

METROPOLITANO LIGEIRO DO MONDEGO

PROLONGAMENTO DO TÚNEL
ENTRE O JARDIM DA SEREIA
E CELAS ATÉ AO PÓLO III



ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL
VOLUME III - ANEXOS

JANEIRO 2005



METROPOLITANO LIGEIRO DO MONDEGO

PROLONGAMENTO DO TÚNEL ENTRE O JARDIM DA SEREIA E
CELAS ATÉ AO PÓLO III

ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

ÍNDICE GERAL

Volume I – **Resumo Não Técnico**

Volume II – **Relatório Síntese**

Volume III – **Anexos**

Lisboa, Janeiro de 2005

Visto,

Eng. Rui Coelho
Chefe de Projecto

Dra. Fátima Teixeira
Coordenação



METROPOLITANO LIGEIRO DO MONDEGO

PROLONGAMENTO DO TÚNEL ENTRE O JARDIM DA SEREIA E
CELAS ATÉ AO PÓLO III

ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I – Memória Descritiva do Projecto

Anexo II – Traçado em Planta e em Perfil Longitudinal

Anexo III – Faseamento Construtivo do Projecto em Estudo

Anexo IV – Estudo Geológico e Geotécnico

Anexo V – Estudo das Galerias Subterrâneas

Anexo V.1 – Prospeção Geofísica por Georadar

Anexo V.2 – Levantamento Altimétrico

Anexo VI – Plano de Pormenor do Pólo III

Anexo VII – Património

Anexo VII.1 – Fotografia área de Coimbra com implantação do percurso urbano do MLM, nomeadamente a área do prolongamento do traçado em túnel, e dos sítios arqueológicos directa ou indirectamente influenciados

Anexo VII.2 – Fichas de Sítios

Anexo VII.3 – Relatório da Leitura Pedosedimentológica de 3 carotes de sondagem geológica ao longo da Linha do Hospital

Anexo VIII – Análise de Riscos

Anexo I

Memória Descritiva do Projecto

Metro Mondego S.A.

**Prestação de Serviços para o estudo da extensão em túnel
do troço Celas - Pólo III da Universidade**

FASE 2B

Relatório técnico sobre o método de construção do troço em túnel

ESTUDO DE VIABILIDADE

	Nome	Assinatura	Data
Emitido por	Eng. ^a Elena Chiriotti		29/12/2004
Verificado por	Eng. ^o Giampiero Carrieri		29/12/2004
Aprovado por	Eng. ^o Piergiorgio Grasso		29/12/2004

Registo de revisões:

Índice	Emitido por	Data	Motivo da revisão
00		16/12/2004	Emissão
01		28/12/2004	Revisão a pedido do Cliente
02		29/12/2004	Errata - Corrige


Geoengineering Consultants

C.so Duca degli Abruzzi 48/E, 10129 Torino – ITALY
Edifício Cristal Park, Rua Dom Manuel II, 51/C, 1º esq., 4050-201 Porto - PORTUGAL

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do trecho Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
-------------------	---	----------------

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	CONTEÚDOS.....	1
3.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	1
4.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO TÚNEL E DAS ESTAÇÕES.....	3
5.	INDIVIDUALIZAÇÃO DOS VÍNCULOS.....	5
5.1	Geológico-geotécnicos	5
5.2	Edifícios	5
5.3	Árvores	5
5.4	Minas	5
5.5	Redes	6
5.6	Condicionamentos rodoviários	6
6.	LEVANTAMENTO E INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTÍGUAS OU VIZINHAS DO TÚNEL.....	7
7.	TRABALHOS PRELIMINARES	8
7.1	Eliminação da pavimentação e decapagem	8
7.2	Desvio de trânsito	8
7.3	Desvio de redes	8
8.	ESTALEIROS.....	14
8.1	Espaços necessários.....	14
8.2	Proposta de localização.....	14
8.3	Implantação.....	14
9.	MÉTODOS DE COSTRUÇÃO.....	18
9.1	Túnel mineiro	19
9.1.1	As fases de realização.....	19
9.1.2	Escavação.....	19
9.1.3	Cartografia geológica e sondagens exploratórias	21
9.1.4	Suportes iniciais	21
9.1.5	Drenagem e impermeabilização.....	24
9.1.6	Revestimento definitivo.....	24
9.2	Túnel a céu aberto	25
9.2.1	As fases de construção	25
9.3	Estações enterradas	26
9.3.1	Paredes moldadas	27
9.3.2	Laje de cobertura	27
9.3.3	As fases de realização.....	28
10.	FASEAMENTO CONSTRUTIVO.....	30

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
--------------------------	---	-----------------------

11.	VOLUMES ESCAVADOS.....	33
12.	REPOSIÇÕES.....	34
13.	ESTIMATIVA DO TEMPO PREVISTO DE OBRA.....	35
14.	ESTIMATIVA DE CUSTOS das obras civis.....	36

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório visa a elaborar a Memória Descritiva do Túnel entre as Estações de Sereia e Polo III, finalizada a proporcionar todos os elementos necessário para integrar o Estudo de Impacte Ambiental do Túnel, abrangendo, conforme pedido do Metro Mondego S.A. as características principais do tunel, os métodos construtivos a utilizar para o tunel e as estações, o volume de terras a escavar, o faseamento da obra e o planeamento da construção, indicação os estaleiros necessários, os possíveis locais de implantação e o tempo previsto de obra.

No troço considerado, nomeadamente entre as Estações de Celas e Polo III da Universidade, foi recentemente desenvolvido o Estudo de Viabilidade

O conteúdo da presente Memória Descritiva diz respeito à **Solução S4** individualizada no “*Estudo de Viabilidade da Extensão em Túnel do Troço Celas - Pólo III da Universidade*” (ref. R2344_02) e escolhida, pelo Metro Mondego S.A., como sendo a mais favorável.

2. CONTEÚDOS

Os aspectos tratados no presente relatório incluem:

- individualização dos vínculos
- trabalhos preliminares (desvios de rede, deslocação das árvores, desvio de trânsito, etc.)
- definição dos espaços necessários (número de estaleiros) e proposta de localização das áreas dos estaleiros
- implantação e preparação dos estaleiros fixos e móveis
- descrição dos métodos de construção das trincheiras, do túnel cut&cover e das estações enterradas
- faseamento construtivo
- volumes escavados e transporte dos escombros ao vazadouro
- reposições
- estimativa do tempo previsto de obra

A maior parte dos pontos acima referidos terão um grau de detalhe compatível com o estado de desenvolvimento do projecto da Extensão em Túnel do Troço Celas - Pólo III da Universidade (Estudo de Viabilidade), sendo no entretanto alguns elementos desenvolvidos com maior detalhe, nomeadamente os métodos de construção.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizados os seguintes documentos de referência:

RELATÓRIOS				
#	Autor	Título	Código	Data
1	COBA	Anteprojecto. Fase III. Estudos técnicos. Vol 1 – Traçado de conjunto. Tomo 1 – Memória. Relatório final.	---	03-'01
2	GEODATA	Estudo de Viabilidade da extensão em túnel do troço Celas - Pólo III da Universidade	R2344.02_0	08-'04
3	GEODATA	Metro Ligeiro do Mondego. Linha do Hospital. Extensão do troço em túnel até a Paragem do Polo III. Planta geral e secções tipo entre pk 2+250.00 e pk 3+480.86. Soluções 3 e 4.	S2344.02_0	08-'04

4	GEODATA	Metro Ligeiro do Mondego. Linha do Hospital. Extensão do troço em túnel até a Paragem do Polo III. Traçado em planta e em perfil do trecho em túnel (pk 2+250.00 – pk 3+480.86). Solução 4.	S2344.06_0	08-'04
5	GEODATA	Metro Ligeiro do Mondego. Linha do Hospital. Extensão do troço em túnel até a Paragem do Polo III. Esquema estação Tipo 1 com dois cais laterais.	S2344.07_0	08-'04
6	GEODATA	Metro Ligeiro do Mondego. Linha do Hospital. Extensão do troço em túnel até a Paragem do Polo III. Esquema estação Tipo 2 com cais central em ilha.	S2344.08_0	08-'04

As seguintes informações adicionais foram fornecidas pelo Metro Mondego para permitir o desenvolvimento do referido estudo e a preparação da relativa memória descritiva:

- Indicação das macro-fases dos trabalhos (Figura 1);
- possível localização das áreas dos estaleiros (Figura 2)
- desvio de trânsito trânsito nas ruas afectadas e indicação dos percursos alternativos (Figura 3);
- vínculos em termos de conservação das árvores ao longo da Rua Augusto Rocha;
- extractos das plantas cadastrais das infraestruras enterradas (águas e esgotos) em parte da área em análise.

