

Desenvolvimentos BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa: Modelação, planeamento físico e integração com o SIG

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.41>

**Tiago Andrade Gomes¹, Gonçalo Diniz Vieira¹,
Luís Ribeirinho², Ricardo Pontes Resende³,
António Hipólito⁴, Catarina Feio⁴,
Sebastien Roux⁵, Paulo Gordinho¹**

¹ *Equipa de projeto para o Plano Geral de Drenagem de Lisboa/Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa*

² *TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa, <https://orcid.org/0000-0002-3486-6326>*

³ *ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, <https://orcid.org/0000-0002-2155-5625>*

⁴ *Mota-Engil SA, Lisboa, <https://orcid.org/0000-0002-9662-1308>*

⁵ *Limsen Consulting, Lisboa*

Resumo

O Plano Geral de Drenagem de Lisboa é uma ambiciosa infraestrutura que irá mitigar os efeitos das cheias e alterações climáticas na cidade de Lisboa. É constituído por uma variedade de intervenções na rede de drenagem pluvial da cidade, a maioria subterrâneas. As obras mais emblemáticas são a escavação de dois túneis que atravessam a cidade e transferem água das chuvas entre bacias hidrográficas, aliviando a rede no centro e na zona baixa da cidade. Dada a importância da obra, interferências com redes existentes e acima de tudo a necessidade de a gerir de forma eficiente durante as próximas décadas, o BIM foi adotado para o projeto e a obra, tendo sido já publicado um artigo no PTBIM 2022 sobre os desafios da implementação do BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Desde 2022 registou-se uma notável evolução com a exploração e implementação de ferramentas e técnicas BIM para a modelação do projeto, que tem várias características singulares, para o planeamento físico da construção através de uma plataforma web baseada na tecnologia Autodesk Platform Services [1] desenvolvida pelo Adjudicatário Mota Engil e a integração dos modelos com os Sistemas de Informação Geográfica do dono de Obra, a Câmara Municipal de Lisboa. Para além da descrição dos desenvolvimentos, este trabalho reforça a importância da abertura à inovação entre todos os intervenientes, a capacidade de adaptação e desenvolvimento de novas ferramentas, e sua transversalidade nas organizações. Este trabalho descreve estes desenvolvimentos, sendo outro artigo apresentado no PTBIM dedicado à Comunicação com os *stakeholders* do projeto, ao Acompanhamento e Controlo de obra.

1. Introdução

A implementação da metodologia Building Information Modeling (BIM) em grandes projetos de infraestruturas é uma prática cada vez mais comum no cenário global da engenharia e construção. Esta tendência reflete não a evolução da tecnologia e nos utilizadores, que se tornam em alguns casos produtores de novas ferramentas, mas também uma mudança paradigmática na forma como projetos de grande complexidade são concebidos, planeados e executados.

Em Portugal, apesar da ausência de incentivos por parte do Estado, o meio técnico e as universidades têm desenvolvido e aplicado as suas capacidades tecnológicas por sua iniciativa, tendo-se chegado em casos pontuais a níveis de qualidade e inovação muito interessantes. Do lado dos donos de obra o panorama é mais heterogéneo. No setor público, mesmo na ausência de um mandato explícito, apesar das recentes iniciativas legislativas do governo, alguns organismos começam a exigir usos BIM em concursos, sendo esse o caso da obra do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, que incluiu o BIM no concurso lançado em 2018.

