

Abordagem *BIM* ao projeto linha circular do Metro de Lisboa – Lote 2: Escavação *Cut&Cover* e obras especiais

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.42>

Carlos de Oliveira Martins¹, Joana Silva¹,
Pedro Marques¹, André Henriques¹, Rui Tomásio¹

¹ *JETSj Geotecnia, Lisboa, ID: 1090*

Resumo

O Lote 2 do Prolongamento das Linhas Amarela e Verde do Metropolitano de Lisboa (ML) tem início na Estação Santos e apresenta um traçado que se desenvolve para sul, atravessando a Av. D. Carlos I, Rua da Esperança, Calçada do Marques de Abrantes, Rua D. Luís I e Av. 24 de Julho, até à Estação Cais do Sodré, onde termina. Permite assim ligar a atual Linha Amarela à Linha Verde, materializando, em conjunto com as Empreitada dos Lotes 1, 3 e 4, a nova Linha Circular do ML.

O presente artigo introduz a utilização e o procedimento de aplicação da metodologia *BIM* a várias obras constituintes deste novo traçado, necessárias para materialização da Linha Circular. Entre estas, destacam-se as diversas trincheiras *Cut&Cover*, a estrutura definitiva do túnel e ainda o reforço e reçalçamento de edifícios sensíveis na zona envolvente à escavação. As soluções desenvolvidas tiveram por base os diversos condicionamentos locais, característicos de uma zona fortemente urbanizada, especialmente, a existência próxima de edifícios, de diversas infraestruturas no subsolo, para além de todas as vias de comunicação que o traçado atravessa, incluindo arruamentos, faixas rodoviárias e linhas de elétrico e ferroviárias.

Neste enquadramento, foram desenvolvidos vários modelos geométricos em REVIT, os quais permitiram uma melhor visualização e interpretação do planeamento das fases de construção entre obras, e em cada uma destas, bem como maximizar a compatibilização entre as diversas estruturas e infraestruturas pré-existentes. Destacam-se ainda as vantagens do recurso a esta ferramenta em vários processos relevantes em projetos desta dimensão, como a otimização do processo de estimativa de

quantidades, a possibilidade de trabalho colaborativo e a partilha de informação mais fluida entre as diversas entidades envolvidas.

A experiência neste projeto permitiu-nos concluir que a integração de software especializado num ambiente colaborativo único pode ter diversas vantagens que conduzem preferencialmente a um melhor resultado de projeto e construção.

1. Introdução

O Prolongamento das Linhas Amarela e Verde do Metropolitano de Lisboa permitirá ligar a atual Linha Amarela (Estação do Rato) à Linha Verde (Estação do Cais do Sodré), materializando, no conjunto das empreitadas dos Lotes 1, 2, 3 e 4, a nova Linha Circular do ML, a qual contará com uma nova estação na Estrela e outra em Santos.



Figura 1
Prolongamento das Linhas Amarela e Verde do Metropolitano de Lisboa.

O presente artigo tem como foco aplicação do *BIM* às obras de escavação *Cut&Cover* no âmbito do Lote 2, o qual tem início na nova Estação Santos e apresenta um traçado que se desenvolve para sul, atravessando a Av. D. Carlos I, Rua da Esperança, Calçada do Marques de Abrantes, Rua D. Luís I e Av. 24 de Julho, até à Estação Cais do Sodré, onde termina.



Figura 2
Obras constituintes do Lote 2 do Projeto da Linha Circular do Metro de Lisboa.

Na Figura 2 apresenta-se o traçado do Túnel do Lote 2, o qual atravessa uma zona fortemente urbanizada e histórica da cidade de Lisboa sendo, em grande parte da sua extensão, construído com recurso à metodologia *Cut&Cover*. Neste enquadramento, as soluções desenvolvidas e o faseamento da obra, o qual se apresenta dividido em quatro trincheiras, tiveram por base os condicionamentos locais, nomeadamente, a existência próxima de edifícios, de diversas infraestruturas no subsolo e de todas as

vias de comunicação que o traçado atravessa, incluindo arruamentos, faixas rodoviárias e linhas de elétrico e ferroviárias.

O desenvolvimento deste projeto com recurso ao *BIM* não foi um requisito imposto pelo dono de obra nem tão pouco pelo cliente (empreiteiro). Contudo, este projeto coincidiu com os primeiros passos da implementação da metodologia *BIM* na atividade da empresa que, embora se encontrasse numa fase embrionária, decidiu arriscar e proceder à sua aplicação, a qual incidiu unicamente na modelação geométrica e faseamento construtivo das estruturas *Cut&Cover*.