Não há informações relativas à possível localização dos vazadouros.

4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO TÚNEL E DAS ESTAÇÕES

O troço em túnel do Metro Ligeiro do Mondego, após prolongamento na zona Celas-Polo III da Universidade, conforme Solução S4 do Estudo de Viabilidade da Extensão em Túnel (doc. ref. n. 2, 3 e 4) é caracterizado por uma extensão de cerca de 1.1km, assim constituídos:

km início	km fim	Obra	Tipo	Comprimento
2+340	2+780	Túnel Sereia-Celas	Túnel mineiro	440m
2+780	2+830	Paragem Celas	Paragem enterrada com com contenções em paredes moldadas e dois cais laterais	50m
2+830	3+176	Túnel Celas-Hospital	Túnel a céu aberto tipo box-couvert e contenções em microestacas e lajes de betão	346m
3+176	3+326	Paragem Hospital	Paragem enterrada com com contenções em paredes moldadas e dois cais laterais (ou cais central em ilha)	50m
3+226	3+290	Túnel Hospital Polo III	Túnel a céu aberto tipo box-couvert e contenções em microestacas e lajes de betão	64m
3+290	3+400	Túnel Hospital Polo III	Túnel a céu aberto tipo box-couvert e escavação e suporte do embancamento a meia encosta.	110m

As Paragens de Sereia e Polo III são superficiais.

No troço a céu aberto, entre Celas e Polo III da Universidade o túnel será constituído por uma secção em betão armado em quadro fechado rectangular com 36 m² (8.0 x 4.5) de área útil. A secção transversal em túnel é a que foi indicada no Anteprojecto (doc. ref. n.1), ou seja uma secção capaz de *“...conter a plataforma ferroviária a qual, nesta zona, comporta duas vias, totalizando cerca de 6,8 m de largura. Adicionalmente, para visita e inspecção da galeria, adoptaram-se dois passadiços de serviço ... Deste modo a largura livre total de secção será de 8 m. Em altura a secção permitirá acomodar o gabarito vertical de 4.0 m acima da cabeça do carril. Para instalação da via a secção comporta ainda uma altura 0,50 m útil. Resulta assim uma altura livre entre a face superior de laje de fundo e a face inferior do tecto da galeria de 4,50 m, prevendo-se que o fio da catenária seja directamente fixo ao tecto da própria galeria”*.

Os passadiços laterais, com 0,60 m de largura, permitirão também acomodar os elementos de drenagem longitudinal do túnel.

No troço entre Sereia e Celas, em túnel mineiro, a secção adaptar-se-á ao gabarito mínimo definido na secção a céu aberto (ver doc.ref. n.3).

A via ficará assente sobre a laje de fundo e será colocada mediante sistema a pormenorizar posteriormente.

Dois possíveis tipos de paragens subterrâneas foram definidos no estudo de viabilidade (doc. ref. n.2):

- paragem subterrânea com dois cais laterais (Tipo 1);
- paragem subterrânea com cais central em ilha (Tipo 2).

Os dois esquemas encontram-se detalhados nos documentos de referência n.5 e 6. Na definição dos esquemas, que deverão ser objecto de um estudo mais detalhado nas fases sucessivas de desenvolvimento do projecto do metro, têm sido respeitados os parâmetros utilizados no

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 4 de 37

Anteprojecto, nomeadamente comprimento dos cais de 35m e largura dos cais de 2.5m. Os cais são equipados com escadas, escadas rolantes e elevadores.

Conforme Anteprojecto, os abrigos serão constituídos por uma estrutura de perfis metálicos e cobertura de elementos tubulares revestidos a chapa de alumínio termolacada. Os paramentos verticais são de vidro temperado de 8 mm, transparente. A solução encontrada, de extrema leveza e simplicidade, tem como objectivo permitir a perfeita integração em qualquer situação em que seja utilizado, em especial nos espaços urbanos.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02 Página 5 de 37
-------------------	--	----------------------------------

5. INDIVIDUALIZAÇÃO DOS VÍNCULOS

5.1 Geológico-geotécnicos

Conforme referido no documento de referência n.1, relativamente ao túnel Sereis-Celas, “...no Túnel de Celas encontram-se solos de cobertura com espessuras entre cerca de 1m e 3m. Abaixo dos solos encontra-se o Grés de Silves que poderá ser desmontável com meios mecânicos ou com explosivo, consoante a sua granulometria e grau de cimentação. Os dados de sísmica de refração, em conjunto com as sondagens mecânicas, indicam que a espessura de terrenos desmontável com meios mecânicos (pás mecânicas e ripper) tende a aumentar desde o início do túnel, com valores rondando os 3m, até cerca dos 6m para o final do túnel... Para maiores profundidades a solução de desmonte poderá passar pela utilização de martelos hidráulicos de elevada energia, pois que a localização do túnel numa zona urbana e junto a uma unidade hospitalar, desaconselha o uso de explosivos.”

E ainda: “...Do ponto de vista litológico, o túnel interessará uma unidade denominada por “Camadas areno-conglomeráticas” (Tavares, A. O., 1999), constituída por arenitos, granulometricamente heterogéneos, conglomerados, por vezes muito grosseiros, e pelitos (< 5%). Estes termos apresentam-se heterogeneamente repartidos no interior da unidade, embora se verifique um maior domínio dos termos arenosos para o topo da unidade.....Elementos de caracterização geral desta unidade sugerem um cenário geotécnico em que os 34 m mais superficiais apresentam normalmente valores de resistência baixos a médios, que se incrementa em regra em profundidade, podendo atingir valores de resistência elevada a partir de profundidades da ordem dos 8-9 m..... Os terrenos a interessar pelo túnel serão previsivelmente desmontáveis com meios mecânicos, mas a eventual presença de estratos com cimento silicioso poderá exigir o recurso a desmonte com explosivos, aspecto que se deverá averiguar na fase seguinte dos estudos. Refira-se ainda a possível presença de seixos e calhaus de natureza quartzítica, rocha muito abrasiva.”

5.2 Edifícios

Existirão algumas situações particulares de interferência com edifícios adjacentes à escavação, em particular ao longo da Rua Augusto Rocha, em que será necessário aprofundar o conhecimento das estruturas, avaliar o potencial risco de dano e eventualmente estudar obras específicas de redução do risco.

5.3 Árvores

As árvores plantadas ao longo da Rua Augusto Rocha são as únicas localizadas acima do traçado em túnel. Tais árvores, de qualquer forma, não irão interferir com a execução do túnel entre Sereia e Celas, sendo a profundidade do túnel suficiente a garantir a ausência de interferência.

5.4 Minas

Ao longo do traçado em túnel poderão ser interceptadas eventualmente algumas minas de água, tendo sido individualizados pelo menos dois acessos de minas nas imediações do traçado: um no parque de estacionamento onde será localizada a Paragem Sereia e um na futura área de estaleiro ao lado da localização da Paragem Celas.

Será necessário proceder ao levantamento das minas de forma a individualizar a prever as interferências.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 6 de 37

5.5 Redes

Os constrangimentos maiores do ponto de vista da interferência com as redes de serviços é representada tipicamente pelos esgotos.

De facto, em função da presença de caves nos edifícios e da cota de ligação das tubagens dos esgotos privados à tubagem principal que corre nas ruas, a profundidade de localização da rede dos esgotos pode ser bastante elevada, representando um condicionamento importante, que pode requer um projecto cuidadoso dos desvios e, às vezes, obras de desvio bastante consistentes.

5.6 Condicionamentos rodoviários

As obras deverão garantir o fluxo normal do trânsito rodoviário na área urbana através de um adequado faseamento construtivo.

Em princípio, a escavação do túnel mineiro entre Sereia e Celas permitirá minimizar muito o impacto potencial na circulação rodoviária neste troço, não sendo necessário nenhum corte de trânsito ao longo da Rua Augusto Rocha. De facto, um adequado recobrimento do túnel, um cuidadoso projecto das secções de suporte, a escolha de uma empresa capaz de gerir escavações em meio urbano e um seguimento diário da construção por parte do projectista garante a execução do túnel mineiro em segurança, sem alterar a utilização do espaço público à superfície.