Sendo o BIM uma disciplina relativamente recente, a sua aplicação em obras de infraestruturas urbanas está menos disseminada e desenvolvida que, por exemplo, nos edifícios. Desde o início dos trabalhos preparatórios que se tornou evidente que esta obra exigiria uma cooperação apertada entre os intervenientes diretos e indiretos, e ferramentas tecnológicas que pudessem responder a desafios concretos. Neste trabalho expõem-se três desenvolvimentos tecnológicos que se consideraram serem dignos de nota: a exploração e implementação de ferramentas e técnicas BIM singulares para a modelação do projeto, o planeamento físico da construção através de uma plataforma web baseada na tecnologia Autodesk Platform Services desenvolvida pelo Adjudicatário Mota Engil. Finalmente, a integração dos modelos com os Sistemas de Informação Geográfica do dono de Obra, a Câmara Municipal de Lisboa. Para além da descrição dos desenvolvimentos, este trabalho reforça a importância da abertura à inovação entre todos os intervenientes, a capacidade de adaptação e desenvolvimento de novas ferramentas, e sua transversalidade nas organizações.

O presente artigo propõe-se a explorar e detalhar a implementação e os desenvolvimentos do BIM no contexto específico do Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL), um projeto ambicioso e de grande importância para a infraestrutura urbana da capital de Portugal. Através desta análise, pretendemos demonstrar como o BIM, mais do que um recurso tecnológico, representa uma abordagem integrada e colaborativa, crucial para o sucesso de empreendimentos de grande envergadura e complexidade técnica.

2. Enquadramento

O Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL) é a mais importante obra atual em Lisboa, trazendo à cidade uma marca de inovação e sustentabilidade urbana e

respondendo aos desafios das alterações climáticas e da urbanização acelerada. As obras mais emblemáticas deste plano são a construção de dois grandes túneis de drenagem de águas residuais, maioritariamente pluviais, com um diâmetro interno de 5,5 m. O túnel mais longo liga a bacia da zona norte de Lisboa, intercetando o Caneiro de Alcântara no sopé de Monsanto, conduzindo a água diretamente ao rio em Santa Apolónia num percurso de cerca de 5 km. O segundo túnel tem aproximadamente 1 km e liga a zona de Chelas ao Beato. O plano é mais abrangente que esta duas obras e visa não só mitigar o risco de inundações, mas também incorpora um sistema de distribuição de água reciclada. Complementando este esforço, será construída uma bacia antipoluição com um reservatório de 16.500 m³ e três poços de vórtice distribuídos pela cidade [2] que transferem a água das redes locais para os túneis, a cotas inferiores. Esta é a maior obra lançada pelo município e será praticamente invisível após a sua conclusão, mas durante o seu desenvolvimento tem um impacto significativo na cidade, contando com sete estaleiros ativos em pontos estratégicos de Lisboa: Campolide, Av. da Liberdade, Rua de Santa Marta, Av. Almirante Reis, Santa Apolónia, Chelas e Beato.

Desde o artigo de 2022 apresentado no ptBIM, a implementação da metodologia BIM no PGDL tem evoluído significativamente. O BIM tem sido uma ferramenta crucial durante a fase de projeto e construção, melhorando a gestão da informação e a comunicação entre as entidades envolvidas, e é esperado que tenha um papel fundamental na fase de manutenção e gestão do sistema.

A escavação automatizada dos túneis com recurso a uma TBM (Tunnel Boring Machine) de escudo fechado, é complementada pelo uso intensivo do BIM, aplicado nas obras subterrâneas, mas também nas superficiais, minimizando os impactos e garantindo a segurança durante a construção num ambiente urbano, histórico e denso como o de Lisboa.

Ao refletir sobre a evolução desde o artigo anterior, observa-se um avanço significativo em diversos aspetos:

- Na Modelação: Os avanços na modelação BIM, em parte resultado de novas ferramentas desenvolvidas para o projeto, têm sido essenciais, com melhorias na eficiência e na representação da complexidade do projeto.
- Na implementação do Uso 4D: A integração do aspeto temporal (4D) com a plataforma Mota-Engil BIM *Viewer* tem aprimorado a compreensão do projeto de todos os envolvidos, permitindo um acompanhamento e gestão mais eficaz da obra.
- Na integração com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) da Câmara Municipal de Lisboa (CML): A integração pioneira dos modelos BIM com os sistemas SIG da CML é um avanço significativo na gestão de infraestruturas urbanas e na sua relação com a envolvente urbana, em particular com as infraestruturas enterradas. Esta integração aponta já para o futuro *Digital Twin* do projeto, essencial para a sua operação.