2. Descrição das soluções estruturais e geotécnicas

No geral, as soluções propostas consistem na execução de uma estrutura de contenção provisória entivada interiormente a vários níveis por meio de sistemas de escoramentos. Posteriormente, a execução da referida estrutura será compatibilizada com a desativação dos escoramentos e a reposição das cotas atuais será feita à custa de um aterro sobre a laje de cobertura do túnel. Como as condições geológico-geotécnicas mudam ao longo do traçado, são usadas diferentes soluções para a estrutura de contenção.

2.1. Túnel *Cut&Cover* PK 1+484.5 a PK 1+569.2

O tipo de estrutura de contenção adotada neste trecho é materializado por estacas moldadas em betão armado com revestimento em betão projetado e em conjunto com estacas plásticas secantes onde a escavação interseta materiais menos competentes. Na sua generalidade, a cortina é travada interiormente por escoras metálicas de reação e a vigas de distribuição de betão armado e/ou longarinas metálicas, exceto na zona de transição entre a solução de NATM e a escavação a céu aberto, onde serão utilizadas ancoragens provisórias.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste troço:

- Interseção, a Norte, com Túnel NATM, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado;
- Atravessamento da Av. Dom Carlos I, o que conduziu à necessidade de compatibilização com os serviços afetados, nomeadamente do Coletor Nova II;
- Interseção, a Sul, com Obra especial 3, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado.

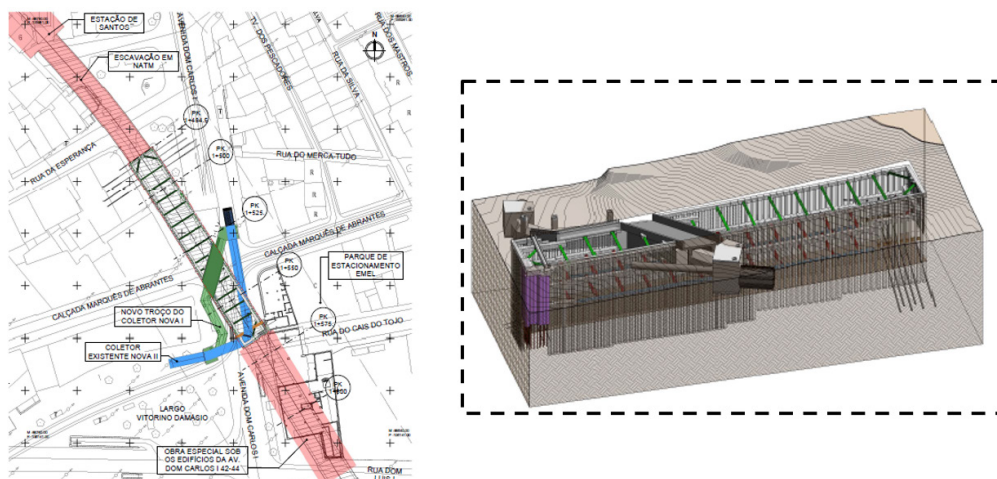


Figura 3
Solução do Túnel
Cut&Cover entre o PK
1+484.5 e o PK 1+569.2.

2.2. Túnel *Cut&Cover* PK 1+569.2 a PK1+627 e Obra especial 3

A solução proposta neste trecho consiste na execução de um sistema de recalçamento dos pilares e muros de encabeçamento de estacas dos edifícios existentes n.º 42 e n.º 44, localizados sobre o túnel, que permita a preservação da funcionalidade da estrutura, em simultâneo com a execução e utilização do futuro túnel. Após materialização do sistema de recalçamento, com recurso a uma laje de recalçamento apoiada lateralmente em duas cortinas de colunas de jet grouting, reforçadas com perfis metálicos, serão realizados os trabalhos de escavação, ao abrigo da mesma cortina de contenção, reforçada com uma terceira fiada de colunas de jet grouting, igualmente armada com perfis metálicos, para execução da estrutura definitiva do túnel.