Onde seja possível a ocupação parcial das avenidas com as áreas de estaleiro (por ex., ao longo da Avenida Armando Gonçalves), será reduzido temporariamente o número de faixas de rodagem disponíveis para o trânsito dos veículos.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 7 de 37

6. LEVANTAMENTO E INSPECÇÃO DE ESTRUTURAS CONTÍGUAS OU VIZINHAS DO TÚNEL

Antes do início da obra de escavação do túnel, deverá ser realizado um levantamento completo do estado das construções e de outras estruturas situadas na área de influência da obra, por meio de vistorias detalhadas aos edifícios e outras estruturas inventariadas, registo fotográfico e respectiva localização, em planta.

Os dados recolhidos serão interpretados pelo projectista de forma a estimar os efeitos de potencial assentamento ou vibração nos edifícios que se encontrem próximos ao local das obras do metro, com a finalidade de determinar o potencial risco de dano e definir as medidas cautelares e de prevenção a implementar para a segurança do público e das propriedades.

Tais medidas deverão estar em obra antes do começo dos trabalhos.

Ao mesmo tempo será previsto um plano de auscultação, com instrumentos de monitorização localizados quer no terreno quer nos edifícios. Serão feitas leituras periódicas dos instrumentos, com frequência a definir e dependente da proximidade da frente de trabalho, de forma a controlar a evolução dos movimentos e activar atempadamente qualquer contra-medida ulterior que venha a ser julgada necessária.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 8 de 37

7. TRABALHOS PRELIMINARES

7.1 Eliminação da pavimentação e decapagem

As superfícies de terrenos a escavar devem ser previamente desimpedidas de pavimentação, pedra grossa, detritos e, onde houver, de vegetação lenhosa (arbustos e árvores) conservando todavia a vegetação herbácea, a remover com a decapagem.

7.2 Desvio de trânsito

O detalhado Projecto de Execução das áreas de estaleiro evidenciará as intervenções na circulação rodoviária existente (sinalização, semáforos, passadeiras para peões). Este projecto deverá desenvolver soluções que minimizem os incómodos na circulação, na cidadania e nas actividades comerciais. O projecto deverá incluir necessariamente o estudo dos desvios com o respectivo projecto de sinalização.

Para a correcta instalação dos estaleiros será executada a colocação de toda a sinalização horizontal e vertical necessária, entendendo-se aquela a colocar e a executar nas faixas de rodagem rodoviárias onde possam ser instalados os estaleiros e em correspondência aos acessos dessas mesmas faixas de rodagem, como também aquelas relativas a todas as alterações nas estradas circundantes e a de pré-aviso colocada nas áreas limítrofes.

No cruzamento entre Rua Lourenço Almeida Azevedo e Rua Pedro Monteiro poderá ocorrer uma redução temporária das faixas disponíveis ao trânsito para permitir o desvio das redes. De facto, na secção de arranque do túnel mineiro, o recobrimento do próprio túnel pode ainda não ser suficiente para garantir a ausência de interferência com as redes localizadas a maior profundidade, por exemplo os esgotos.

Ao longo da Avenida Armando Gonçalves Onde será reduzido temporariamente o número de faixas de rodagem disponíveis para o trânsito dos veículos e será ocupada parcialmente a avenida com as áreas de estaleiro.

7.3 Desvio de redes

A área atravessada na cidade pela obra do Metro Ligeiro do Mondego caracteriza-se por ser constituída pelas suas zonas centrais principais, no eixo ribeirinho e no eixo central, implicando isso numa alta densidade de afectações. Destas, há que realçar a distribuição de água e da rede de esgotos urbana; distribuição de energia por vias aérea e subterrânea, nas suas formas de Baixa Tensão, Média Tensão e Alta Tensão; as redes aéreas e subterrâneas de comunicação, entre as quais figuram a rede de Fibra Óptica de comunicações internacionais e os cabos de cobre de grande calibre de comunicação regional; e ainda a rede de distribuição urbana de gás natural.

Já ao nível de Anteprojecto (doc. ref. n.1) foram contactadas várias entidades de serviço público para identificar os serviços potencialmente afectados pela construção do Metro Ligeiro do Mondego, nomeadamente: SMAS de Coimbra; REN; CENEL de Coimbra; Portugal Telecom Doc; Portugal Telecom de Coimbra; Transgás; Lusitâniagás. Dos contactos estabelecidos com estas entidades resultaram as informações acerca das respectivas infraestruturas, tanto presentes como futuras, com base nos elementos de traçado que lhes foram fornecidos.

A construção do Metro Ligeiro do Mondego deverá ter em atenção a natureza imprescindível da maior parte destas afectações com o objectivo de garantir a não interferência com esses serviços.

O estado das redes potencialmente afectadas foi actualizado em ocasião do presente estudo, com particular referência às redes das águas e do saneamento.

Pelos dados disponíveis (Figuras 1 a 5) realça-se que o constrangimento mais importante é representado pela rede de saneamento ao longo da Rua Augusto Rocha, com tubagens

colocadas à profundidade máxima de 2.50m. Em geral, o recobrimento do túnel será de, pelo menos, 1 diâmetro, o que garante a ausência de interferência com as redes, também as mais fundas.

Contudo, no cruzamento entre Rua Lourenço Almeida Azevedo e Rua Pedro Monteiro o perfil do túnel ainda estará a descer para atingir o recobrimento necessário. Portanto, poderá ser necessário desenvolver o projecto do desvio de redes neste ponto específico, para anular qualquer potencial dano aos serviços durante a escavação em subterrâneo.



Figura 1 – Serviços de saneamento ao longo da Rua Augusto Rocha

O facto de o túnel ser mineiro ao longo da Rua Augusto Rocha permite eliminar todos os problemas de interferência com a rede de esgotos que, caso se tivesse optado para o túnel cut&cover, teriam obrigado a manter a cota da laje de cobertura a uma profundidade de pelo menos 3.0m do plano de superfície, aumentando os volumes escavados, ou a fazer importantes obras de desvio (por ex., duplicar a tubagem dos esgotos nos dois lados da estrutura subterrânea,

de modo a poder servir eficientemente os edifícios localizados em ambos os lados da estrada, ou realizar sifões abaixo do futuro túnel)