O PGDL, aliado à metodologia BIM, estabelece Lisboa como um exemplo de cidade Inteligente, Resiliente e Sustentável. A utilização desta metodologia não só otimiza a fase de projeto e construção, mas também antevê uma gestão eficiente da infraestrutura a longo prazo, estabelecendo um modelo para futuras obras urbanas que combinam tecnologia avançada, planeamento detalhado e colaboração interdepartamental.

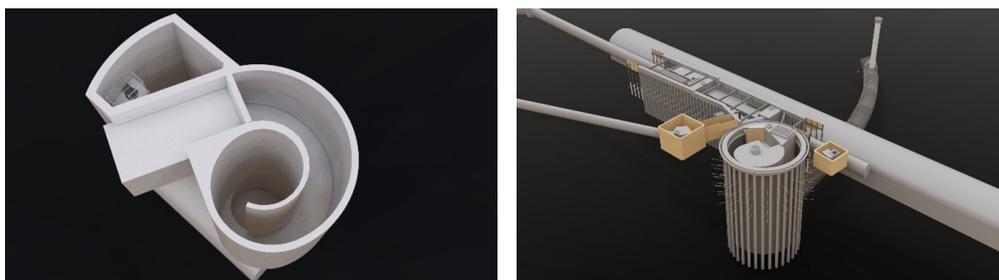
Sendo a sua utilidade já inquestionável, estes desenvolvimentos põem problemas concretos à equipa, principalmente devido ao elevado esforço para o seu desenvolvimento, que inclui a aprendizagem das ferramentas informáticas, sejam elas o Dynamo, a API do Revit, as frameworks de trabalho na net ou a Autodesk Platforms Services, dentro de empresas de engenharia. Por outro lado, é também já evidente a utilidade destes desenvolvimentos dentro das várias organizações envolvidas.

3. Modelação

A modelação das 21 obras desta empreitada caracteriza-se por formas volumétricas de geometria complexa, pouco ou nada ortogonais, plásticas e com desenvolvimentos pouco convencionais.

Daí que para a modelação, particularmente nas câmaras de vórtice, elementos que fazem a ligação entre as caixas de recolha das águas dos arruamentos e ligação às galerias intermédias dos túneis principais (TMSA e TCB), e nos próprios túneis principais e de ligação, recorremos a software e fluxos de modelação diferentes dos usuais, tendo mesmo sido desenvolvidos automatismos internos que resolvem o que os softwares correntes não fazem. Para o efeito foram desenvolvidos automatismos recorrendo ao Dynamo para Revit para as aplicações mais simples e aplicações desenvolvidas diretamente sobre a API do Revit em linguagem C# para as ferramentas mais exigentes ou de utilização mais frequente:

Figura 1
Imagens dos modelos das câmaras de vórtice (exemplo).



O desenvolvimento do Add-In interno para o Revit METools permite, entre outros:

- Transformação de elementos modelados em software externos em famílias Revit;
- Manipulação booleana de sólidos como corte, adição e subtração;
- Geração automática de túneis através dos elementos 2D do perfil, alinhamento e secção transversal;

- Conversor de tubagens desenvolvidas em software externos em famílias nativas Revit;
- Atribuição de sistema de coordenadas para correta georreferenciação dos modelos;
- Cópia de vistas e folhas entre modelos.

