Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]O USO DO BIM NA RETOMADA DAS OBRAS DA LINHA 6 LARANJA DO METRÔ DE SÃO PAULO

The use of BIM in Restarting Construction on São Paulo Metro Line 6-Orange

Pedro Rey Antón
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo | pedro.rey.anton@acciona.com

Alessandra Barbetta
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo | abarbettalima@acciona.com

Bruna Bezerra Vieira
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo | bbezerravieira@acciona.com

Bruna Gonçalves
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo | bgoncalvessilva@acciona.com

Mayara Lika
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo

Mayara Palladino
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo | mpalladinopaula@acciona.com

Abighail do Nascimento
Acciona Construcción Brasil | São Paulo, São Paulo | anascimentosantos@acciona.com

RESUMO

A Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo, projetada para conectar a zona noroeste ao centro da cidade, teve suas obras iniciadas em 2015, mas foi paralisada em setembro de 2016, com menos de 10% do projeto concluído. Em outubro de 2020, a Acciona assumiu a concessão, promovendo uma reestruturação do planejamento e retomando as atividades em diversas frentes. O projeto abrange 15,3 km de túneis, 15 estações, 17 poços de ventilação e um pátio de estacionamento e manobras de trens. A retomada dessa obra de grande porte trouxe desafios significativos, como a gestão de um ambiente urbano complexo, a coordenação de múltiplos stakeholders e a necessidade de atualizar um contrato após anos de inatividade. Diante desse cenário, a implementação do BIM (*Building Information Modeling*) foi essencial para garantir eficiência na retomada dos trabalhos. A decisão de desenvolver todas as disciplinas em BIM permitiu maior integração e otimização dos processos, com suporte de nuvens de pontos e monitoramento contínuo da equipe de topografia, que fornecia *feedback* diário à engenharia. Como resultado, o BIM se consolidou como um catalisador para melhorias contínuas, revisões constantes e embasamento técnico para decisões ao longo do ciclo *Design, Build & Operate*.

Palavras-chave: BIM; Metrô; Infraestrutura; Obra; Coordenação.

ABSTRACT

The São Paulo Metro's Line 6-Orange, designed to connect the northwest zone to the city center, began construction in 2015 but was halted in September 2016, with less than 10% of the project completed. In October 2020, Acciona took over the concession, restructuring the planning and resuming activities across multiple fronts. The project covers 15.3 km of tunnels, 15 stations, 17 ventilation shafts, and a train parking and maneuvering yard. Resuming such a large-scale project posed significant challenges, including managing a complex urban environment, coordinating multiple stakeholders, and updating a contract after years of inactivity. Given this scenario, the implementation of Building Information Modeling (BIM) was essential to ensure efficiency in restarting the work. The decision to develop all disciplines in BIM allowed for greater integration and process optimization, supported by point clouds and continuous monitoring by the surveying team, which provided daily feedback to the engineering team. As a result, BIM was established as a catalyst for continuous improvements, constant revisions, and a technical foundation for decision-making throughout the Design, Build & Operate cycle.

Keywords: BIM; Metro; Infrastructure; Construction; Coordination

[1]ANTON, P. R.; BARBETTA, A.; VIEIRA, B. B.; GONCALVES, B.; LIKA, M.; PALLADINO, M.; NASCIMENTO, A. O Uso do BIM na Retomada das Obras da Linha 6 Laranja do Metrô de São Paulo. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

1. INTRODUÇÃO

A Linha 6-Laranja de Metrô de São Paulo é um dos maiores projetos de mobilidade urbana do país, com previsão de atender mais de 630 mil passageiros diariamente. Após enfrentar uma paralisação em 2016, devido a impasses financeiros e contratuais, a obra foi retomada em 2020 pela empresa Acciona. No entanto, mais do que reiniciar a construção, a retomada envolveu uma revisão abrangente do projeto, incorporando novas tecnologias, fundamentais para a modernização e eficiência dele. Entre essas tecnologias, o BIM (*Building Information Modeling*) teve um papel essencial na gestão e execução da obra. A implementação de um sistema de modelagem digital possibilitou a integração entre diferentes disciplinas da engenharia, otimizando o planejamento e reduzindo desperdícios.

O uso do BIM possibilitou a criação de modelos independentes para uma das disciplinas envolvida no projeto, desenvolvidos com base em seus respectivos requisitos e premissas. Todos esses modelos foram compartilhados por meio de um CDE (*Common Data Environment*), permitindo sua coordenação e integração em um modelo federado, que serviu como um canal central de comunicação entre todas as equipes envolvidas no projeto e na obra, proporcionando uma visão unificada do empreendimento.

Essa abordagem facilitou a detecção precoce de interferências e divergências entre as disciplinas, garantindo maior previsibilidade e eficiência, ao analisar o projeto como um modelo de construção virtual, os conflitos tornam-se evidentes, permitindo a busca por soluções rápidas e eficazes. Dessa forma, o desenvolvimento do projeto e da obra ocorre de maneira coordenada e colaborativa, reduzindo retrabalhos e otimizando a execução. Este artigo apresenta uma análise detalhada do uso do BIM na retomada das obras da Linha 6-Laranja, explorando sua aplicação para diagnóstico da situação atual, recuperação e atualização do projeto, além de sua importância no monitoramento e controle da execução.

2. LINHA DO TEMPO

A Linha 6-Laranja de Metrô de São Paulo está atualmente em construção e será de grande importância para o transporte da cidade. O projeto inicial remonta aos anos 2000 com o objetivo de conectar a zona noroeste ao centro da cidade, a linha passa por áreas densamente povoadas e com alta demanda de transporte. O contrato de concessão inicial foi firmado com um antigo consórcio em 2013 em que a Acciona não estava envolvida. Os trabalhos tiveram início em 2015, mas enfrentaram diversos atrasos devido a uma série de problemas externos a obra que afetaram as empresas envolvidas, a obra foi paralisada por cerca de quatro anos. Apesar dos desafios, algumas etapas do projeto avançaram antes da interrupção, alguns túneis e poços de ventilação foram construídos, e algumas estações iniciaram também as suas enormes estruturas principais antes da suspensão.

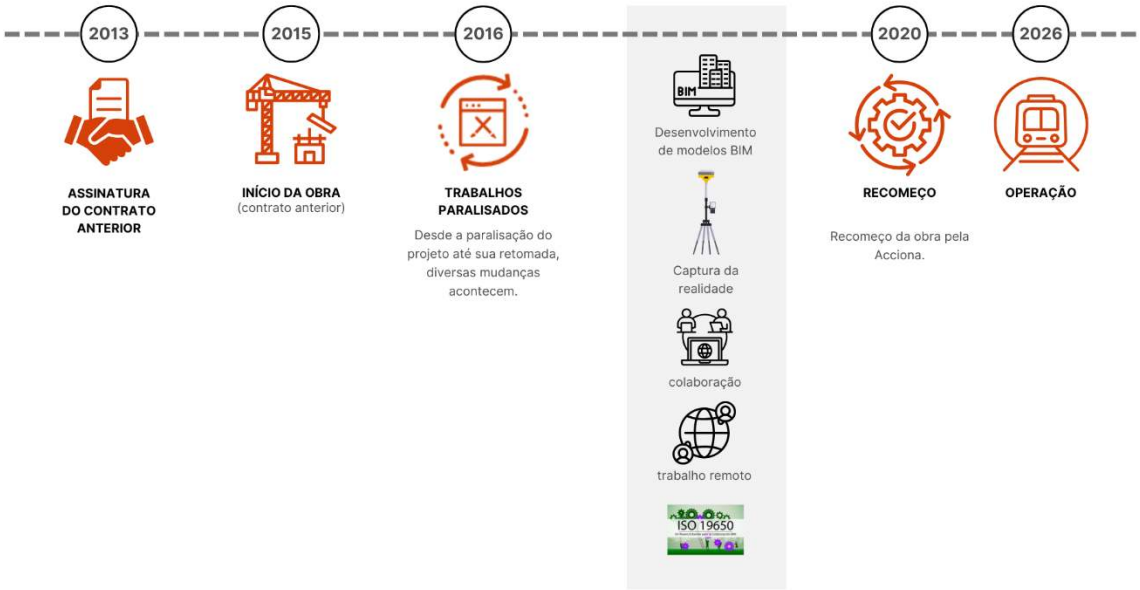
Com a paralisação das obras em 2016, o projeto ficou estagnado por vários anos, com os canteiros de obras abandonados e equipamentos parados. No entanto, em 2020, o projeto foi retomado pela Acciona, que assumiu a construção e continuou o trabalho de onde havia sido interrompido. Porém, retomar uma obra dessa magnitude após uma paralisação tão longa envolve desafios complexos. Além da necessidade de reiniciar as obras físicas, a empresa precisou lidar com a recuperação de documentação, a reavaliação de projetos antigos e a adaptação das soluções técnicas às novas condições e exigências. A situação foi ainda mais desafiadora devido ao ambiente urbano dinâmico e ao grande número de partes envolvidas no projeto, o que exigiu uma gestão dos múltiplos *stakeholders* altamente eficiente.