Figura 2 - Serviços de águas ao longo da Rua Augusto Rocha



Figura 3 – Serviços de águas na Rotunda do Hospital

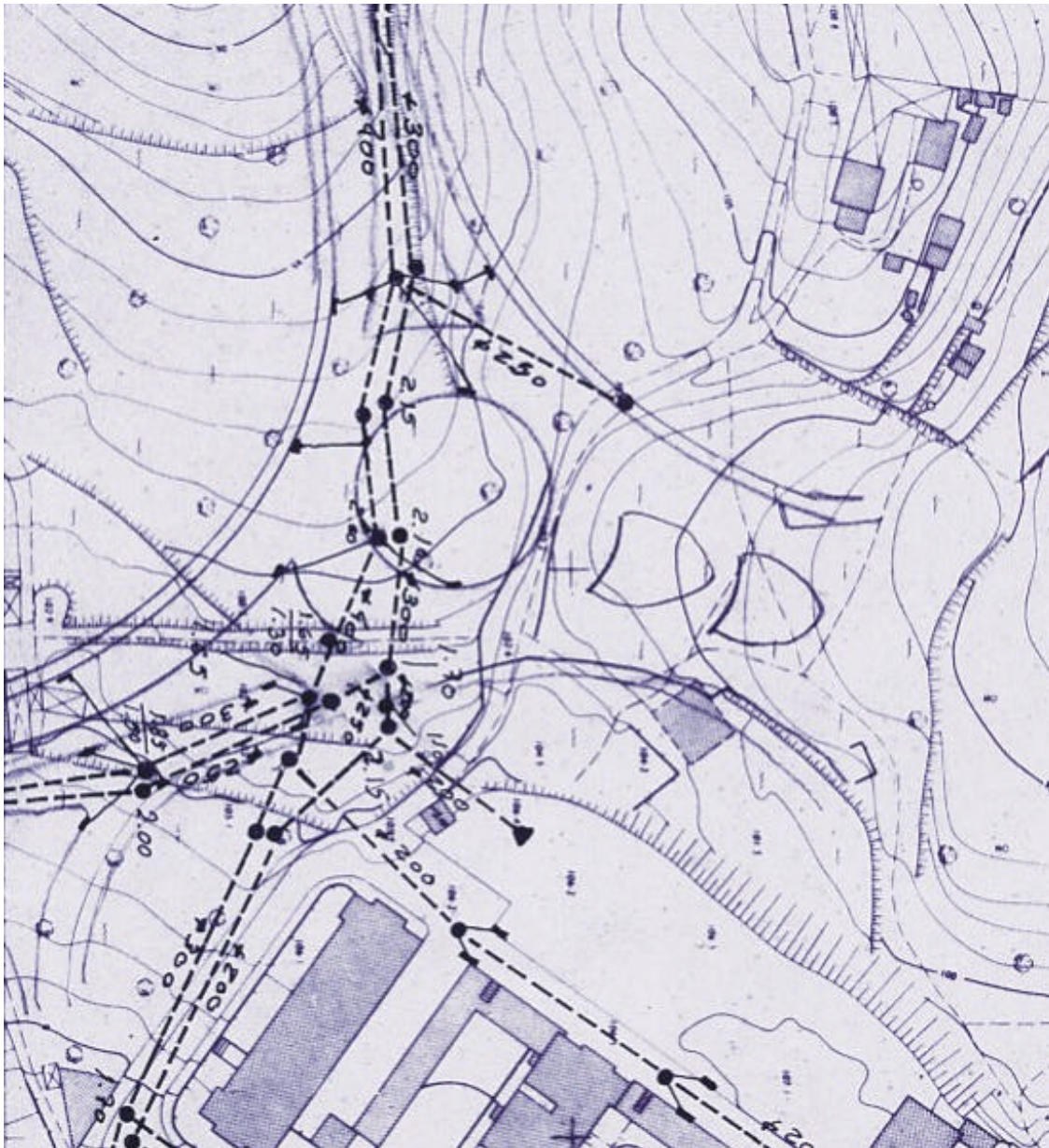


Figura 4 – Serviços de saneamento na Rotunda do Hospital

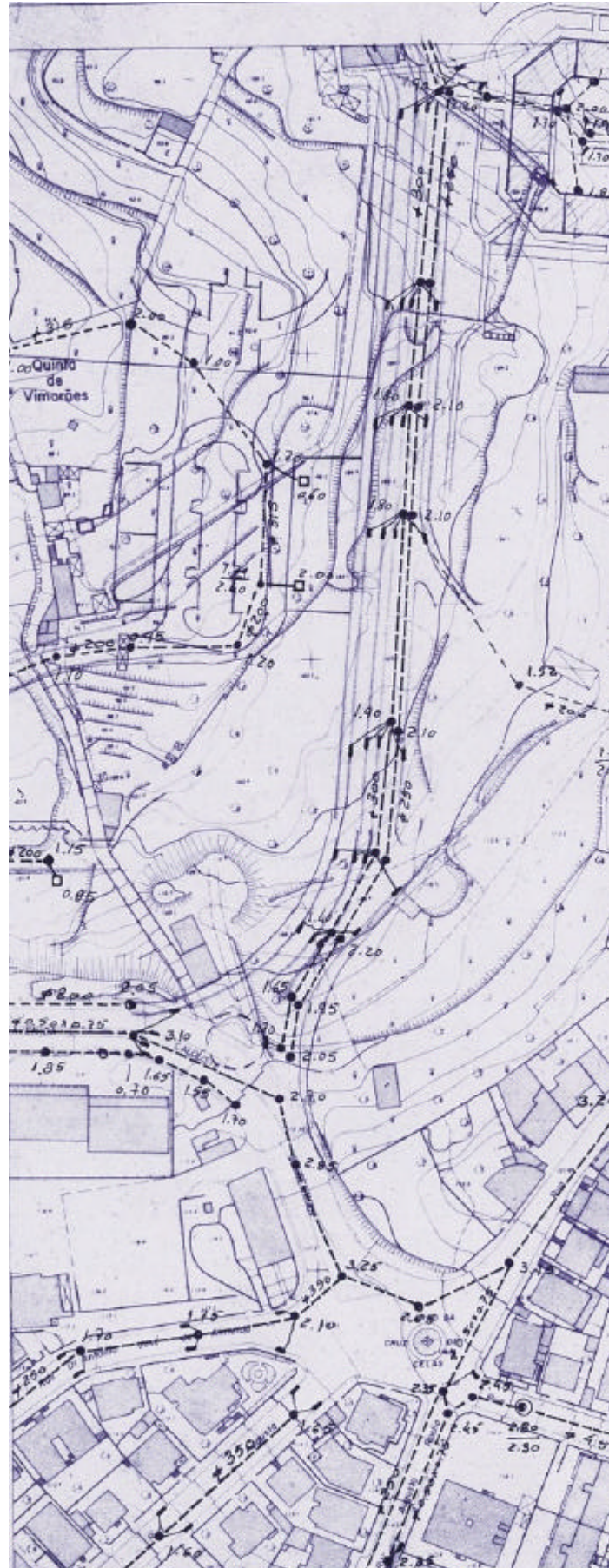


Figura 5 – Serviços de saneamento ao longo da Rua Armando Gonçalves

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 14 de 37

8. ESTALEIROS

8.1 Espaços necessários

A instalação do estaleiro é o conjunto de todas as actividades de ocupação do espaço público e do subsolo, destinado a realizar instalações de serviço para a realização da obra. As instalações de serviço, são:

- os desvios de trânsito temporários ou de longa duração,
- as vedações,
- a formação da viabilidade interna,
- a formação da viabilidade externa para o trânsito privado,
- os encargos de captação das redes energéticas e de alimentação,
- a instalação dos serviços de higiene e de assistência aos trabalhadores,
- a logística de estaleiro, tal como os escritórios, os armazéns,
- depósitos,
- áreas de armazenamento,
- as instalações dedicadas à produção de betão,
- as instalações de tratamento das águas,
- as modalidades de armazenamento dos desperdícios

e todas as actividades de serviço dedicadas à realização eficiente e completa das obras em projecto.

8.2 Proposta de localização

Os espaços de estaleiro utilizados serão exclusivamente aqueles colocados à disposição pelo Cliente.

Actualmente foram individualizadas duas localizações para os estaleiros (Figura 7):

- uma ao longo da Rua Armando Gonçalves, perto da Paragem Celas, que servirá principalmente o troço Sereia-Celas e
- uma próxima à Paragem Polo III, que servirá principalmente o troço Celas-Polo III.

8.3 Implantação

Dado o contexto urbanizado onde se desenrolarão os trabalhos relativos às instalações dos estaleiros, para além da colocação em obra de todas as intervenções mitigadoras dos impactos do estaleiro que devem estar previstas no Projecto de Execução, também devem ser sempre tomadas todas as precauções necessárias para reduzir ao máximo a produção de factores inquinantes, como ruídos, pó, vibrações etc.

As vedações permanentes devem todas ter uma altura mínima de 2,5m e serem pintadas com as cores definidas pelo Cliente. Para as fases de escavação e construção em subterrâneo, as vedações serão constituídas por new jersey em betão e grelhas, painéis opacos ou transparentes.

A utilização das ruas por parte dos meios do estaleiro deverá ser o mais limitado possível; os percursos rodoviários a serem utilizados deverão seguir as indicações referidas nas tabelas de estaleiro. Em cada situação dever-se-á garantir o trânsito e a acessibilidade dos meios de socorro

directo perante terceiros, nomeadamente na zona da Rotunda do Hospital, ou perante as necessidades internas do próprio estaleiro.