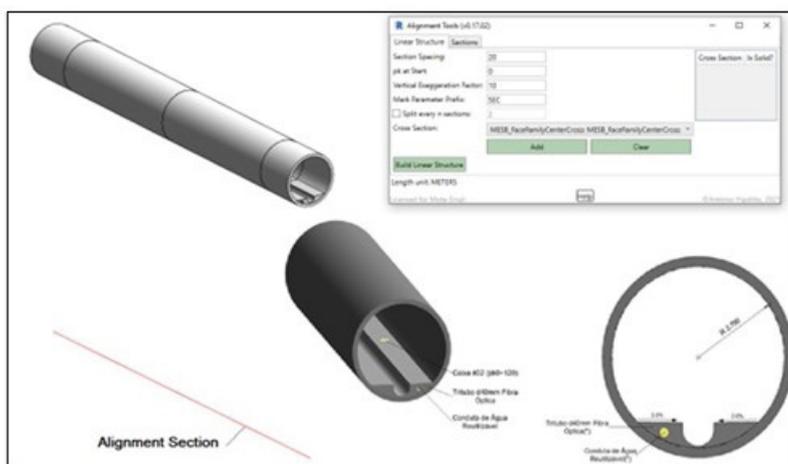


Figura 2
Geração e segmentação automática de túneis com ferramenta desenvolvida para o projeto.

Como referido, recorreremos também ao Dynamo para a criação de rotinas próprias para o cumprimento dos EIR do BEP, tais como:

- Listagem de versões internas dos links;
- Conversão de nomes de famílias;
- Substituição de parâmetros;
- Preenchimento de parâmetros em equipamentos importados de modelos IFC.

Em casos pontuais, como na LandArt de Santa Apolónia, estrutura escultórica com cerca de 90 m de desenvolvimento, recorreu-se a modelação geométrica em softwares adicionais como o Autocad 3D ou o Blender, sendo posteriormente importado para famílias Revit.

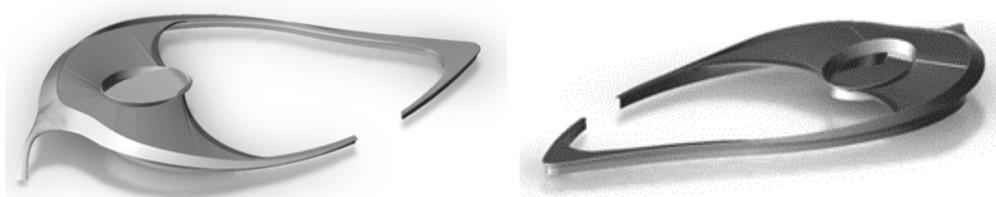


Figura 3
Modelação da LandArt.

Para validação da modelação foram utilizadas ferramentas complementares:

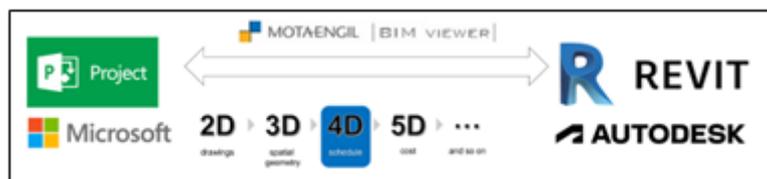
- Navisworks, para Clash Detection, com características muito especiais nesta empreitada como por exemplo a sobreposição de ancoragens de contenção,

- sobreposição de equipamentos das diferentes áreas e georeferenciação dos modelos;
- Standardized Data Tool da Autodesk para atribuição de classificação Uniclass definida no BEP;
- Model Checker para a garantia de cumprimento dos EIR antes da submissão oficial ao Dono de Obra.

4. Integração do planeamento físico 4D

De modo a dinamizar o planeamento físico na quarta dimensão do BIM, foi desenvolvida pela Mota-Engil uma plataforma inovadora, baseada na tecnologia Autodesk Platform Services (APS, anteriormente Forge), que permite associar ao modelo 3D desenvolvido em Revit o planeamento físico desenvolvido em MS Project, representando essa junção num visualizador Web acessível por todas as partes interessadas com permissão para o efeito, sem recurso a softwares específicos adicionais.

Figura 4
Esquema geral de ligação do planeamento MS Project aos modelos 3D Revit.