Ademais, nesses quatro anos em que a obra ficou paralisada, o setor da construção civil passou por transformações significativas, com destaque para a revolução digital nas áreas de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Nesse contexto, a metodologia BIM se consolidou como uma ferramenta essencial no desenvolvimento de projetos, permitindo a criação de um modelo virtual preciso e detalhado. A estratégia de utilizar o BIM para superar os desafios encontrados em retomar o projeto e construção da Linha 6 possibilitou a digitalização e o armazenamento de dados de forma centralizada, permitindo a reconstrução de modelos virtuais detalhados da obra e facilitando a coordenação entre os diferentes setores, também ajudou a realizar a integração de projetos que estavam desatualizados ou incompletos (Penttilä, 2006).

Por meio de nuvens de pontos e levantamento topográficos realizados pela equipe de topografia e outros especialistas, a Acciona conseguiu avançar rapidamente na adaptação e na conclusão das fases do projeto, mantendo todos os envolvidos com informações atualizadas em tempo real. Essa abordagem permitiu que o

projeto fosse retomado de forma mais eficiente e eficaz, com adaptações contínuas sendo feitas no design e nas metodologias de construção como será mostrado nesse artigo (Antón e Sedó, 2022).

Figura 1: Linha do tempo para retomada da obra.



Fonte: Elaborado pelo Autor

3. BIM NA LINHA 6

A Linha 6-Laranja de Metrô de São Paulo teve sua concessão estabelecida por meio dos editais de 2013, que já previam a adoção de metodologias inovadoras para a gestão do projeto. No entanto, esses documentos, baseados nas práticas e tecnologias da época, não contemplavam completamente a utilização do BIM todas as fases do empreendimento. Desde o início, o BIM foi incorporado apenas como uma ferramenta estratégica para garantir maior precisão e a digitalização da obra. Com a paralisação das obras em 2016 e sua retomada em 2020, tornou-se necessário revisar processos construtivos e redefinir a forma como a informação era gerenciada. O BIM passou a desempenhar um papel ainda mais essencial, permitindo um levantamento preciso das condições da obra, a revisão das soluções construtivas e uma gestão mais eficaz das interfaces entre as diversas disciplinas envolvidas. A adoção do escaneamento a laser e nuvens de pontos possibilitou a criação de um inventário digital detalhado das estruturas já executadas antes da paralisação, garantindo a verificação da conformidade com os projetos originais e a identificação de ajustes necessários.

Além disso, a extração automatizada de quantitativos diretamente do modelo BIM trouxe mais precisão ao planejamento e custos desde os primeiros momentos, reduzindo desperdícios e tornando o processo construtivo mais eficiente e sustentável. Para estruturar e padronizar a adoção do BIM na obra, foi desenvolvido um BEP (*BIM Execution Plan*), seguindo as diretrizes da ISO 19650, norma internacional que regulamenta a gestão da informação em projetos baseados em BIM. Essa norma estabeleceu padrões para a estruturação do CDE, garantindo transparência e eficiência na colaboração entre equipes multidisciplinares.

O BEP desempenhou um papel fundamental na implementação do BIM, definindo de forma clara os papéis e responsabilidades dentro do projeto, estabelecendo fluxos de trabalho estruturados e garantindo que a informação fosse gerenciada e compartilhada corretamente. Além disso, estabeleceu requisitos de modelagem, incluindo padrões de LOD (*Level of Development)* e integração de dados, assegurando interoperabilidade entre diferentes plataformas e softwares. Como resultado, a coordenação dos modelos BIM foi realizada de forma organizada e eficiente, permitindo um planejamento mais preciso, um controle rigoroso das informações e a mitigação de riscos ao longo da execução da obra. Ao longo de todo o ciclo de vida do ativo, desde a fase de projeto até a operação e manutenção, o modelo BIM funciona como um

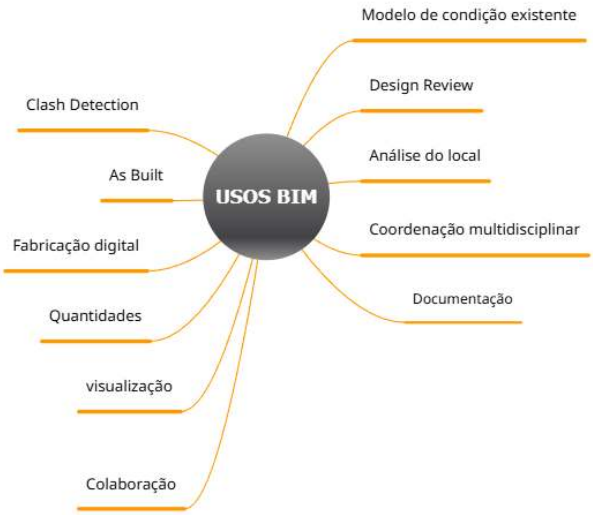
repositório de dados centralizado e valioso, garantindo maior controle sobre a execução, operação manutenções da linha metroviária, assim como futuras expansões.

4. USOS BIM

A construção e coordenação de uma obra de grande escala e complexidade, como projetos de infraestrutura, envolvem diversas disciplinas e elementos construtivos, como arquitetura, estrutura, sistemas ferroviários, sistemas prediais, via permanente, túneis, entre outros. Dada a alta complexidade desses projetos, além dos modelos BIM, é essencial incorporar diferentes usos BIM para apoiar as equipes envolvidas no projeto e na execução da obra. Esses usos são dinâmicos e evoluem conforme o projeto avança, sendo ajustados para atender às necessidades específicas de cada fase e das diversas disciplinas envolvidas (Antón e Sedó, 2022).

Durante o desenvolvimento do projeto da Linha 6-Laranja, foram incorporados usos estratégicos do BIM para otimizar a tomada de decisões, melhorar a eficiência dos processos e garantir maior precisão na execução da obra. No entanto, para que esses benefícios se concretizassem plenamente, foi imprescindível que todas as disciplinas desenvolvessem seus projetos dentro de um ambiente BIM colaborativo e interoperável. Isso garantiu que as informações fossem centralizadas em um modelo único e atualizado, permitindo a detecção antecipada de interferências, e a extração confiável de quantitativos e um monitoramento preciso do avanço da obra.

Figura 1: Usos BIM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, com todos os projetos desenvolvidos em BIM, foi possível estabelecer um fluxo de trabalho altamente coordenado, no qual os modelos de diferentes disciplinas foram continuamente integrados e revisados. Isso possibilitou ajustes rápidos e maior previsibilidade durante a construção, minimizando atrasos e imprevistos. Neste artigo, abordaremos os mais significativos, que incluem Captura da Realidade, Colaboração, Extração de Quantidades e Coordenação multidisciplinar.