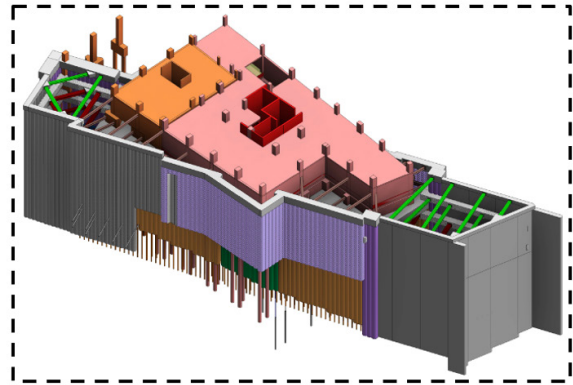
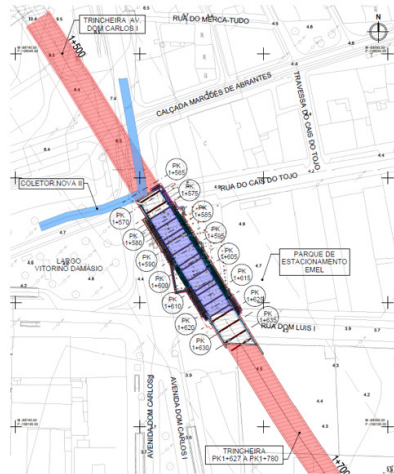
Todos os trabalhos serão executados ao abrigo de cortina tripla de colunas de jet-grouting secantes que irão conter os terrenos e impedir a entrada de água nas zonas a escavar.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste troço:

- Interseção, a Norte e a Sul, com as trincheiras *Cut&Cover*, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado;
- Complexidade e variabilidade da solução, nomeadamente no tipo de colunas de *jet-grouting*;
- Compatibilização com o recalçamento dos edifícios n.º 42 e n.º 44 com recurso a laje de betão armado que apoia sobre a cortina de contenção.

Figura 4

Solução do Túnel
Cut&Cover entre o PK
1+569.2 e o PK1+627.



2.3. Túnel *Cut&Cover* PK1+627 a PK 1+725

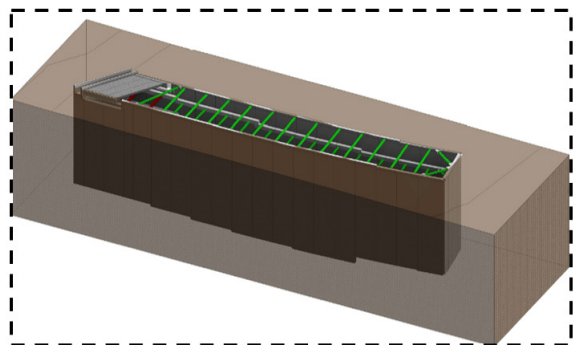
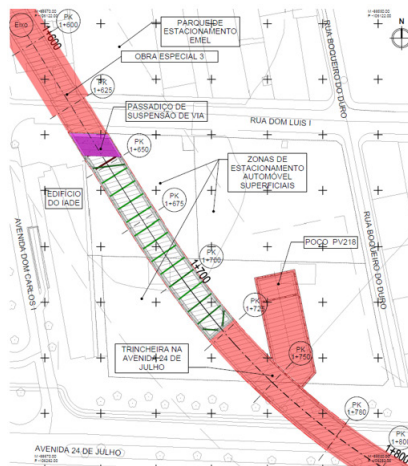
Neste trecho a presença de solos menos competentes e a necessidade de garantir uma melhor estanqueidade motivou a prescrição de uma solução de contenção por painéis de parede moldada. A espessura dos mesmos foi condicionada às formações geológicas atravessadas, sendo que neste trecho se confirmou como adequada a utilização de uma espessura de 600mm.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste trecho:

- Interseção, a Norte, com Obra especial 3, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado.
- Compatibilização da solução e do faseamento para a execução prévia de um poço de prospeção inicial, com o propósito de realizar escavações arqueológicas preliminares;
- Instalação de um viaduto rodoviário suspenso sobre a Trincheira, o que motivou a compatibilização de soluções.

Figura 5

Solução do Túnel
Cut&Cover entre o
PK1+627 e o PK 1+725.



2.4. Túnel *Cut&Cover* PK1+725 A PK 1+900 e Obra especial 7

De forma semelhante ao trecho anterior foi adotada uma solução de contenção por painéis de parede moldada. Contudo, a presença de uma espessura muito elevada de aluviões argilosos de muito fraca consistência motivou o recurso a uma espessura de 800mm.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste troço:

- Interseção, a Sul, com Obra especial 7, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado;
- Atravessamento da Av. 24 de Julho, o que conduziu à necessidade de compatibilização com os serviços afetados, dando-se relevância à suspensão de cauleiras e coletores sobre a Trincheira, e à necessidade de realização da mesma em três fases distintas as quais permitiram a circulação parcial do trânsito rodoviário e a circulação sem limitações das linhas de elétrico e ferroviárias durante a obra.