Os principais objetivos do desenvolvimento interno do MOTA-ENGIL BIM VIEWER são:

- Rápida curva de aprendizagem para os utilizadores (equipas de planeamento, modelação, direção de obra, fiscalização, cliente);
- Melhoria da comunicação e coordenação entre os intervenientes, recorrendo ao mínimo de plataformas/software;
- Visualização gráfica do planeamento de atividades e respetiva taxa de execução sobre os vários modelos 3D em simultâneo, em ambiente federado (total de 45 modelos);
- Elevada customização do ponto de vista, incluindo possibilidade de ocultar objetos, fazer cortes, etc.;
- Possibilidade de gravar vistas pré-definidas por utilizador, partilhadas ou não pelos restantes;
- Sincronismo automático com a base MS Project aprovada e possibilidade de estudo de novos cenários;
- Desenvolvimento para a Empreitada da PGDL, mas com possibilidade de escalar para outras empreitadas e com inclusão de novas funcionalidades, entretanto já implementadas.

Método:

- Do lado da equipa do Planeamento: complemento do MS Project com informação que permite a correta ligação aos modelos Revit; manutenção

da metodologia prévia e já existente de atualização do plano de trabalhos e respetiva taxa de execução em ambiente MS Project;

- ii. Do lado da equipa de Modelação: complemento dos modelos com Informação não Geométrica que permite a correta ligação às atividades do MS Project;
- iii. Com a periodicidade definida e sempre que necessário, sincronismo direto do MS Project com a plataforma, atividade que demora poucos segundos a executar, atualizando de uma só vez as datas planeadas e as percentagens executadas; esta atividade é executada diretamente no MS Project podendo por isso ser realizada pelo próprio técnico de planeamento.

Figura 5
Inclusão do planeamento MS Project na plataforma Mota-Engil BIM Viewer.

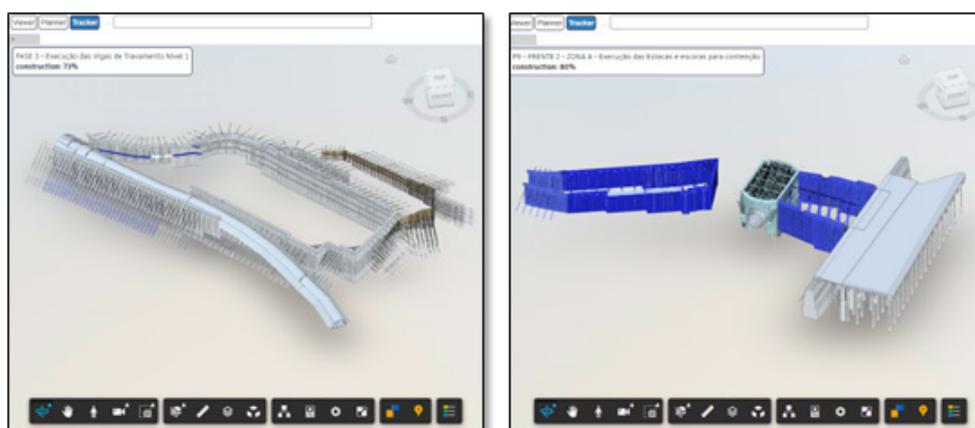
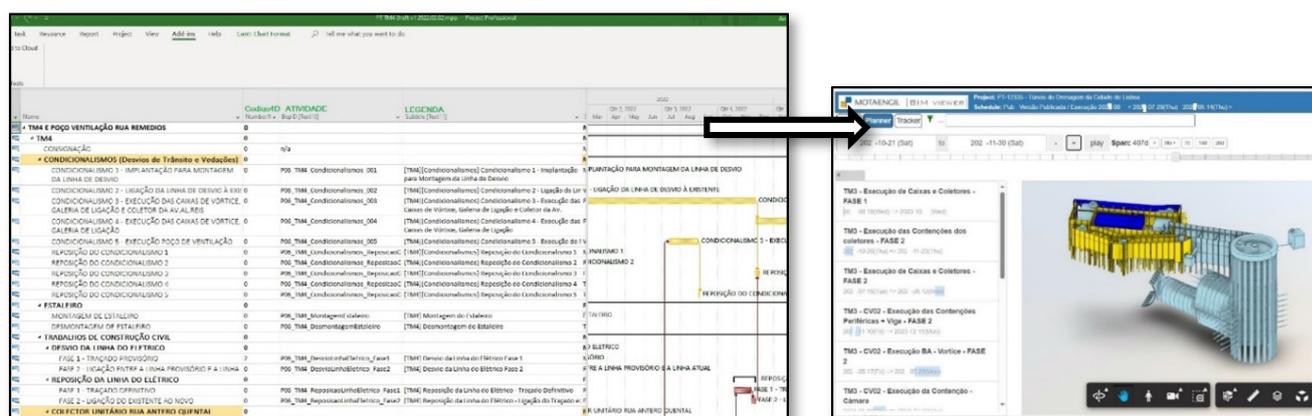