4.1 CAPTURA DE REALIDADE

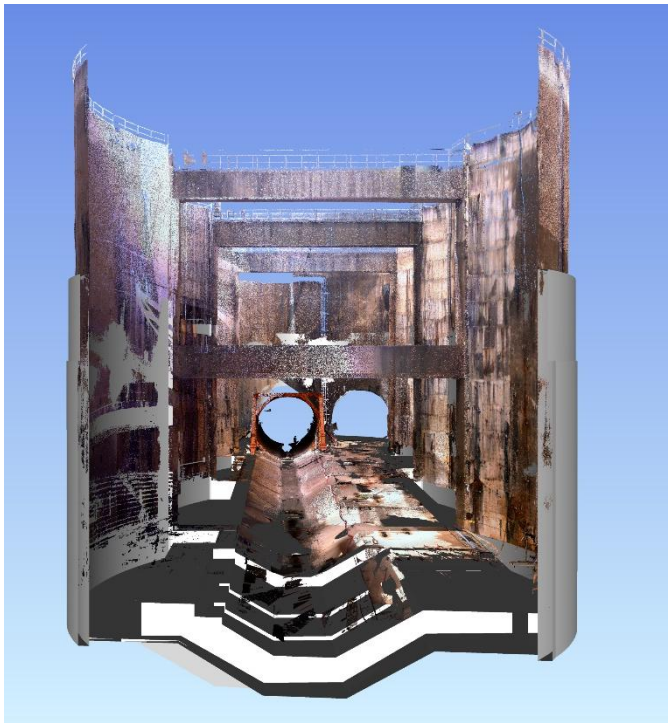
A Captura da Realidade foi utilizada para registrar com precisão as condições da obra em diferentes momentos do projeto. Por meio de tecnologias como nuvem de pontos e fotogrametria, foi possível realizar o mapeamento tridimensional detalhado do que já havia sido construído, permitindo a comparação entre o projeto e a execução real (Ershadi et al., 2021). Essa abordagem foi essencial para identificar desvios, deteriorações e incompatibilidades, garantindo que todas as decisões fossem baseadas em dados concretos.

Ershadi et al., (2021) destaca que:

> Na transformação do mundo material para o mundo digital, a nuvem de pontos é o ponto de partida, contendo informações sobre o mundo material obtidos por vários meios, como fotogrametria, terrestre ou varredura aérea a laser. Modelagem BIM manual para gestão, manutenção e uso futuro é uma tarefa demorada e propensa a erros no processo. (Ershadi et al., 2021 p.594)

A integração do BIM com a captura da realidade tem se mostrado uma ferramenta extremamente valiosa na coordenação de obras complexas, como obras metroviárias e escavações subterrâneas, que exigem alto nível de precisão e controle. Essa combinação de tecnologias oferece informações detalhadas e precisas sobre o ambiente projetado e construído, permitindo a criação de modelos virtuais com uma fidelidade impressionante à realidade. A nuvem de pontos atua como um ponto de partida para validar o modelo BIM com o que está sendo executado no terreno, facilitando a identificação de discrepâncias entre o projeto e a execução.

Figura 2: Exemplo de nuvens de pontos e modelo BIM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

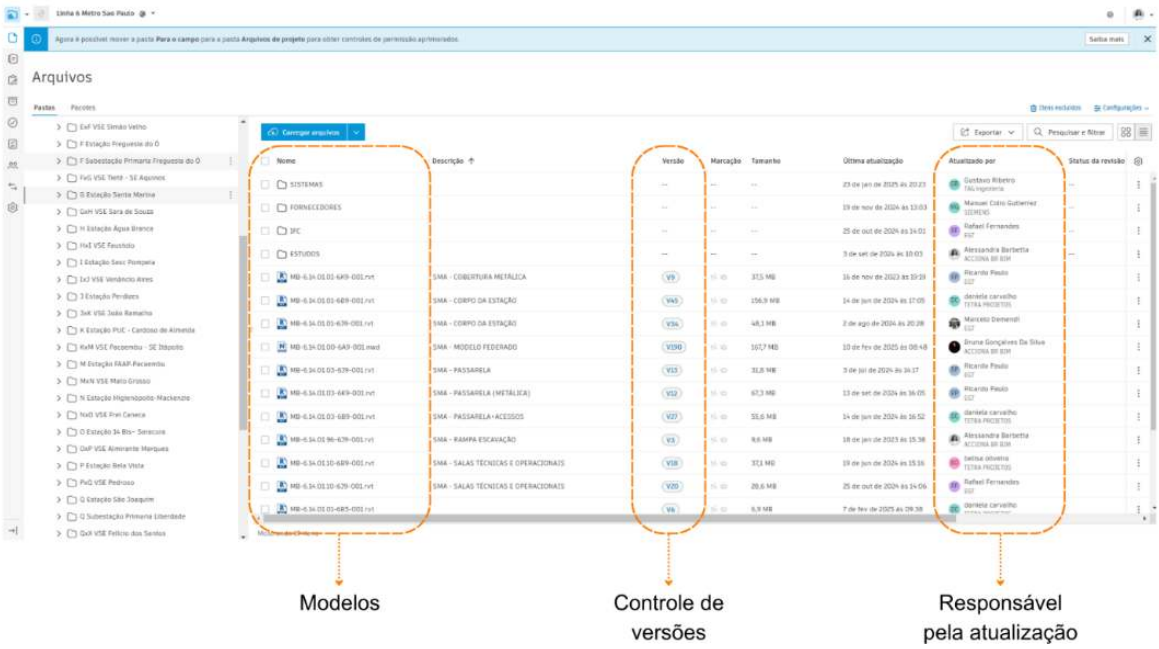
Com a integração, é possível realizar um acompanhamento mais eficaz do progresso da obra, verificar a conformidade com o projeto e tomar decisões informadas com base em dados reais e atualizados. Essa abordagem melhora a coordenação espacial, minimiza erros e retrabalhos, garantindo uma visão mais clara e precisa de como as obras estão sendo realizadas em tempo real. Além disso, facilita a análise de possíveis interferências e conflitos antes da construção, resultando em uma execução mais eficiente e otimizada.

4.2 COLABORAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados ao retomar o projeto foi a gestão e o compartilhamento de informações, devido à complexidade do empreendimento e à quantidade de disciplinas e equipes multidisciplinares envolvidas. Era essencial entender quais deficiências estavam impactando a comunicação e a eficiência para que pudéssemos encontrar uma solução adequada. A abordagem tradicional de colaboração, onde cada equipe detinha um fragmento da informação, gerava atrasos na transmissão de dados e dificultava o acesso imediato às informações por aqueles que realmente precisavam. Além disso, havia falta de controle sobre as versões dos documentos e modelos, o que poderia resultar em inconsistências, retrabalhos e falhas de coordenação.

Diante desse cenário, tornou-se essencial a implementação de um CDE, permitindo que todos os envolvidos no projeto desde projetistas e coordenadores até a equipe de obra, tivessem acesso às mesmas informações em tempo real. À medida que os modelos eram modificados e atualizados conforme a evolução do projeto, essas alterações eram retroalimentadas no CDE, garantindo que todas as partes interessadas tivessem acesso imediato às versões das informações mais recentes.