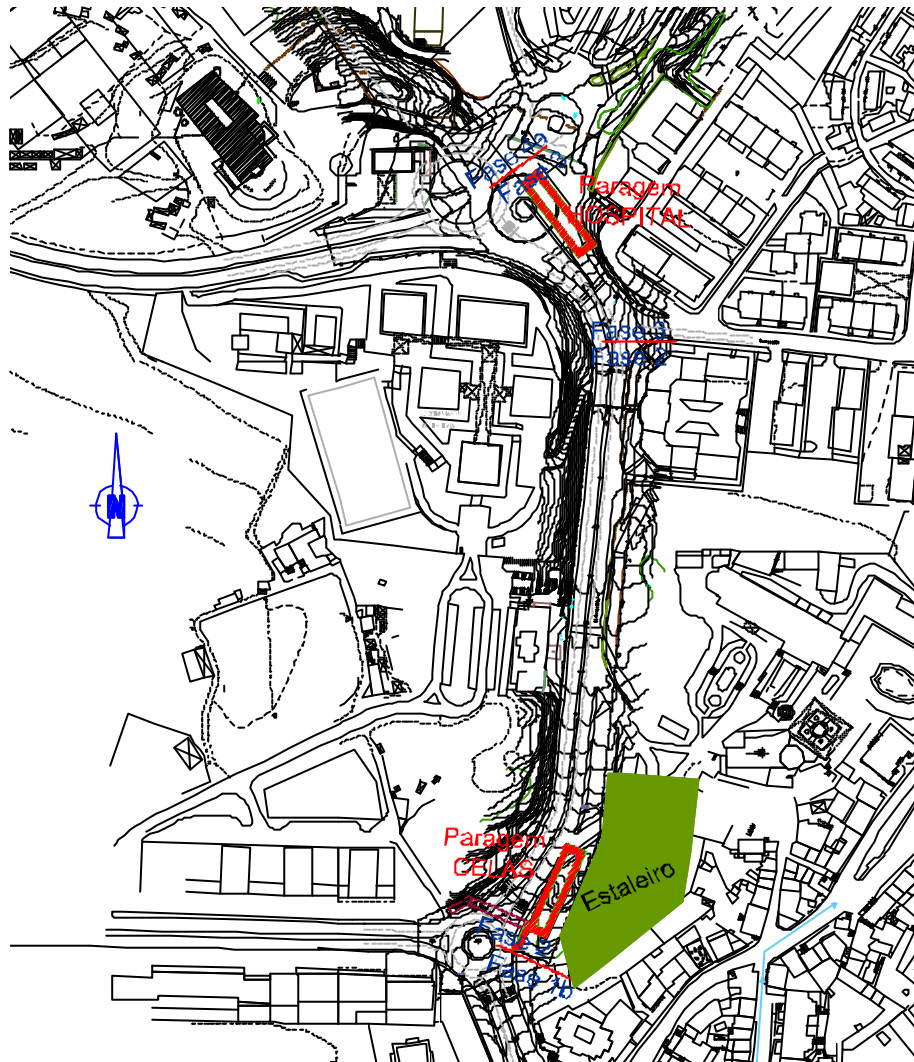


Figura 6 –Primeiro estaleiro na zona de Celas.

As áreas de estaleiro serão equipadas com um pavimento adequado às cargas circulantes e à redução da produção de lamas e pós. Em todos os casos estará previsto um sistema de lavagem das rodas adequado para os camiões utilizados nos movimentos de terra, à saídas de todas as áreas de escavações de terraplanagens ou de remoção de terras de subterrâneo.

Uma vez terminada a função do estaleiro, toda a pavimentação do estaleiro será removida antes do arranjo final da superfície das áreas.

Os materiais inertes carregados nos camiões do estaleiro deverão ser molhados adequadamente para evitar dispersões de pó; a caixa dos camiões deverá também ser coberta antes da saída das áreas de carga. A superfície dos arruamentos e terrenos abertos do estaleiro deverá ser constantemente molhada para evitar a emissão de pós.

O ruído transmitido para o exterior deverá ser limitado ao mínimo possível. Durante o desenrolar das actividades do estaleiro deverá ser executada uma série de monitorizações acústicas aptas a verificar a correcção do quanto previsto no estudo de impacto acústico detalhado. No caso que os dados revelados durante a monitorização superem os níveis sonoros previstos pelo estudo de

impacto acústico, dever-se-á predispor de mais medidas mitigadoras a serem adoptadas no mais curto espaço de tempo possível.

Para cada fase temporal dos trabalhos devem ser adoptadas todas as precauções técnicas e comportamentais exequíveis para reduzir ao mínimo as vibrações das máquinas e das instalações utilizadas como, por exemplo, a optimização dos tempos de trabalho relativamente à utilização das áreas críticas, utilização de equipamentos ou técnicas caracterizadas por baixas emissões de vibração (martelos pneumáticos de potência regulável, sistemas de rotação em vez de percussão, etc.).

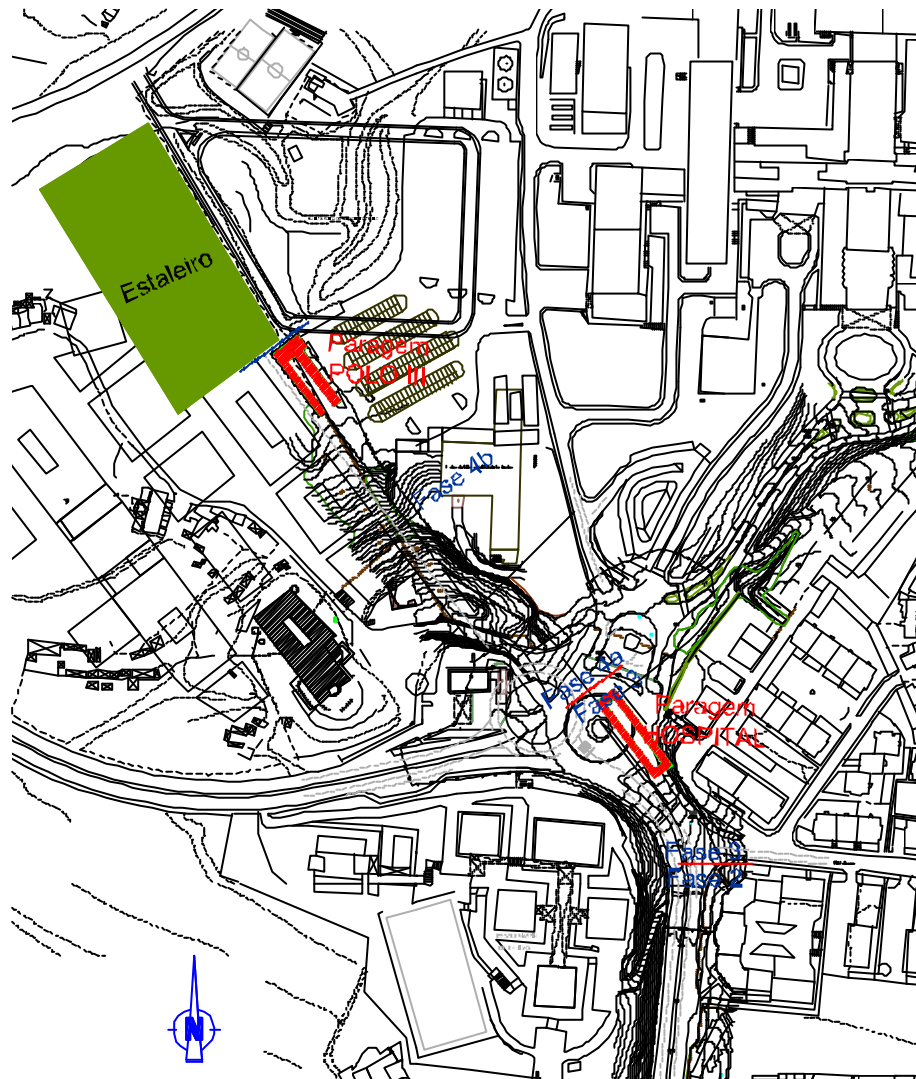


Figura 7 – Segundo estaleiro na zona do Polo III.

Nos casos em que a monitorização das vibrações demonstrasse valores críticos, dever-se-á predispor de ulteriores intervenções mitigadoras, a adoptar no mais curto espaço de tempo possível.

As eventuais áreas de armazenamento das terras devem estar situadas em zonas desprovidas de sensibilidade hidrogeológica e longe de centros sensíveis, como pontos de alcance hidro-potável a áreas de recarga do nível freático.

Todas as máquinas que intervenham na realização da obra devem ser atentamente analisadas para verificar o adequamento às condições nas quais estejam a operar.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 17 de 37

Todos os meios no estaleiro devem ser respeitadores do ambiente e figurar nas seguintes categorias: veículos eléctricos ou híbridos a funcionarem com motor eléctrico; veículos a metano ou gpl (não admissíveis no túnel); veículos habilitados ao transporte de mercadorias (a gasolina) de tipo homologado (não admissíveis em subterrâneo).