Figura 6
Acompanhamento da percentagem de execução real na plataforma Mota-Engil BIM Viewer.

5. Integração com o sistema de informação geográfica

A gestão urbana moderna exige ferramentas que permitam uma compreensão detalhada e integrada do território municipal. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) emergiram como um pilar central na estratégia de planeamento e gestão urbana, desempenhando um papel fundamental no planeamento de uma Lisboa cada vez mais dinâmica e preparada para os desafios do futuro.

Na vanguarda da inovação tecnológica e da gestão urbana, a integração dos sistemas BIM e SIG representa uma aliança estratégica que a CML está pronta para explorar.

Neste contexto, o Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL) surge como um candidato ideal para esta sinergia, atuando como um caso de estudo primordial para esta integração. O PGDL, com a sua escala significativa e a sua complexidade multifacetada, oferece um terreno fértil para a aplicação desta convergência tecnológica.

A integração dos túneis de drenagem de Lisboa no sistema SIG representa uma inovação na gestão urbana, oferecendo uma visão tridimensional abrangente do tecido da cidade. Este projeto estende-se por diversas zonas urbanas e, ao harmonizar modelos 3D nativos com infraestruturas preexistentes, proporciona aos gestores e técnicos uma representação dinâmica e integrada das complexas infraestruturas de Lisboa, tanto na superfície quanto no subsolo.

Almeja-se assim que este caso se torne num exemplo expondo o que a integração BIM-SIG pode trazer para a gestão de infraestruturas urbanas: uma visão holística que transcende as limitações tradicionais de planeamento e gestão, estabelecendo um novo padrão para a administração municipal numa era cada vez mais digital.

No cerne da integração BIM-SIG empreendida pela CML, reside o objetivo de maximizar o valor da Informação Geográfica (IG) de base. O PGDL, como projeto-chave nesta iniciativa, serviu de catalisador para um aprofundamento no modo como os dados são visualizados e manipulados no ambiente do *WebScene*. A equipe encarregue desta integração empenhou-se em enriquecer a representação dos dados, tanto em dimensão vetorial quanto *raster*, para criar uma experiência de visualização mais rica e interativa.

Por forma a enriquecer a visualização altimétrica dos edifícios foi feita uma análise espacial sobrepondo a camada dos edifícios existentes com a cartografia base do concurso de 2018 na escala 1:1000. Esta sobreposição interagiu com a entidade gráfica "Ponto de cota no beirado do telhado ou Platibanda", o que permitiu um enriquecimento do atributo de elevação dos edifícios existentes, realçando assim a paisagem urbana de Lisboa e fornecendo um contexto mais detalhado e uma compreensão aprimorada da topografia da cidade. No que respeita a componente subterrânea do edificado a abordagem adotada para calcular a profundidade consistiu na multiplicação do número de pisos soterrâneos por três metros, fornecendo assim uma estimativa de profundidade dos mesmos.