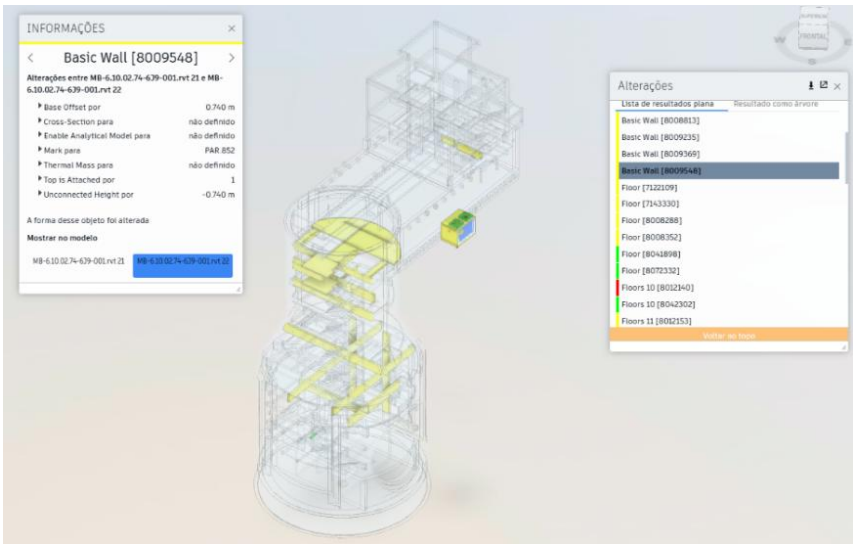
Figura 3: CDE para centralização de informações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de proporcionar transparência e agilidade no fluxo de trabalho, o CDE permitiu melhor rastreabilidade das alterações, possibilitando que qualquer modificação nos modelos fosse documentada e compreendida dentro do contexto do projeto. Isso reduziu significativamente o risco de erros, otimizou o tempo de resposta das equipes e assegurou que as decisões fossem baseadas em informações atualizadas e confiáveis. Com a implementação do CDE, o acesso a dados detalhados e atualizados de cada fase do projeto foi facilitado, garantindo uma gestão mais eficiente e integrada. Dessa forma, o BIM se consolidou não apenas como uma ferramenta de projeto, mas como um suporte contínuo ao longo de toda a execução da obra, promovendo maior produtividade, colaboração e qualidade no resultado, em ouras palavras democratizando as informações.

Figura 4: Rastreabilidade das alterações de projeto.



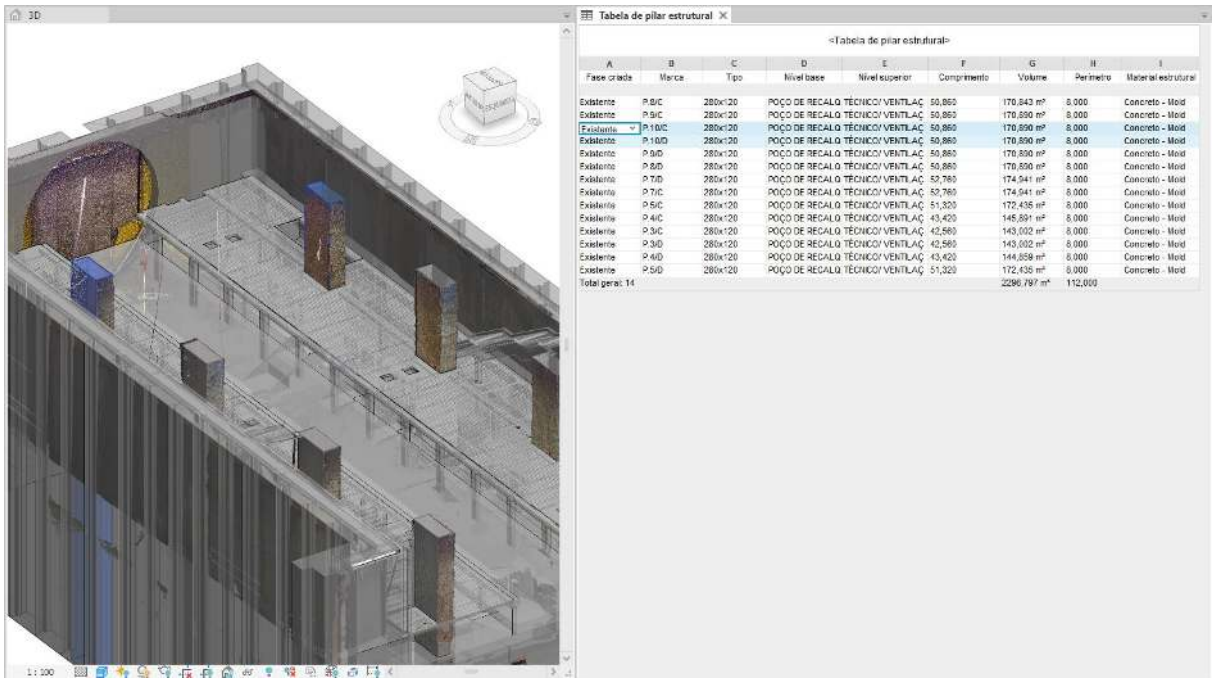
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 EXTRAÇÃO DE QUANTIDADES

A extração de quantidades desempenhou um papel fundamental na retomada das obras da Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo, permitindo uma análise precisa do que já havia sido executado antes da paralisação e fornecendo dados essenciais para o replanejamento da construção**.** Com a interrupção dos trabalhos por um período significativo, tornou-se necessário um diagnóstico detalhado da situação real da obra, evitando incertezas e inconsistências entre os projetos originais e o que, de fato, havia sido construído. Para alcançar esse nível de precisão, num entorno dinâmico, a retomada dos trabalhos contou com o uso de tecnologias avançadas de captura da realidade, como levantamentos topográficos e escaneamento a laser, que geraram nuvens de pontos e possibilitaram a modelagem digital da obra existente.

A partir dessas informações, foi possível criar modelos BIM representando fielmente a situação atual do empreendimento. Esses modelos serviram como base para a extração de quantidades, permitindo um levantamento detalhado dos elementos já executados, como estruturas de concreto e trechos escavados. Esse processo possibilitou uma compreensão mais clara do estágio real da obra e facilitou a identificação de possíveis desvios ou deteriorações nos elementos construídos durante a paralisação. Com um inventário confiável dos quantitativos já executados, as equipes de engenharia puderam planejar a retomada com maior eficiência, garantindo que materiais e recursos fossem alocados corretamente e evitando retrabalho. Além disso, a extração de quantidades foi integrada ao planejamento da obra, auxiliando na reavaliação de custos, prazos e estratégias construtivas com base em dados concretos.

Figura 5: Levantamento de condição existente através da modelagem das nuvens de pontos.



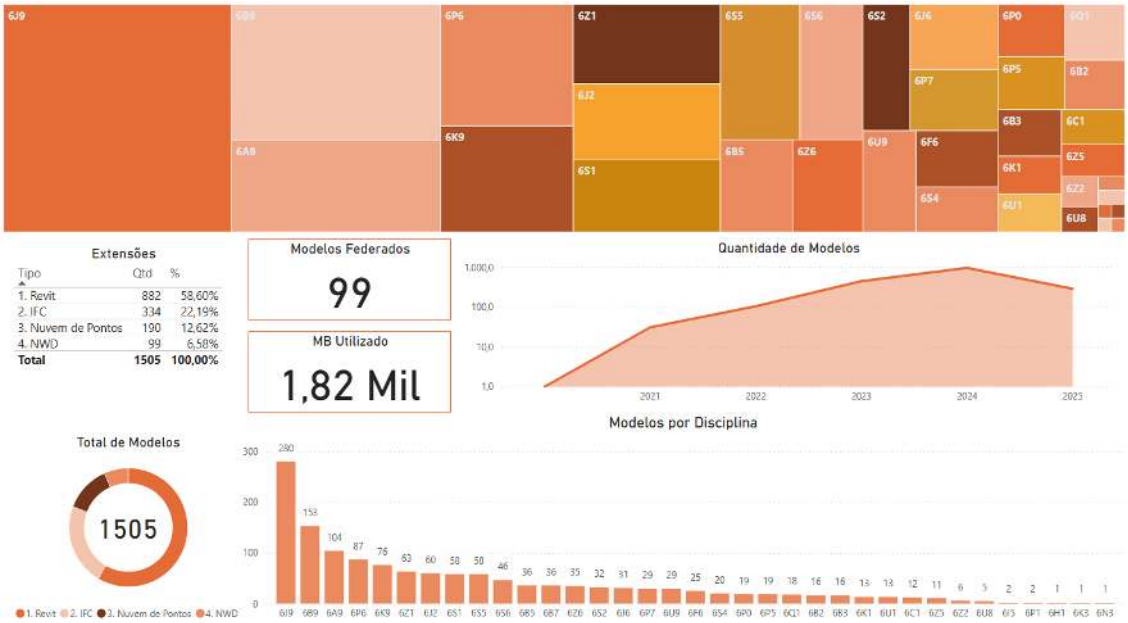
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 COORDENAÇÃO MULTIDISCIPLINAR

A construção da Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo, um megaprojeto de grande complexidade, exige a integração de diversas disciplinas, cada uma com suas particularidades e desafios técnicos. Para garantir uma coordenação eficiente entre setores como arquitetura, estrutura, geotecnia, sistemas ferroviários, sistemas prediais, via permanente e obra civil, foi essencial estabelecer um processo estruturado de gerenciamento dos modelos BIM.

