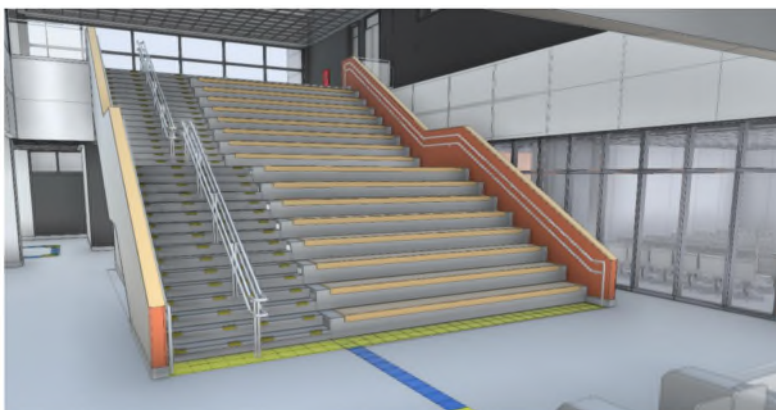


Figura 13 – Escada Acesso. Comparativa

Por fim, pode se confirmar que, com o avanço dos trabalhos já executados das estruturas dos blocos e montagem de via, o resultado dos trabalhos executados é de êxito quanto à utilização e modelagem dos projetos em BIM, aumentando a capacidade de execução de um projeto praticamente similar ao original.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

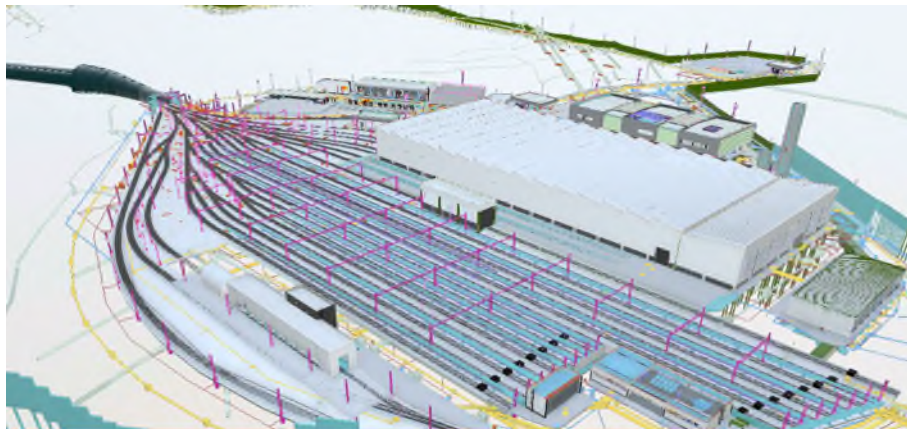


Figura 13 – Vista geral comparativa: Obra x Projeto BIM



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

Os pilares da Linha 6 de Metrô de São Paulo são inovação, qualidade e sustentabilidade. No contexto atual, a concepção do retorno de um projeto de capital não se restringe apenas à esfera financeira, mas também à sustentabilidade e aos aprendizados que se desenvolve ao longo do projeto.

Atualmente, o Pátio Morro Grande está com aproximadamente 63% de suas obras concluídas, mas a *expertise* gerada no projeto já serve como ponto de partida para novos projetos que a empresa virá a executar no futuro. A complexidade de um projeto de capital deste porte se dá, conforme o exposto, na integração das mais de 70 disciplinas, atendimento ao Edital e adequação aos aspectos naturais do terreno. O empenho da equipe na busca pela melhoria contínua e compatibilização de disciplinas gera o ativo mais valioso da empresa: o know-how de execução de projetos complexos. A medição de diversos aspectos construtivos e documentação diligente do avanço das obras, bem como o acompanhamento do desenvolvimento dos projetos é crucial para evitar erros cometidos em novos empreendimentos.

A metodologia BIM é um fator pivotal para dotar o projeto de viabilidade e exequibilidade. A possibilidade de integração das diversas disciplinas e dos diversos projetos de subcontratados em um modelo federado único, além de conferir um acervo intelectual único à construtora, refletiu-se na economia de tempo de revisão de projetos, reuniões interdisciplinares e retrabalho resultaram na otimização de custos.

Por fim, a equipe de produção tem, durante toda fase de execução, acesso à todos os modelos, servindo assim de guia de consulta aos projetos, minimizando os possíveis retrabalhos por falta de entendimento ou informação.

A possibilidade de todos os envolvidos, tanto na fase de elaboração dos desenhos quanto na execução, trabalharem com modelos BIM, vem ampliando completamente a capacidade de visualizar as estruturas em qualquer direção, conferir interferências, tomar medidas dos elementos ou verificar os materiais previstos e isso tem sido fundamental no êxito da execução da obra, resultando assim em um projeto otimizado e inovadora do desenvolvimento à construção.