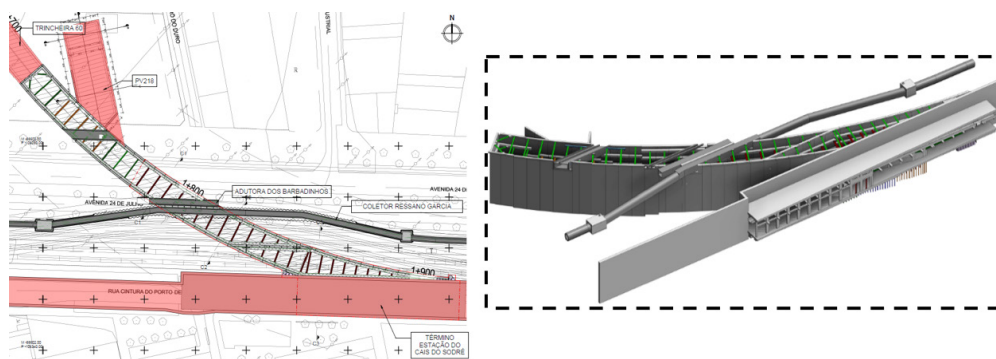


Figura 6
Solução do Túnel
Cut&Cover entre o
PK1+725 e o PK 1+900.

3. Aplicação *BIM* e modelos desenvolvidos

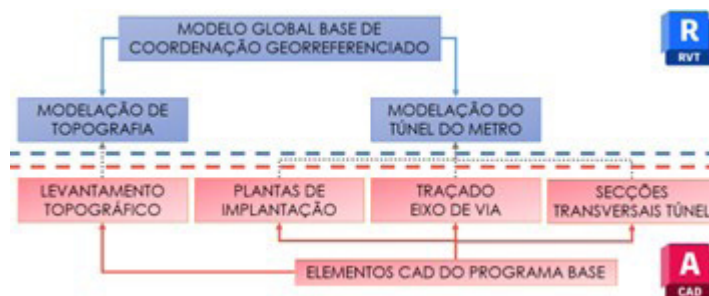
Na secção anterior fez-se uma breve descrição das várias soluções *Cut&Cover*, introduzindo-se os principais desafios associados à complexidade de uma obra como a presente. Pelo exposto, entendeu-se que a adoção de metodologia *BIM*, embora não sendo um requisito do projeto imposto pelo dono de obra, seria uma mais-valia no desenvolvimento do mesmo, seja do ponto de vista do projeto, bem como da gestão e coordenação do mesmo.

3.1. Modelo global base de coordenação

Como ponto de partida foi elaborado um modelo global base de coordenação, o qual teve por princípio a modelação de elementos comuns aos vários modelos a construir posteriormente, bem como servir de base de georreferenciação aos mesmos. Conforme referido, a modelação *BIM* não era um requisito do projeto, pelo que todos os elementos de base fornecidos pelo cliente se encontravam em formato *CAD*.

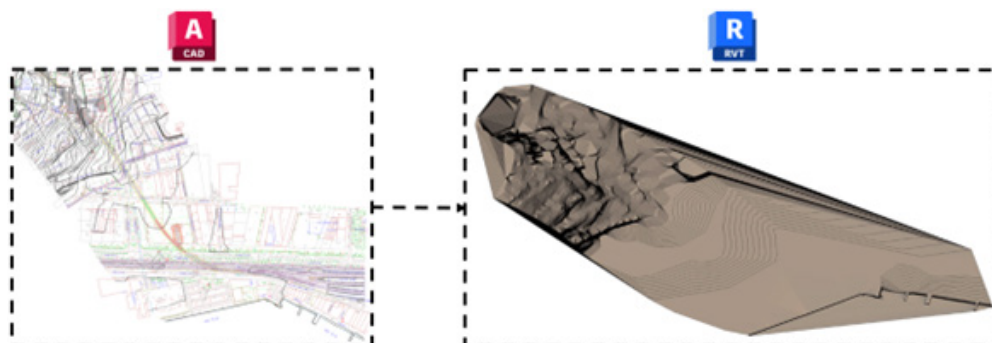
Entendeu-se que a topografia da zona a intervir e o traçado do túnel do metro seriam os elementos principais a constar no modelo global de base, apresentando-se de seguida a metodologia de modelação dos mesmos no *Revit*.