Dada a magnitude do empreendimento, a utilização de um único modelo centralizado não era viável. Em vez disso, adotou-se a estratégia de criar e gerenciar múltiplos modelos BIM, cada um representando uma disciplina específica ou uma parte da obra, resultando em um total de mais de 800 modelos BIM, que estão compartilhados no nosso CDE. Essa abordagem permitiu um controle mais eficiente da compatibilização dos projetos, garantindo a identificação e resolução de interferências antes da execução. Além disso, a fragmentação dos modelos otimizou o desempenho computacional e facilitou o trabalho das equipes responsáveis por cada área, tornando o processo mais ágil e colaborativo (Castro, 2019).

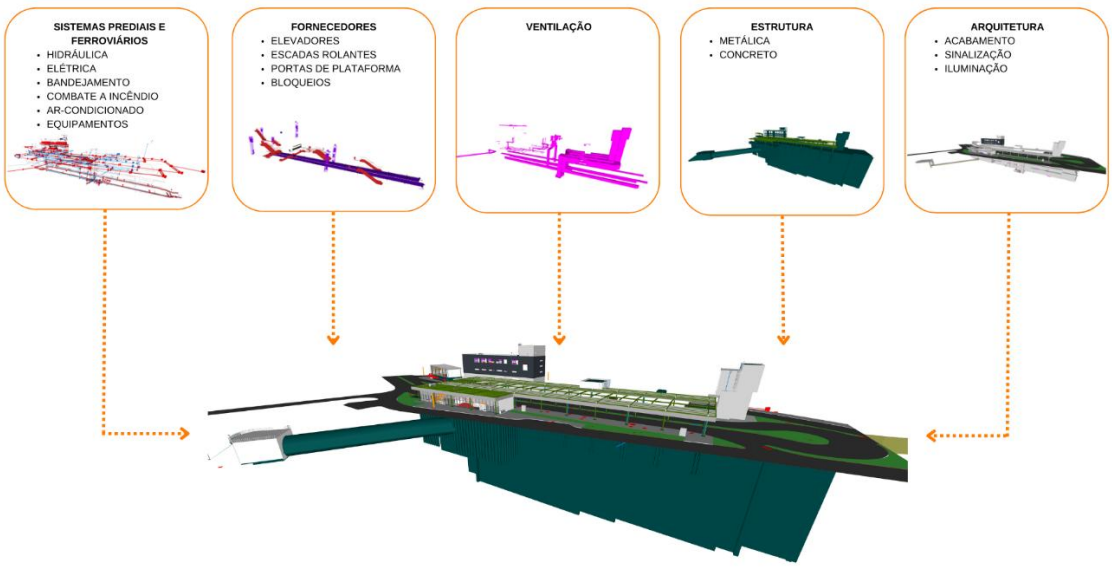
Figura 6: Gerenciamento de modelos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para gerenciar e coordenar a grande quantidade de modelos envolvidos no projeto, foi criado um modelo federado, que reúne os modelos de todas as disciplinas de cada unidade construtiva. Essa integração em um único ambiente digital proporciona uma visão completa e detalhada da obra, facilitando a análise e compatibilização entre as diversas áreas. O modelo federado desempenha um papel fundamental na identificação antecipada de interferências e incompatibilidades entre disciplinas, permitindo a resolução de conflitos antes da execução. Essa análise é conduzida de forma colaborativa, com a participação ativa das equipes responsáveis por cada área do projeto, garantindo que as soluções sejam definidas em conjunto e alinhadas às necessidades do empreendimento.

Figura 7: Modelo Federado Estação Brasilândia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

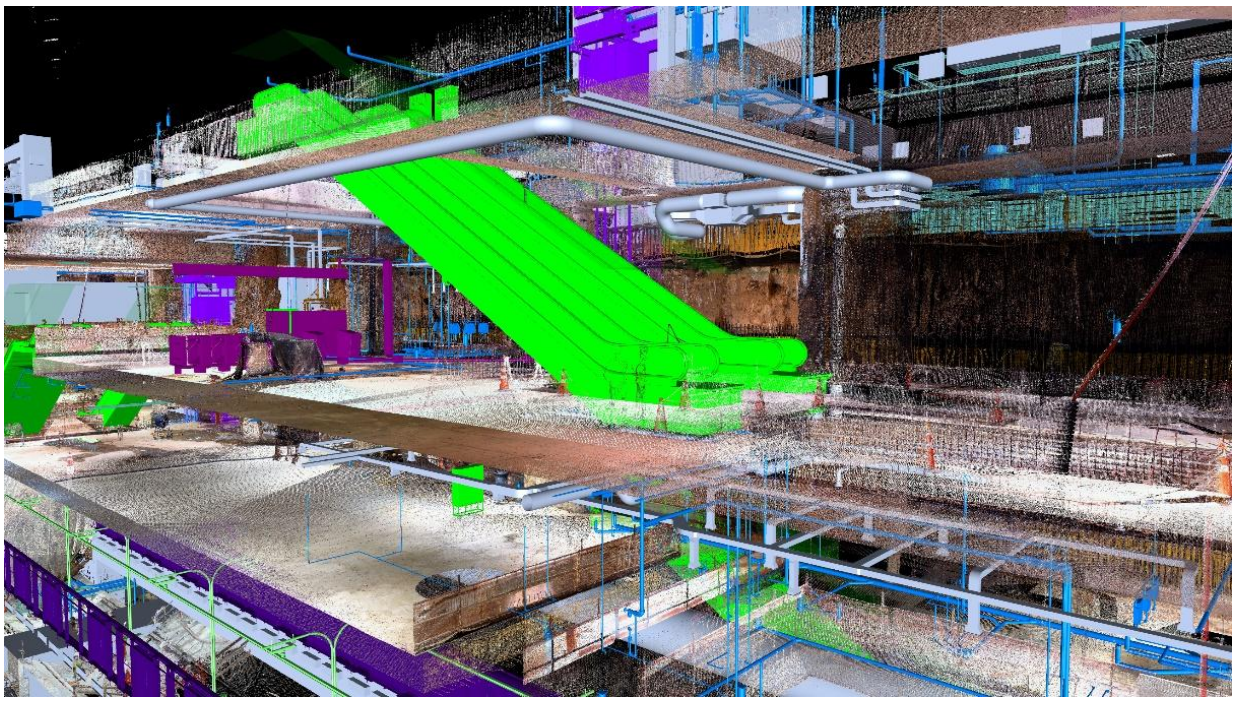
Esse processo colaborativo não apenas reduziu o retrabalho, ao antecipar e corrigir problemas antes da execução, mas também garantiu uma comunicação clara e eficiente entre todas as equipes envolvidas. Com a constante atualização dos modelos, o modelo federado também é revisado e compartilhado no CDE,

assegurando que todas as modificações sejam visualizadas em tempo real e alinhadas entre as disciplinas. Dessa forma, o modelo federado se consolidou como a única fonte confiável de informações para o desenvolvimento de todas as áreas do projeto, assim como seu entendimento. Como resultado, a integração do modelo federado e a análise coordenada das interferências tornaram o processo mais ágil e eficiente, minimizando falhas e reduzindo a necessidade de correções durante a execução da obra. A coordenação em tempo real, a detecção precoce de inconsistências e a busca conjunta por soluções foram fatores essenciais para a otimização de recursos, redução de custos e cumprimento de prazos, garantindo maior eficiência ao longo de todo o ciclo do projeto (Antón et al., 2024).