Geradores e compressores devem ser de alimentação a diesel; insonorizados, com medição das emissões sonoras produzidas. A utilização de geradores para a produção de energia eléctrica deve ser limitada às fases de instalação do estaleiro, para depois fazer a ligação à rede eléctrica urbana.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 18 de 37

9. MÉTODOS DE COSTRUÇÃO

Os métodos de construção previstos na Solução S4 do Estudo de Viabilidade Técnica são:

□ túnel mineiro:

Ao longo do trecho Sereia – Celas os problemas relativos às fiadas de árvores, aos riscos potenciais de dano para os edifícios e ao impacto dos estaleiros à superfície em termos de duração dos trabalhos, cortes dos acessos e corte praticamente total do trânsito poderiam tornar não viável a opção de escavar o túnel em *cut&cover*. A válida alternativa é constituída pela realização do túnel mineiro, escavado com método convencional, conforme o seguinte faseamento:

- escavação com meios mecânicos (pá mecânica, martelo hidráulico ou fresadora pontual/*roadheader*) em secção completa;
- suporte primário constituído por cambotas e betão projectado;
- utilização de bullflex para imediata activação das cambota, reduzindo e controlando os efeitos de assentamento à superfície.

Este método construtivo é caracterizado pelos seguintes aspectos:

- custos maiores do túnel a céu aberto mas comparáveis ao túnel *cut&cover*;
- possibilidade de minimizar a ocupação do espaço público e garantir o normal tráfego rodoviário;
- sistema de escavação e suporte muito flexível a qualquer imediata modificação em obra no sentido de activar atempadamente as contramedidas necessárias e aumentar a rigidez da secção caso se manifestem, através do sistema de monitorização, deformações potencialmente críticas;
- minimização das operações de desvio de redes.

□ túnel a céu aberto: estrutura tipo box-culvert, preferivelmente constituída por elementos pré-fabricados, em trincheira não suportada (ou, no máximo, entre paredes tipo berlinense com placas de betão armado dispostos entre perfis e escoramentos);

Este grupo de opções, que inclui a opção do Anteprojecto (doc. ref. n1), é caracterizado pelos seguintes aspectos:

- custos limitados;
- impossibilidade de rehabilitar o transporte rodoviário colectivo e privado à superfície até finalização da construção do túnel, pelo menos por troços;
- aplicável em situações de rocha de boa qualidade e onde os possíveis assentamentos do terreno na envolvente não produzam danos;
- necessidade de escoramento.

De facto, a ausência de entivação ou a utilização de uma entivação passiva (i.e., placas dispostas entre perfis metálicos cravados verticalmente), que não tem contacto directo com o terreno mas sim um vazio de dimensões irregulares, não impedem a deformação do terreno e permitem o potencial desenvolvimento de uma considerável perda de solo e, conseqüentemente, importantes assentamentos ao nível da estrada e dos edifícios, sem permitir de actuar atempadamente com contramedidas em situações críticas.

Portanto, se serão confirmadas as hipóteses formuladas no documento de referência n.2 relativamente às condições geológicas, os sistemas do tipo “túnel a céu aberto” adaptam-se às situações de envolvente encontradas entre Celas e Polo III, mas são sujeitos a riscos residuais elevados no troço Sereis-Celas.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 19 de 37

As opções deverão ainda ser confirmadas por uma campanha de prospeções, incluindo sondagens e ensaios, a realizar quer no troço Sereia-Celas, onde existem algumas informações relativas aos estudos anteriores, quer no troço Celas-Polo III, onde não existem prospeções e foi feito apenas um reconhecimento à superfície, onde possível.

Os resultados das futuras prospeções poderão obrigar a rever, até de forma consistente, a escolha dos métodos de construção aqui definidos.

9.1 Túnel mineiro

9.1.1 As fases de realização

O túnel mineiro prevê a seguinte sequência de execução:

- escavação para os emboquilhamentos;
- escavação em galeria;
- colocação de suportes iniciais;
- construção do revestimento final, incluindo os sistemas de drenagem e impermeabilização;
- instrumentação e controlo do comportamento do maciço durante a construção;
- terraplenagem em secções de túnel executadas a “céu aberto”;
- construção do pavimento rodoviário;
- trabalhos relacionados com a construção e instalação de equipamentos eléctricos, mecânicos, telecomunicações, ventilação;
- trabalhos de sinalização, comunicação, controlo ambiental e sistemas de monitorização do túnel, etc., excepto os associados com os trabalhos de construção, tal como estão especificados;

Na Figura 8 refere-se um exemplo de avanço com método convencional em túnel mineiro.

9.1.2 Escavação

A tendência actual e consolidada nos últimos anos é a de escavar o túnel em secção inteira para tornar mais simples e segura a realização da impermeabilização e para betonar o revestimento definitivo numa fase única de forma a reduzir as discontinuidades estruturais do próprio. Por consequência a escavação deve ser estabilizada:

- a curto prazo para o tempo necessário à instalação do revestimento definitivo;
- a longo prazo para a durabilidade e segurança (neste sentido o revestimento definitivo deve ser considerado como um incremento do factor de segurança do tubo).

Relativamente as operações de escavação, a tendência actual é a de torná-las o mais mecanizadas possível por razões de rentabilidade e de custos de produção.

Em geral, consideradas as diversas características de resistência do maciço rochoso que deverá ser atravessado da escavação dos túneis nos vários traçados supostos, a escavação dos túneis poderá ocorrer com desmonte a fogo (*drill & blast*), ou ainda com desmonte mecânico (pás mecânicas e ripper, martelos hidráulicos ou até fresadoras pontuais).

O método de escavação será escolhido de acordo com as condições do maciço rochoso na fase de projecto de execução.