Figura 7
Metodologia de construção do modelo *Revit* global a partir dos elementos *CAD*.



Relativamente às operações de georreferenciação do modelo e à modelação da topografia refere-se que as mesmas tiveram por base a planta do levantamento topográfico georreferenciada disponibilizada em formato *CAD*. Em primeira fase, procedeu-se à georreferenciação do modelo através do vínculo da planta *CAD* no modelo *Revit*, seguida da operação *Acquire Coordinates*. Quanto à topografia, refere-se que foi gerada uma *Toposurface*, a qual teve por base a altimetria presente na planta *CAD*, tendo-se posteriormente realizado uma análise da coerência das curvas geradas e eventual tratamento de pontos díspares.

Figura 8
Modelação topografia no *Revit* a partir da planta de levantamento topográfico *CAD*.



Relativamente à modelação do túnel, o ponto de partida foi a *3D polyline* presente no ficheiro *CAD* de traçado do eixo de via, através do qual se procedeu à extração de um ficheiro texto contendo as coordenadas xyz para cada trecho com secção transversal distinta. De seguida, recorreu-se ao *plugin Dynamo* para converter o ficheiro de pontos numa curva de pontos, materializada por um *Divided Path*, devidamente georreferenciada no modelo *Revit* à qual, posteriormente, se atribuiu a cada ponto a secção transversal respetiva de cada trecho, obtendo-se o desenvolvimento longitudinal do túnel.

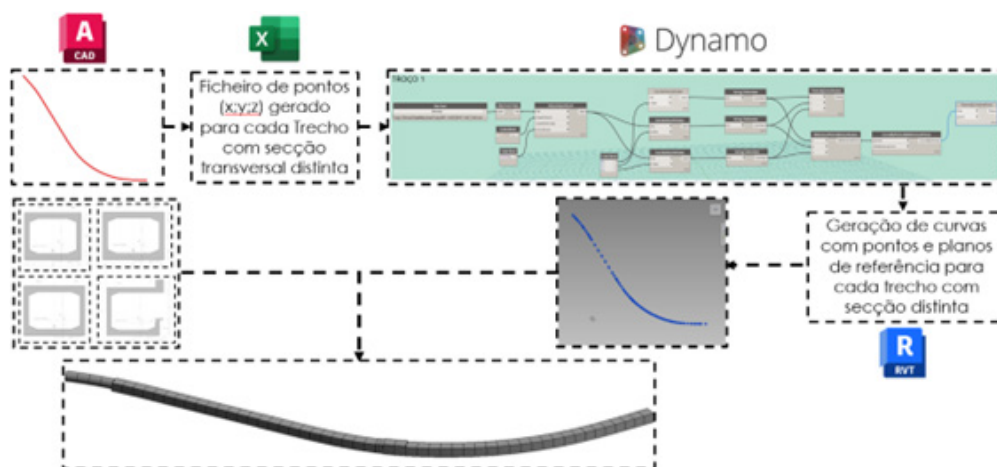


Figura 9
Procedimento de modelação do túnel do metro no *Revit*.

Na Figura 10 apresenta-se uma perspectiva tridimensional do modelo global de base, no qual se vislumbra a modelação da topografia e do túnel definitivo do metro.

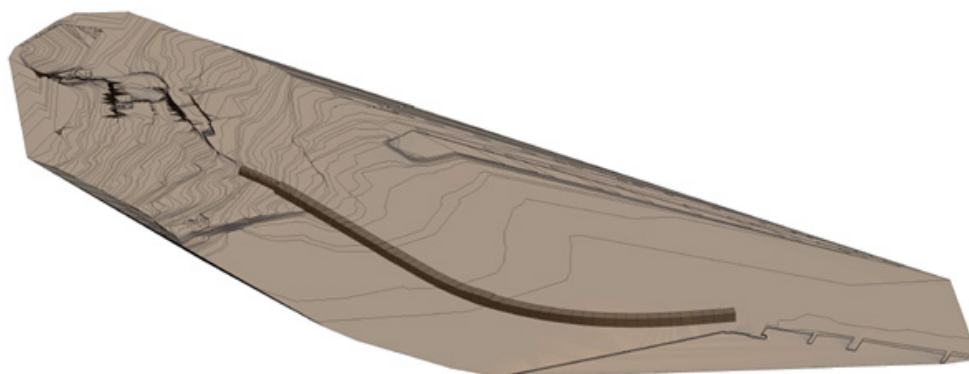


Figura 10
Perspetiva tridimensional do modelo global base de coordenação.