5. BIM NA RETOMADA DE OBRAS

Na retomada da obra, o BIM desempenhou um papel estratégico, permitindo organizar, centralizar e otimizar as informações necessárias para a continuidade do projeto. Os modelos BIM não apenas serviram como base para a retomada das atividades, mas também possibilitaram a verificação do que já havia sido executado pelo contrato anterior, garantindo maior confiabilidade nas decisões tomadas. Além disso, a integração do BIM com a tecnologia de nuvem de pontos possibilitou o mapeamento detalhado do estado atual da construção, identificando possíveis deteriorações, desalinhamentos ou divergências entre o projeto original e a execução real. Essa análise foi fundamental para evitar retrabalhos e permitir que a retomada ocorresse de forma mais precisa e alinhada às condições reais da obra, coordenando o que está executado com as demais disciplinas envolvidas no projeto.

Figura 8: Modelo BIM com Nuvem de Pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A utilização do BIM também aprimorou a coordenação entre as diferentes disciplinas, como arquitetura, engenharia, sistemas prediais, sistemas ferroviários e infraestrutura, garantindo melhor comunicação e minimizando falhas de interpretação. Isso resultou em uma execução mais eficiente, com redução de erros e maior controle sobre cada etapa da obra. Além da coordenação, o BIM teve um impacto significativo no planejamento logístico e no gerenciamento de recursos. A modelagem e a extração de dados permitiram um planejamento mais preciso de insumos, equipamentos e mão de obra, otimizando custos, prazos e fluxos de trabalho. A redução de desperdícios e a melhor previsibilidade de entregas foram aspectos essenciais para manter a obra dentro do cronograma (Antón e Sedó, 2022).

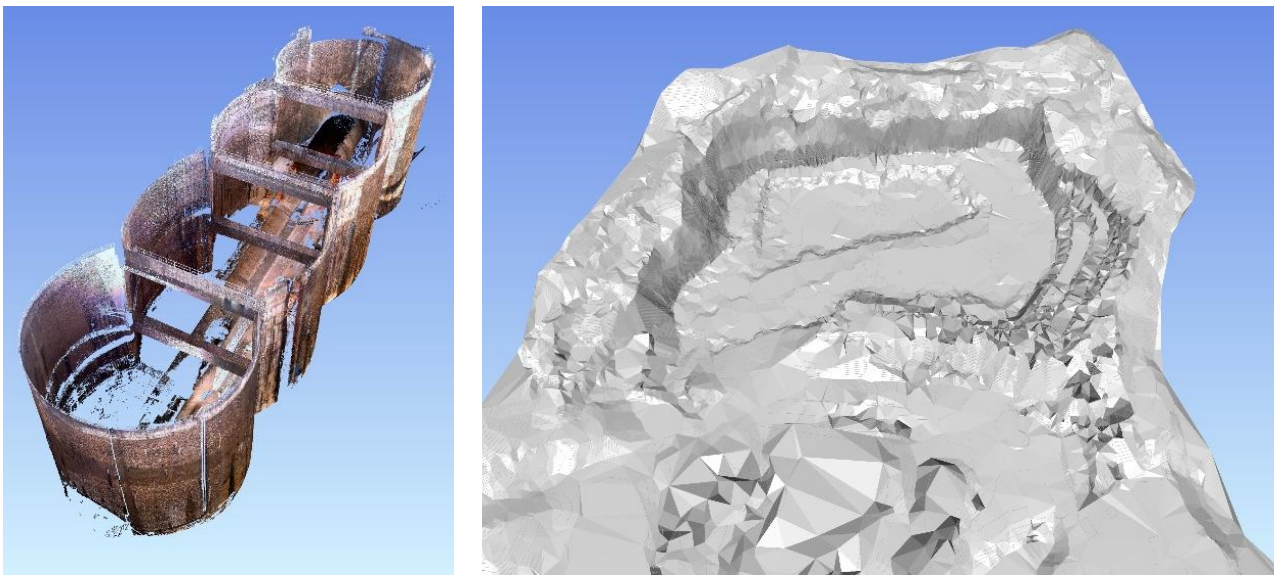
A retomada de uma obra paralisada, especialmente de grande complexidade como a Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo, envolve uma série de desafios, tanto técnicos como gerenciais. Durante o período de interrupção, estruturas inacabadas podem sofrer degradação, documentos e informações podem ser perdidos, e normativas podem sofrer alterações, exigindo uma abordagem altamente estruturada para garantir a continuidade com qualidade e segurança. Diante desse cenário, o BIM se mostrou indispensável, permitindo que a retomada fosse conduzida de forma organizada, segura e eficiente. Os principais benefícios da aplicação do BIM nesse contexto podem ser destacados em três eixos fundamentais: Diagnóstico da situação atual e recuperação e atualização do projeto; além de monitoramento em tempo real. Com a aplicação do BIM e a implementação de metodologias digitais, a retomada da obra pôde ocorrer de maneira estruturada, reduzindo incertezas e garantindo maior controle sobre o processo de execução.

5.1 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

Para retomar as obras da Linha 6-Laranja após anos de paralisação, foi essencial compreender a real condição da construção, identificando o que já havia sido executado e os ajustes necessários. A utilização do BIM, integrada a nuvens de pontos geradas por escaneamento 3D, desempenhou um papel fundamental nesse processo. Com essa tecnologia, foi possível capturar milhões de pontos da superfície da obra, criando uma representação digital detalhada e tridimensional da situação atual do canteiro de obras. Esse levantamento permitiu uma análise minuciosa de deteriorações, falhas estruturais e divergências entre o projeto original e a construção real, além de facilitar a detecção de deformações e desalinhamentos. A tecnologia também possibilitou a sobreposição dos modelos escaneados com os projetos atualizados, auxiliando na compatibilização das informações e na tomada de decisões mais assertivas. Além de digitalizar e centralizar dados essenciais, essa abordagem viabilizou a integração de projetos desatualizados e facilitou a coordenação entre os diferentes setores envolvidos (Antón e Sedó, 2022).

Além da verificação das estruturas já construídas, o levantamento das condições do terreno foi um aspecto crucial para a retomada do projeto. A implantação dos edifícios e demais estruturas dependia de uma análise detalhada das características topográficas do local. O trabalho conjunto entre a equipe de topografia e os demais envolvidos no projeto foi essencial para garantir dados precisos, permitindo ajustes no posicionamento das construções e otimizando a execução da obra. Dessa forma, a combinação do BIM com tecnologias avançadas de mapeamento e levantamento de informações garantiu maior eficiência e confiabilidade ao processo de retomada da Linha 6-Laranja, reduzindo riscos e assegurando um planejamento mais estratégico e assertivo.

Figura 9: Nuvem de Pontos VSE Tietê e Levantamento Topográfico Pátio Morro Grande.