Aprimorou-se igualmente a visualização tridimensional das redes subterrâneas de serviços afetados, como redes de gás, ou de água alterando-se a simbologia. Optou-se por uma representação tubular para conferir uma perceção mais intuitiva das redes subterrânea baseada nos diâmetros listados na tabela de atributos do elemento, como foi o caso das redes da EPAL. Quando os diâmetros não estavam disponíveis, recorreu-se a padrões estabelecidos para cada tipo de rede. Esta abordagem aguarda a integração das redes de saneamento, refletindo o compromisso contínuo com a melhoria e a precisão na modelação da infraestrutura urbana subterrânea de Lisboa.

A equipa enfrentou desafios ao trabalhar com a superfície altimétrica de referência predefinida no *WebScene*, que, à escala de Portugal, possui uma resolução espacial de

20-30 metros. Após uma análise mais detalhada, identificaram-se discrepâncias na conformidade posicional altimétrica, observando-se que algumas estruturas, como hidráulicas e caixas de visita, estavam incorretamente representadas abaixo do nível do solo. Para corrigir estas inconsistências, foi integrado o Modelo Digital do Terreno (MDT) da CML com uma resolução de 2x2 metros em GDB, que é oficialmente utilizado internamente na CML. Convertido para o sistema de coordenadas WGS 84, e posteriormente publicado como "Surface Layer" no ArcGIS Online (AGOL), este aperfeiçoamento não só elevou a qualidade da informação como também reforçou a visão integrada proporcionada pelo visualizador.

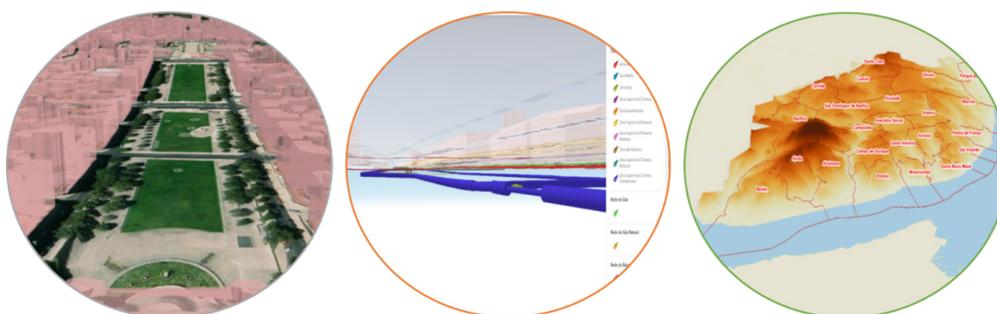


Figura 7
Enriquecimento da visualização dos elementos SIG.

Os dados referentes aos projetos BIM importados em formato Revit foram alvo de configurações cartográficas em ambiente de projeto ArcGIS Pro, nomeadamente com transformações de formato, resultando no formato Building Scene Layer Package (SLPK). Esta informação, em conjunto com as referidas anteriormente, foi então integrada e publicada no ArcGIS on-line. Projetado para ser intuitivo, o visualizador não requer conhecimentos avançados em SIG, democratizando o uso desta ferramenta poderosa para todos os utilizadores.

Entre as ferramentas disponíveis neste visualizador, destacam-se:

- Ferramentas de Consulta, Seleção e Medição: Projetadas para serem fáceis de usar, estas ferramentas permitem que os utilizadores realizem pesquisas detalhadas, selecionem elementos específicos para análise mais aprofundada e meçam distâncias e áreas com precisão;
- Ferramenta de Corte: Uma função particularmente útil que possibilita aos utilizadores cortar através dos modelos para examinar secções específicas das infraestruturas, revelando as complexidades ocultas do planeamento urbano de Lisboa;
- Explorador de Edifícios: Uma ferramenta exclusiva que se concentra nas camadas de informação derivadas do BIM, permitindo a exploração detalhada dos edifícios e estruturas, tanto na superfície quanto no subsolo.