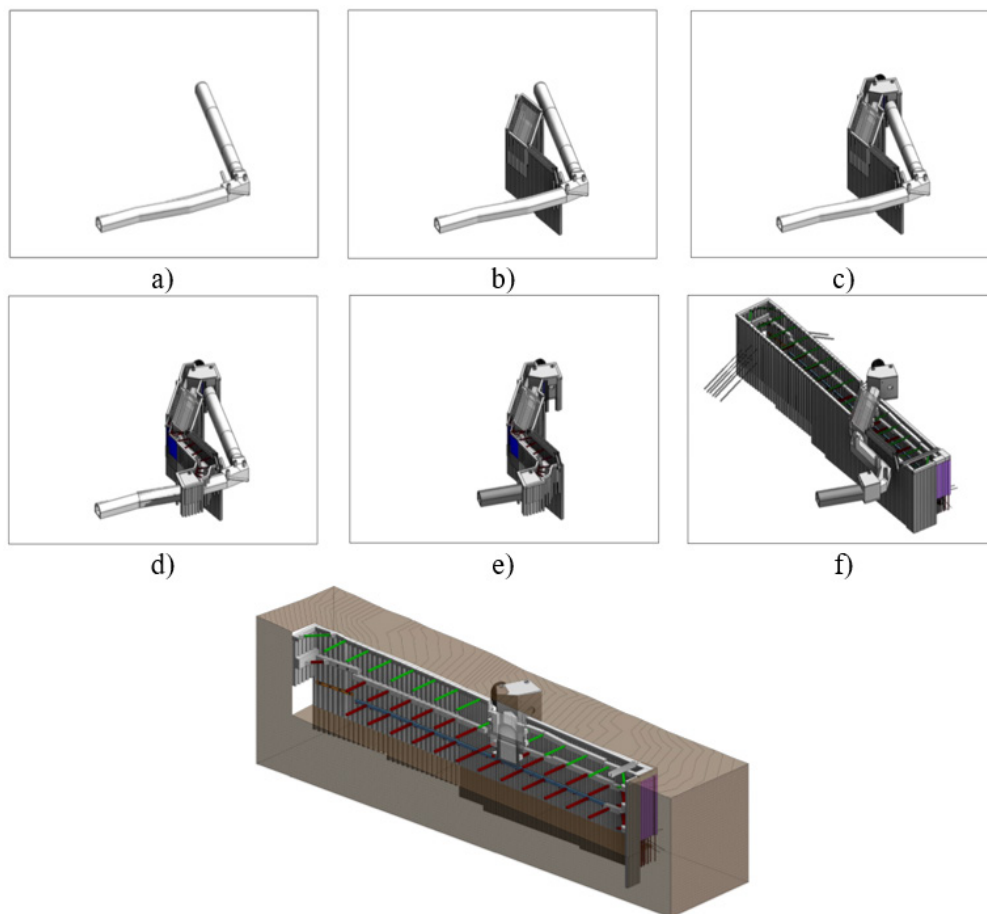
3.2. Túnel *Cut&Cover* PK1+484.5 A PK 1+569.2

Para tornar o projeto mais completo, ajudar a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes do modelo e extrair de uma forma mais simples as quantidades de materiais dos diversos elementos constituintes da solução, nomeadamente a cofragem, o betão e os volumes de escavação foram criadas as fases construtivas da obra seguintes:

1. Coletor Nova I existente (Figura 11a);
2. Execução da fase 1 de desvio do Coletor Nova II (Figura 11b);
3. Execução da fase 2 de desvio do Coletor Nova II (Figura 11c);
4. Execução da fase 3 de desvio do Coletor Nova II (Figura 11d);
5. Desativação do Coletor Nova II existente (Figura 11e);
6. Execução da Túnel *Cut&Cover* com suspensão do Coletor Nova II (Figura 11f);

Figura 11

Fases para a execução do Túnel *Cut&Cover* entre o PK 1+484.5 e o PK 1+569.2.