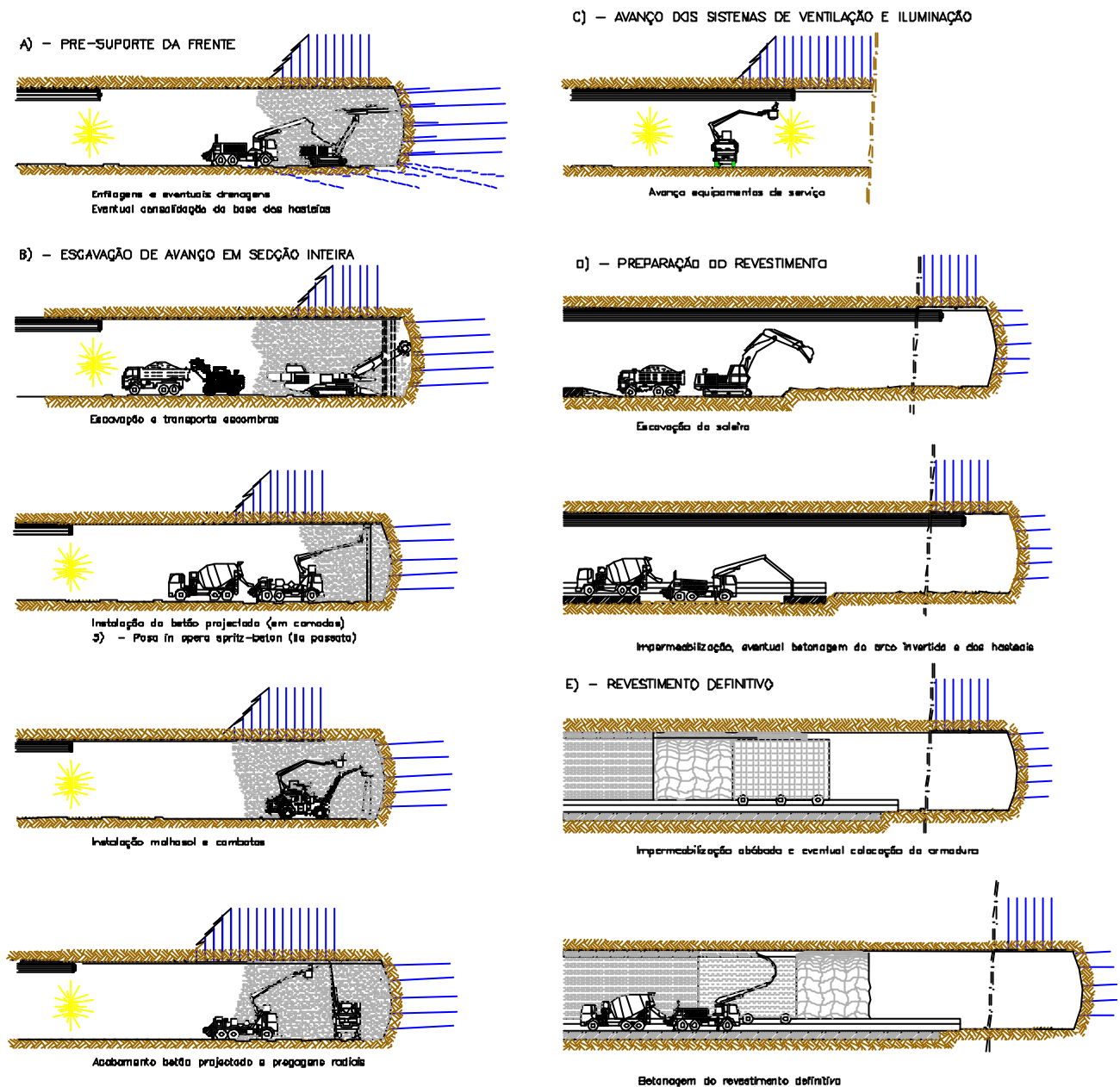


Figura 8 – Exemplo de esquema de faseamento construtivo de um túnel mineiro

A execução dos trabalhos de escavação deverá ser efectuada de forma a evitar ou reduzir ao máximo os assentamentos de superfície, particularmente no atravessamento de zonas edificadas ou próximo de outras estruturas sensíveis.

A escavação em terrenos brandos deverá ser feita através de equipamento do tipo escavadora mecânica, procedendo-se ao desmorte faseado da frente com aplicação de betão projectado, de forma a limitar a perda do solo envolvente. Os elementos de suporte devem ser os suficientes para a estabilidade geral da galeria.

No caso da aplicação de explosivos (escavação em rocha), será utilizada a técnica de pré-corte do contorno (Smooth blasting), para não conturbar desnecessariamente o meio circundante e reduzir ao mínimo o volume de escavação necessária.

Os planos de fogo serão elaborados de forma a:

- limitar as vibrações produzidas nas explosões;

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 21 de 37

- respeitar os limites máximos de velocidade de vibração de partículas, determinados em função do critério de máxima segurança para a estabilidade da obra e outras estruturas próximas do local da construção do túnel;
- salvaguardar o bem estar das populações da proximidade;
- limitar as pegadas em períodos em que o ruído provocado pela detonação não seja considerado prejudicial à população.

Na eventualidade de se encontrar águas ressurgentes, estas serão drenadas por gravidade ou por bombagem, o suficiente para obter condições satisfatórias de trabalho. Além disso, estará assegurada convenientemente a iluminação e ventilação do túnel durante todas as operações de observação e construção, de maneira a obter condições de trabalho satisfatórias.

As operações de perfuração, explosão, escavação e aplicação de betão projectado deverão ser conduzidas através de métodos e com equipamento que permita o controlo e limitação de poeiras, fumos, vapores, gases, etc. Após cada avanço da secção de escavação, a rocha desmontada e partida ou o material acumulado serão suficientemente humedecidos de forma a evitar a produção de poeiras durante as operações de limpeza e transporte.

A superfície de qualquer frente de escavação será selada com betão projectado, no mínimo com uma camada de espessura mínima em condições de rocha sã, e de espessura maior em condições de rocha alterada ou decomposta, conjuntamente com a instalação de pregagens de fibra de vidro, se tal for necessário.

9.1.3 Cartografia geológica e sondagens exploratórias

O zonamento que condiciona as técnicas, os métodos e as soluções construtivas será baseado num sistema de classificação geotécnica, em função da litologia, do grau de alteração do maciço, dos resultados da prospecção geofísica, ensaios laboratoriais e “in situ”, do tipo e configuração de descontinuidades, das condições hidrogeológicas e recobrimentos. Tais dados serão obtidos através dos necessários estudos geológicos em fase de projecto e deverão ser confirmados em obra.

Portanto, durante a construção do túnel, nomeadamente depois de cada avanço um geólogo qualificado e experiente em obras subterrâneas efectuará a cartografia geológica do maciço (litologia, alteração, fracturação e respectivos preenchimentos, atitude dos planos de descontinuidade, RQD, etc.), das exsurgências de água e sua avaliação de caudal, do modo de rotura típico do maciço, mantendo registos claros da informação geológica obtida durante a escavação do túnel e dos furos de sondagem de avanço.

Além disso, na progressão da frente de escavação serão executados sistematicamente furos de sondagens exploratórias, com uma sobreposição mínima de 5 m, no sentido de ir averiguando a qualidade do maciço.

Os dados recolhidos serão utilizados pelo representante do Projectista residente em obra para confirmar ou actualizar as previsões de projecto, adaptando as secções tipo a serem aplicadas, de forma que seja sempre garantida a máxima segurança.

9.1.4 Suportes iniciais

O suporte inicial tem por objectivo assegurar a estabilidade da escavação, garantindo uma acção de suporte e confinamento ao meio escavado, e criar condições de segurança no túnel até à execução do revestimento definitivo.

Consideram-se como suportes iniciais, a instalação de microestacas injectadas, de pregagens, a aplicação de betão projectado com ou sem fibras metálicas, instalação de cintas ou cambotas metálicas.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 22 de 37

O comportamento do maciço na frente de escavação de um túnel é dependente do tempo, sendo que o processo de instabilidade será tanto mais rápido quanto pior for a qualidade da rocha e quanto maior for o vão livre de rocha sem suporte. A extensão máxima de uma secção que pode ser escavada e apoiada a tempo, é um critério de qualidade do maciço. O tipo e a quantidade de suporte a ser instalado imediatamente após a escavação está directamente relacionado com a classificação geotécnica da zona atravessada e o correspondente suporte tipo.

Os suportes tipo definidos no projecto deverão ser ajustados às condições reais do maciço, com base nas características geotécnicas da frente de escavação do túnel e dos resultados obtidos das leituras dos instrumentos de monitorização.

Enfilagens

Em condições de rocha muito alterada a decomposta ou muito fracturada, em zonas com pequeno recobrimento sobre a escavação e nos emboquilhamentos dos túneis ser realizado um pré-suporte com enfilagens da secção a escavar.

Enfilagem significa a execução de furos no contorno da abóbada da galeria na frente de escavação onde serão instalados tubos metálicos dotados de *manchettes*, usualmente com comprimentos superiores a 12 m, conjuntamente com a injeção de caldas de cimento, de forma a reforçar o maciço em torno da abóbada e superiormente à escavação. Este procedimento visa criar um “*guarda-chuva*” de protecção e segurança ao avanço da escavação.

Os tubos da enfilagem deverão possuir várias *manchettes* colocadas a intervalos regulares, de forma a injectar a baixa pressão calda de cimento em operação de passo-a-passo para solidarizar o elemento de reforço ao meio envolvente.

Estes tubos de aço serão instalados com um afastamento entre eles de cerca de 30 a 60 cm (medido radialmente no local da instalação) e farão um ângulo ao centro do túnel da ordem de 120°. No caso de se instalarem secções subseqüentes de enfilagens, haverá, entre cada família consecutiva de enfilagem e no sentido da frente, uma sobreposição mínima a definir no projecto de execução.

Quando o maciço se apresentar de melhor qualidade geotécnica, os tubos metálicos de enfilagem poderão ser substituídos por varões de aço, selados.

Todos os sistemas de enfilagem deverão naturalmente ser instalados em furos previamente executados e de secção apropriada.

Pregagens

As pregagens passivas fazem parte do suporte inicial, tendo por objectivo reforçar o maciço de forma a que este colabore no seu auto-suporte e activar a acção mútua entre o meio envolvente e a casca de betão projectado, contribuindo para o aumento da capacidade de carga do suporte.

Entende-se como pregagem a inclusão no maciço, por cravação ou num furo previamente aberto, de um sistema constituído por uma armadura metálica solidarizada com o maciço ao longo de todo o seu comprimento.

As pregagens metálicas serão constituídas por varões de aço nervurado instaladas em furos realizados previamente no maciço e posteriormente envolvidas por caldas de cimento, resinas, ou simplesmente cravadas no maciço.

As pregagens passivas tipo *Swelllex* são realizadas em tubo de aço e com fixação por atrito. A sua instalação é feita no interior de furos previamente executados. A sua expansão é conseguida por introdução de água a alta pressão no interior do tubos, obrigando à sua dilatação e permitindo o contacto com a superfície do furo e a sua adaptação às irregularidades.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 23 de 37

As ancoragens passivas de fibra de vidro, na sua constituição são idênticas às de varão de aço, dispondo do mesmo sistema de injeção de caldas.