Este conjunto de ferramentas enriquece não só a capacidade dos utilizadores de compreender e interagir com o ambiente construído e as infraestruturas de Lisboa, mas também destaca a dedicação da CML em fornecer soluções inovadoras e eficientes para a gestão e planeamento urbanos.

A integração BIM-SIG na CML revela-se crucial não apenas na melhoria da gestão de dados urbanos, mas também como uma ferramenta de prevenção de conflitos infraestruturais. Uma análise espacial neste sistema permitiu, por exemplo, detetar uma colisão que passara despercebida, entre a projeção de um novo coletor na Avenida Infante D. Henrique e uma conduta existente da EPAL de 800 mm de diâmetro. Este acontecimento sublinha a capacidade do sistema integrado em identificar e resolver questões críticas antes da execução das obras, melhorando significativamente a coordenação e o planeamento urbano.

A descoberta desta interseção crítica evidencia como a melhoria na visualização das redes subterrâneas, um dos marcos da integração BIM-SIG, oferece uma compreensão mais aprofundada das infraestruturas de Lisboa, promovendo decisões de planeamento mais informadas. Além disso, o refinamento do cadastro e a capacidade de realizar simulações espaciais para alocar novas infraestruturas garantem um desenvolvimento mais sustentável e harmonioso para a cidade.

A jornada para a integração BIM-SIG transcendeu a colaboração técnica, cultivando uma verdadeira cooperação interdepartamental dentro da CML. Este processo uniu diferentes departamentos em torno de um objetivo comum, fomentando uma partilha de conhecimento e experiências que se reflete em todas as facetas do projeto.

Esta cooperação alimentou uma visão holística da gestão urbana, onde a integração dos dados BIM com o SIG fornece uma visão completa e integrada da cidade. O resultado é uma ferramenta interoperável que não só facilita a integração de Informação Geográfica de diversas fontes, mas também promove soluções inovadoras que beneficiam a cidade como um todo.

Figura 8
Integração dos modelos de Sta. Apolónia no SIG.



6. Conclusões

A implementação da metodologia BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa tem sido um marco no avanço da gestão de infraestruturas urbanas, destacando-se em várias áreas-chave. A modelação BIM, com suas inovações e automatismos personalizados, tem desempenhado um papel crucial na representação precisa da complexidade do projeto. A integração temporal do planeamento 4D, através da plataforma Mota-Engil BIM *Viewer*, aprimorou significativamente a compreensão e gestão do projeto, melhorando a comunicação e coordenação entre as equipas. Além disso, a integração pioneira dos modelos BIM com os sistemas SIG da Câmara Municipal de Lisboa representou um avanço significativo, oferecendo uma visão holística e integrada da cidade. Esta abordagem inovadora otimiza, não apenas, a fase de projeto e construção, mas também prepara o terreno para uma gestão eficiente a longo prazo da infraestrutura. Ao solidificar o papel de Lisboa como uma cidade inteligente, resiliente e sustentável, o PGDL estabelece um modelo exemplar para futuros projetos urbanos.

Entre as principais dificuldades nestes desenvolvimentos, podemos elencar a aprendizagem de várias linguagens de programação, que foi parcialmente colmatada pelas equipas internas de desenvolvimento, com apoio pontual das empresas que desenvolvem os software BIM e SIG, a Autodesk e a Esri. Os custos de desenvolvimento são amortizados relativamente rápido, devido à dimensão do projeto e à transversalidade das soluções, que podem ser aplicadas noutros projetos, com poucas adaptações.

7. Referências

- [1] Autodesk Platform Services. <https://aps.autodesk.com/>. Consultado em 2024/02.15.
- [2] Matos, J. S., Monteiro, A., Santos, A., Ferreira, F., Guimarães, J., Leboeuf, Y., Gama, C. (Julho de 2019). OBRAS DE DESVIO, INTERCEÇÃO E DE DESCARGA DOS TÚNEIS DE MONSANTO – STA. APOLÓNIA E DE CHELAS-BEATO.