3.4. Túnel *Cut&Cover* PK1+627 A PK 1+725

De forma semelhante ao referido para o anterior modelo, por forma a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes do modelo e apoiar na extração de quantidades, foram criadas diversas fases representativas da obra. Assim, foram definidas as seguintes fases:

1. Execução do poço de prospeção arqueológico inicial (Figura 12a)
2. Execução do viaduto rodoviário suspenso sobre o poço de prospeção (Figura 12b)
3. Execução da Túnel *Cut&Cover* devidamente compatibilizado com o poço arqueológico e com o viaduto rodoviário suspenso (Figura 12c)

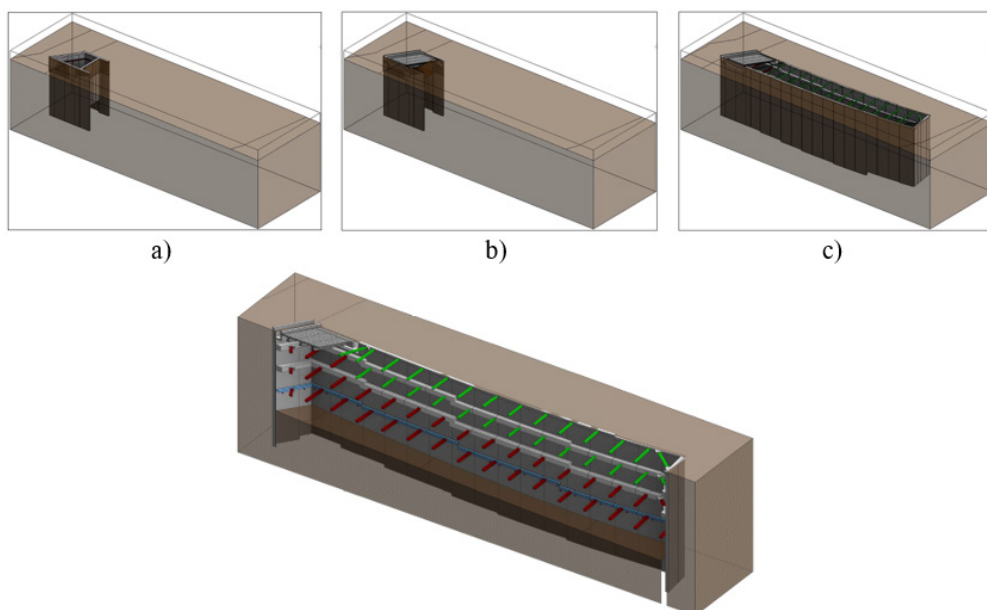


Figura 12
Fases para a execução
do Túnel *Cut&Cover*
entre o PK1+627 e o PK
1+725.

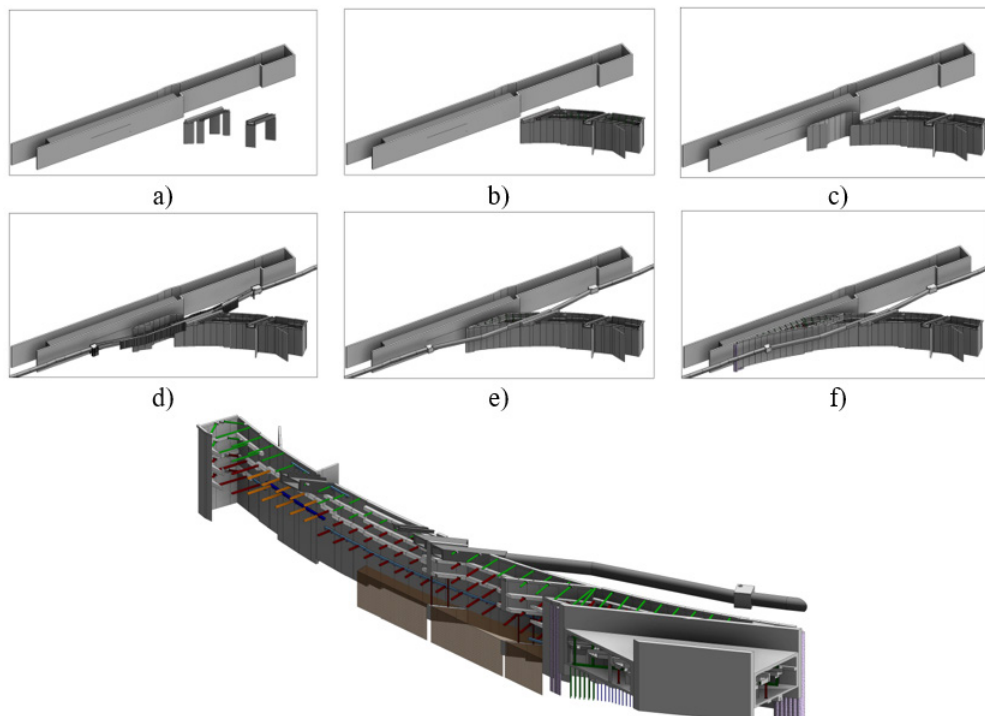
3.5. Túnel *Cut&Cover* PK1+725 A PK 1+900