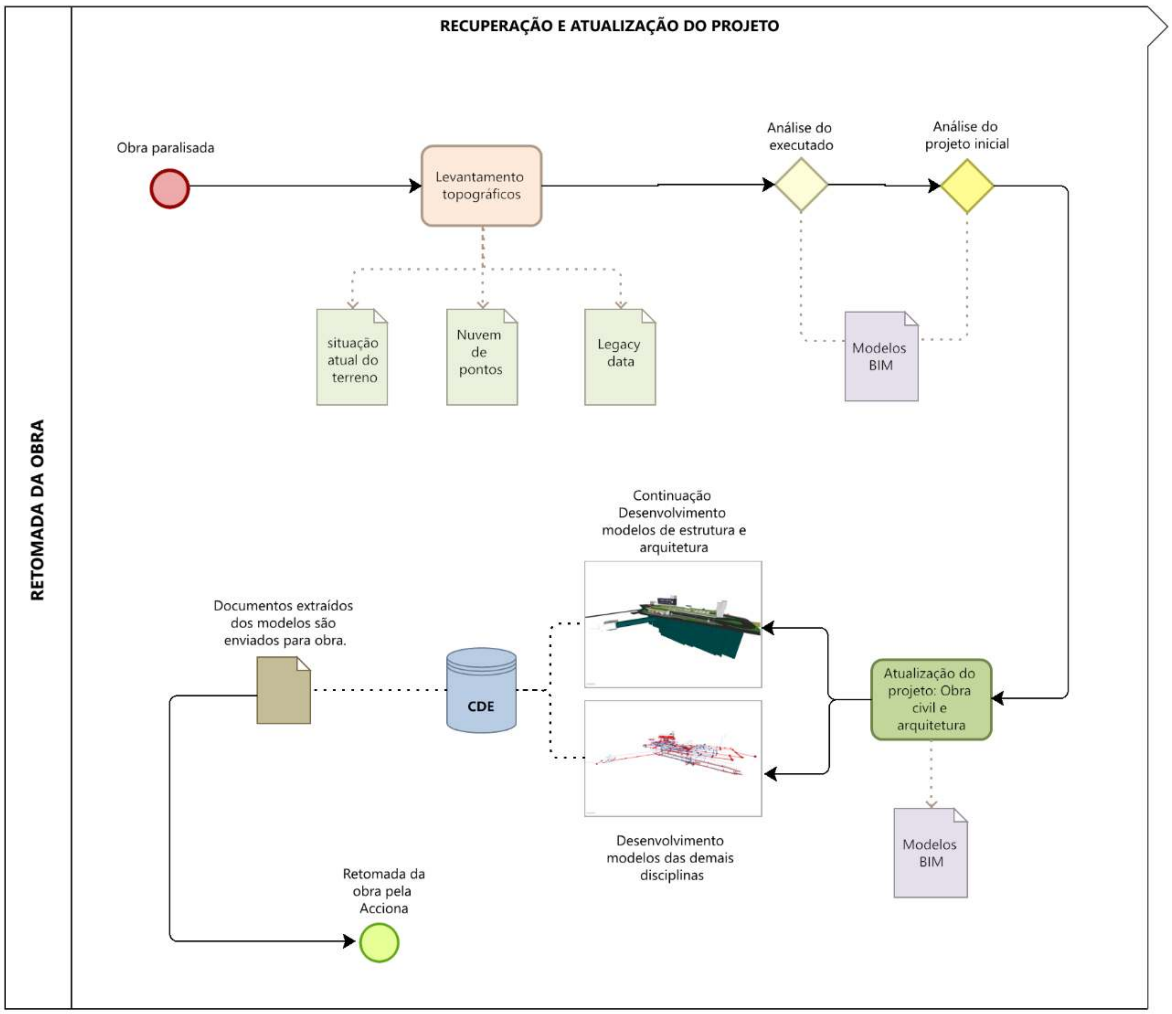
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 RECUPERAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DO PROJETO

Durante a paralisação da obra, a dispersão e desatualização de documentos técnicos representaram um grande desafio para a retomada, o uso do BIM como um banco central de informações foi essencial para consolidar e estruturar todos os dados do projeto em um ambiente digital unificado. Essa centralização permitiu que todas as disciplinas envolvidas tivessem acesso a informações atualizadas diariamente e consistentes, reduzindo erros e retrabalhos. O que possibilitou a rastreabilidade de modificações, garantindo que qualquer atualização no projeto fosse imediatamente refletida para todos os setores. A integração dos modelos em um ambiente colaborativo assegurou que as revisões e ajustes fossem documentados e compartilhados de forma transparente, evitando discrepâncias entre o projetado e o executado.

Outro benefício fundamental foi a utilização de um CDE, onde os modelos e documentos foram organizados com controle de versões, garantindo que todas as equipes trabalhassem com as informações mais recentes. Esse fluxo permitiu maior agilidade na comunicação entre projetistas, engenheiros e equipes de campo, garantindo que decisões críticas fossem tomadas com base em dados confiáveis. Dessa forma, a implementação do BIM como um modelo central de informações não apenas otimizou a gestão documental, mas também trouxe maior controle, confiabilidade e eficiência à retomada da obra, contribuindo para um processo mais organizado, seguro e integrado.

Figura 10: Fluxograma de recuperação e atualização do projeto.



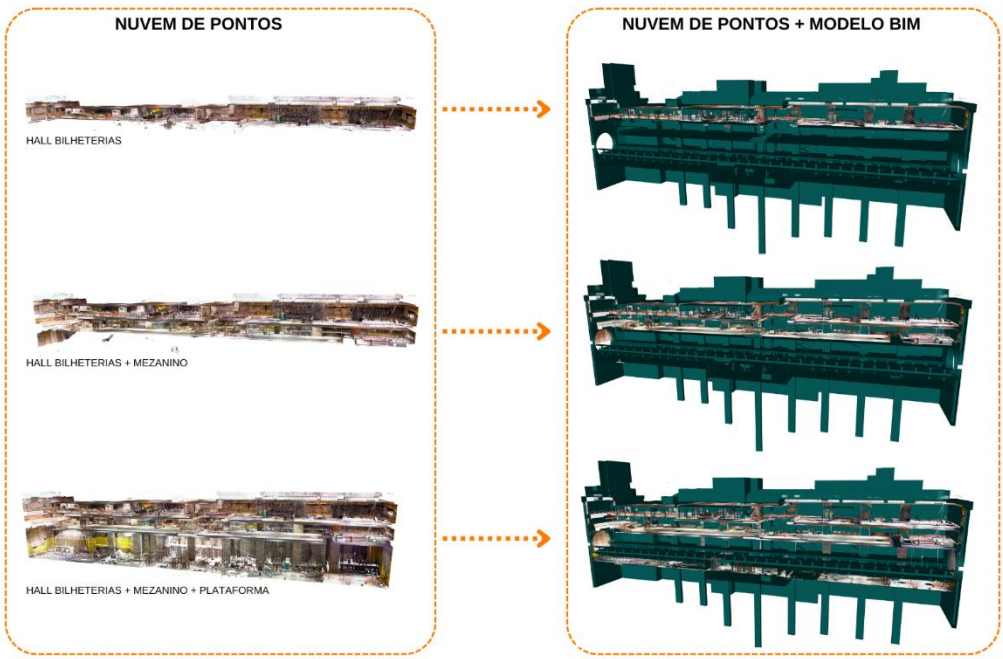
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

Após o reinício da obra, a metodologia BIM continua sendo essencial para garantir a coordenação entre os modelos digitais e a execução no canteiro. A integração do BIM com nuvens de pontos possibilita um monitoramento contínuo da construção, permitindo a comparação constante entre o modelo projetado e o que está sendo efetivamente construído. Esse acompanhamento em tempo real viabiliza a detecção precoce de desvios em relação ao projeto, como inconsistências dimensionais, desalinhamentos estruturais e interferências entre diferentes disciplinas, possibilitando correções imediatas antes que esses problemas impactem o cronograma da obra. Um exemplo prático dessa abordagem é a identificação de sobreposições entre sistemas prediais, como instalações hidráulicas e elétricas, ou conflitos com elementos estruturais. Com essa metodologia, a equipe técnica pode tomar decisões mais rápidas e precisas, garantindo que cada etapa da execução esteja alinhada às diretrizes do projeto. Isso reduz retrabalhos, otimiza o uso de recursos e melhora a eficiência da gestão da obra.

O trabalho conjunto da equipe de topografia com os demais envolvidos no projeto continua sendo crucial nesse processo. À medida que as frentes de serviço são concluídas, as nuvens de pontos são atualizadas e compartilhadas. Após essa etapa, a nuvem de pontos é federada com o modelo estrutural, permitindo a comparação detalhada entre o projetado e o executado. Essa análise colaborativa possibilita que inconsistências sejam identificadas e que, caso necessário, os projetistas sejam acionados para realizar ajustes no projeto, garantindo maior precisão e controle ao longo da execução. Dessa forma, a combinação do BIM com tecnologias avançadas de escaneamento garante maior confiabilidade na obra, reduzindo riscos, assegurando a qualidade da execução e proporcionando uma gestão mais eficiente e integrada do projeto (Antón et al., 2024).