De forma semelhante ao referido para os anteriores modelos, por forma a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes do modelo e apoia na extração de quantidades, foram criadas diversas fases representativas da obra. Assim, foram definidas as seguintes fases:

1. Desvio de coletores e caleiras suspensos sobre a Trincheira (Figura 13a);
2. Execução do 1.º troço do Túnel *Cut&Cover* no início da Av. 24 de Julho (Figura 13b);
3. Execução de paredes moldada intermédios a meio da Av.24 de Julho (Figura 13c);
4. Execução de contenções para desvio do coletor Ressano Garcia (Figura 13d);
5. Execução do 2.º troço do Túnel *Cut&Cover* a meio da Av. 24 de Julho (Figura 13e);
6. Execução do 3.º troço do Túnel *Cut&Cover* no fim da Av. 24 de Julho (Figura 13f);

Figura 13

Fases para a execução do Túnel *Cut&Cover* entre o PK1+725 e o PK 1+900.



4. Considerações finais

Conforme se expôs ao longo do presente artigo, entendeu-se que a adoção de metodologia *BIM* ao projeto do Lote 2 da Linha Circular do Metro de Lisboa, embora não sendo um requisito do projeto, seria uma mais-valia no desenvolvimento do mesmo, seja do ponto de vista do projeto, bem como da gestão e coordenação do mesmo.

Do ponto de vista do projeto, os modelos foram elaborados por forma a serem representativos de cada fase da obra, permitindo uma representação mais dinâmica e fluida dos diversos condicionamentos associados à execução da obra, entre eles: as estruturas envolventes existentes a preservar e os diversos serviços afetados. Os modelos permitiram igualmente um procedimento de compatibilização entre as várias soluções e os diversos faseamentos construtivos, bem como a representação das fases de obra correspondentes a cada trincheira. Por fim, com recurso aos modelos elaborados, foi possível proceder à extração de quantidades de materiais de forma mais automatizada.

Por outro lado, do ponto de vista da gestão e coordenação do projeto, a metodologia *BIM* permitiu uma otimização de processos e um aumento da produtividade das equipas, seja no desenvolvimento, no procedimento de revisões e/ou na necessidade de alterações e adaptações das soluções, e ainda na possibilidade da exploração do trabalho colaborativo. Por fim, o recurso a modelos permitiu uma apresentação tridimensional das soluções às entidades envolvidas (ML, revisor, empreiteiro, fiscalização), a qual, por vezes, possibilita a interpretação mais imediata de assuntos, facilitando deste modo o *workflow* entre as diversas equipas.

Apresenta-se, por fim na Figura 14, o culminar de todos os modelos elaborados num único modelo coordenado.

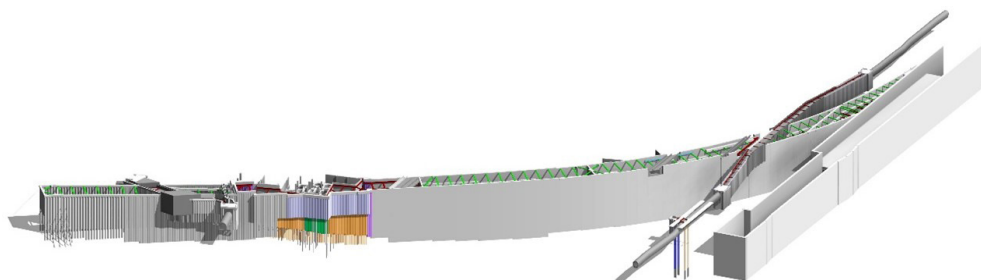


Figura 14
Perspetiva tridimensional do modelo coordenado dos vários trechos *Cut&Cover*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Metropolitano de Lisboa a autorização para a apresentação deste trabalho.