Figura 11: Monitoramento em tempo real de execução.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As estações da Linha 6-Laranja são construídas seguindo duas metodologias distintas. Cinco delas utilizam o método de Vala a Céu Aberto (VCA), com a adoção do sistema *Top-Down*, uma técnica amplamente empregada em obras subterrâneas. Nesse processo, a escavação ocorre de cima para baixo, iniciando-se pela remoção do solo na superfície. À medida que a escavação avança, as lajes e demais estruturas são executadas progressivamente em cada nível, garantindo maior estabilidade e eficiência na obra. As outras dez estações são construídas pelo método de poço e túnel. Nessa abordagem, a escavação ocorre de forma segmentada, utilizando um revestimento primário de concreto projetado para garantir a contenção do solo. Ao atingir a cota mais profunda projetada, o túnel é escavado utilizando o método NATM *(New Austrian Tunneling Method),* e inicia-se a construção das estruturas internas, como vigas, lajes e pilares, no sentido

de baixo para cima. A aplicação do BIM integrada às nuvens de pontos, desempenha um papel essencial no monitoramento contínuo das complexas escavações. Essa tecnologia permite a comparação em tempo real entre o projeto e a execução, garantindo comunicação contínua entre a equipe técnica e o canteiro de obras. Dessa forma, desvios em relação ao projeto podem ser rapidamente identificados e corrigidos, otimizando o processo construtivo e minimizando riscos de falhas ou retrabalhos. A combinação do BIM e da captura de realidade aprimora a precisão e a segurança da construção ao mesmo tempo que viabiliza a coordenação eficaz entre as equipes envolvidas. A disponibilidade de informações atualizadas em tempo real facilita a tomada de decisões e assegura um alinhamento estratégico entre projeto e execução. A adoção do BIM na construção das estações da Linha 6-Laranja reflete o compromisso com soluções inovadoras, promovendo maior eficiência, segurança e sustentabilidade, além de reduzir impactos no ambiente urbano.

6. LIÇÕES APRENDIDAS

1. Visualização da situação atual: O uso integrado na nuvem de pontos e do BIM, permitiu um levantamento detalhado da obra, garantindo que decisões fossem baseadas nas condições reais do projeto, minimizando erros de interpretação. A utilização dessas tecnologias auxiliou na retomada do projeto facilitando a visualização e detecção de possíveis incompatibilidades entre o projetado e o executado antes de retomar o projeto e obra.
2. Modelo federado como um canal de comunicação: A metodologia BIM possibilita realizar uma pré-construção dos elementos a serem executados, e a sua integração com a captura de realidade auxilia em uma tomada de decisão mais precisa. Os modelos federados tornaram-se o ponto de verificação das interfaces do projeto e o canal de comunicação entre todos os envolvidos no projeto, auxiliando na tomada de decisões, além de serem uma ferramenta para identificar possíveis interferências.
3. Colaboração eficiente através de um CDE: A implementação de um CDE garantiu que todos os envolvidos tivessem acesso as informações mais recentes em tempo real, quando precisavam acessá-las, evitando falhas de comunicação e desatualizações. A rastreabilidade das modificações feitas nos modelos, possibilitou um controle mais eficiente das versões, e garantiu maior transparência para o processo.
4. Monitoramento contínuo: O monitoramento contínuo do executado através da integração entre BIM e nuvem de pontos, permitiu que desvios em relação ao projeto fossem detectados precocemente, possibilitando correções imediatas antes de impactarem o cronograma. A atualização frequente das nuvens de pontos e dos modelos estruturais garantiu que as equipes de engenharia trabalhassem com dados confiáveis e alinhados ao progresso real da obra.

As lições aprendidas destacam como a integração entre BIM, nuvem de pontos e a utilização de um CDE foi essencial para a retomada da obra, proporcionando maior previsibilidade, controle e eficiência. Essas práticas minimizaram erros, otimizaram processos e garantiram a execução conforme o planejado, consolidando o BIM como um pilar estratégico para a gestão integrada de grandes projetos de infraestrutura.

7. CONCLUSÃO

A retomada da obra da Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo apresentou desafios significativos devido ao longo período de paralisação e à necessidade de reavaliação e replanejamento do projeto. A implementação do BIM foi essencial para superar esses desafios, permitindo uma gestão estratégica e eficiente das diversas frentes de trabalho. A integração entre os modelos BIM, nuvem de pontos e um CDE, possibilitou um diagnóstico preciso das condições da obra, facilitando a tomada de decisões baseada em dados confiáveis e reduzindo incertezas. O levantamento da obra, por meio de topografia e captura da realidade, foi fundamental para analisar o que havia sido executado e identificar possíveis incompatibilidades antes da retomada.

O uso do modelo federado como canal de comunicação garantiu a compatibilização entre disciplinas, permitindo a detecção antecipada de interferências e minimizando retrabalhos. A implementação de um CDE proporcionou uma colaboração eficiente, assegurando que todas as equipes tivessem acesso às informações mais atualizadas, reduzindo falhas de coordenação e melhorando a transparência do fluxo de trabalho. Além disso, o monitoramento contínuo da obra, possibilitado pela integração entre BIM e nuvem de pontos, garantiu que desvios fossem detectados precocemente, permitindo correções rápidas antes que impactassem o cronograma. A transformação digital na construção civil desempenhou um papel essencial na continuidade

da obra de forma segura e eficiente. O uso de tecnologias avançadas não apenas otimizou a gestão de recursos e reduziu desperdícios, mas também elevou os padrões de precisão, segurança e eficiência na execução da obra.

Dessa forma, a adoção contínua dessas práticas inovadoras será fundamental para garantir que projetos de grande complexidade sejam entregues com maior qualidade, sustentabilidade e controle sobre custos e prazos, consolidando a metodologia BIM como uma mudança de paradigma nos trabalhos e como um pilar essencial na modernização e digitalização do setor de infraestrutura.

8. REFERÊNCIAS

ANTÓN, Pedro Rey; SEDÓ, María. Line 6 São Paulo Metro Brazil: Resuming the largest infrastructure project in LATAM. In: **AUTODESK UNIVERSITY**, 2022. Disponível em: https://www.autodesk.com/autodesk-university. Acesso em: 10 fev. 2024.

ANTÓN, Pedro Rey; VIEIRA, Bruna Bezerra; BARBETTA, Alessandra; GONÇALVES, Bruna; PALLADINO, Mayara; MARQUES, Isabela; MONTIEL, Manuel Mena; MARTINS, Cristhiano L.; YOSHIKAWA, Tatiana; CHUECA, Carlos Peña; VIEIRA, Tiago. Uso de nuvem de pontos e modelos BIM para controle de obras subterrâneas. In: **CONGRESSO AERABIM, 7.**, 2022, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: Sinaenco, 2024. p. 613. Disponível em: https://sinaenco.com.br/ANAIS-7-CONGRESSO-AERABIM.pdf. Acesso em: 9 fev. 2024.

CASTRO, Li Chong Lee Bacelar de. Aplicação do Building Information Modeling (BIM) em projetos de infraestrutura nas fases pré-completion e/ou pós-completion. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Políticas de Infraestrutura) – Universidade XYZ, Brasília, 2019. Acesso em: 14 fev. 2024.

ERSHADI, Mahmoud; JEFFERIES, Marcus; DAVIS, Peter; MOJTAHEDI, Mohammad. Implementation of Building Information Modelling in infrastructure construction projects: a study of dimensions and strategies. **International Journal of Information Systems and Project Management**, v. 9, n. 4, p. 43-59, 2021. Disponível em: http://www.sciencesphere.org/ijispm. Acesso em: 13 fev. 2024.

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. 2006. Acesso em: 10 fev. 2024.