Poderão também ser usadas pregagens autoperfurantes.

Betão projectado

Todas as superfícies de escavação do túnel que possam estar sujeitas a deterioração deverão rapidamente ser protegidas por revestimento de betão projectado.

O betão projectado é um tipo de betão que é levado sob pressão até ao local de aplicação através de mangueira ou tubo apropriado, aplicado e compactado por disparo a alta velocidade contra as superfícies a proteger.

O método de aplicação do *betão projectado por via seca*, é um método de projecção em que a mistura seca composta de inertes, cimento e aditivo acelerador, é levada ao longo da mangueira à guia do jacto através de ar comprimido, sendo a água acrescentada à mistura seca no bocal ou junto deste.

O método de aplicação do *betão projectado por via húmida*, é um método em que os inertes, cimento e água, são bombeados directamente para o bocal. O aditivo acelerador é acrescentado no bocal ou junto deste.

Deverão ser usados aditivos aceleradores de presa para se alcançarem, nas primeiras horas, resistências do betão aplicado, devendo ser efectuados ensaios adequados a determinar a dosagem correcta de aditivos.

A espessura máxima de betão projectado a ser aplicado numa só sequência não poderá exceder 5 cm. Se a espessura tiver de ser aumentada, as camadas seguintes não devem ser aplicadas sem que a anterior tenha adquirido uma resistência suficiente para as receber.

As cambotas, as malhas metálicas e outros reforços que seja necessário instalar, serão completamente envolvidos em betão projectado.

No acabamento das superfícies de betão projectado deverá ter-se em atenção que estas servirão para apoio do sistema de impermeabilização e drenagem do extradorso do revestimento definitivo do túnel.

Armaduras

A malha electrossoldada será instalada de forma a acompanhar o mais possível todas as irregularidades das superfícies do maciço onde for instalada ou sobre as camadas prévias de betão projectado. Deverá ser bem fixa para evitar vibrações ou mudança de posição durante a projecção do betão, devendo ser instalada na maior extensão possível numa única aplicação.

Cambotas metálicas

As cambotas metálicas servem de protecção e de suporte, imediatamente após a escavação e, posteriormente, actuarão como reforço e elemento distribuidor de carga conjugado com o revestimento de betão projectado.

Serão usados apoios e cunhas metálicas para colocar as cambotas na linha e nível necessários à sua instalação. Usar-se-ão tirantes de varões de aço para unir uma cambota à que lhe fica adjacente e fixá-la de forma segura na sua devida posição.

Considerado o âmbito urbano em que o túnel mineiro Sereia – Celas será construído, poderá também ser utilizado o sistema bullflex, para a imediata activação das cambotas. O bullflex é constituído por um “saco” comprido a colocar atrs de cada cambota e preenchido de betão com o equipamento utilizado para o betão projectado. A vantagem é representada pelo facto de a

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 24 de 37

cambota ser imediatamente activa como contraste da defomação do terreno, reduzindo a perda de solo que é responsável pelos assentamentos transmitidos à superfície.

9.1.5 Drenagem e impermeabilização

A drenagem e a impermeabilização dos túneis revestem-se de uma importância fundamental, tanto do ponto de vista da sua durabilidade, como no de garantir um nível adequado de serviço em exploração e na minoração dos encargos da conservação. Uma construção com qualidade exigirá, também, uma correcta definição do sistema de impermeabilização e drenagem das águas afluentes à obra.

O sistema de drenagem e impermeabilização é constituído pela associação da manta densa de geotêxtil ajustada à superfície do betão projectado do suporte inicial, e por uma membrana impermeável convenientemente encostada ao geotêxtil.

A função de impermeabilização da obra será assegurada pela membrana, enquanto que o geotêxtil será necessário para drenagem do maciço e protecção mecânica da membrana, contra danos resultantes de acções de punçoamento no contacto com a superfície irregular de betão projectado, e para evitar o esmagamento no caso de movimentos diferenciais entre o suporte e o revestimento final de betão.

A drenagem e impermeabilização podem incorporar os seguintes elementos:

- manta de geotêxtil não tecido a revestir o suporte inicial ou primário e respectivo envolvimento do dreno colector do extradorso;
- lâmina de impermeabilização do revestimento definitivo, a colocar de encontro à manta de geotêxtil, para evitar infiltrações de água para o interior dos túneis e proteger o revestimento definitivo contra a agressão química das águas;
- drenos colectores longitudinais do extradorso, instalados ao longo da base dos hasteais para receber a água que aflua à manta de geotêxtil que reveste o suporte primário do túnel;
- dispositivos de drenagem suplementar do extradorso a colocar directamente contra o maciço, para acorrer a situações de maiores afluxos de água (drenos planares e/ou geodrenos);
- colectores longitudinais para receber as águas do extradorso;
- dreno colector longitudinal do pavimento;
- colector de ranhura longitudinal sob os passeios, cujo objectivo será a recolha das águas de lavagem ou eventuais derrames ocorridos na plataforma;
- caleira longitudinal no intradorso dos passeios para receber as águas de lavagem ou de infiltração através do revestimento definitivo;
- ramais de ligação entre os vários órgãos de drenagem;
- caixas de visita e limpeza dos drenos e colectores longitudinais localizadas a intervalos regulares para assegurarem o controlo de funcionamento do sistema e permitir a sua limpeza por jacto de água.

Quando o túnel estiver localizado abaixo do nível freático e ocorrerem afluxos importantes de água, o sistema de impermeabilização poderá ser estendido à soleira em arco invertido.

9.1.6 Revestimento definitivo

O revestimento definitivo dos túneis é em betão moldado “in situ”, geralmente armado. A cofragem constitui ferramenta necessária para a construção do revestimento definitivo. Deverá ser metálica

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 25 de 37

e concebida de forma a que as dimensões e superfície final do betão sejam obtidas conforme especificações.

As sapatas de fundação formam o sistema de apoio da abóbada ou o elemento de ligação da abóbada com o arco invertido da soleira. As canalizações, passagens de cabos e os passeios estarão colocados sobre este elemento estrutural.

Em condições geotécnicas decorrentes do maciço de pior qualidade, o arco invertido forma o anel de fecho do revestimento definitivo. O arco invertido de betão tem por função garantir melhores condições de fundação por diminuir localmente o valor das pressões de contacto com o terreno e melhorar o comportamento estrutural do arco.

9.2 Túnel a céu aberto

Em face da maior disponibilidade de espaços e supondo uma geologia favorável prevê-se que o túnel entre Celas e Polo III seja, em princípio, construído a céu aberto, sem sistema de entivação caso a geologia seja favorável (a ausência de edifícios próximos permite esta opção) ou no máximo ao abrigo de uma entivação do tipo parede berlinense provisória.

Neste cenário a construção seria efectuada em trincheira com uma largura de cerca de 11 m. A entivação, onde necessária, seria constituída por perfis metálicos verticais cravados previamente à escavação, a qual seria efectuada ao abrigo de elementos betão armado (ou até de madeira, sulipas) dispostos entre os perfis. Prevê-se a necessidade de, pelo menos, um nível de escoramento constituído por perfis metálicos horizontais entre as faces da entivação.

9.2.1 As fases de construção

Serão previstas as seguintes fases de construção:

- desvio de redes, escavações preliminares para a preparação do plano de trabalho;
- posicionamento topográfico das microestacas a cravar, onde necessárias;
- execução das microestacas, onde necessárias;
- escavação de trincheira com paredes sub-verticais, sem suporte, até a cota da laje de fundo do futuro túnel (eventual utilização de uma entivação do tipo parede berlinense provisória, com elementos de betão armado dispostos entre perfis e escoramentos, onde necessário);
- colocação de uma camada de betão de regularização no fundo da escavação;
- posicionamento dos elementos pré-fabricados em betão armado (tipo box-coulvert);
- aterro da escavação, reposição das redes e reabilitação do transporte rodoviário colectivo e privado;
- construção da plataforma e das vias.

O nível de início dos trabalhos será dotado de uma primeira betonagem de betão de limpeza e com aterro de material drenante.

O nível de trabalho deverá ser mantido limpo, iluminado e sempre percorrível pelo equipamento empregue e do pessoal incumbido do seu funcionamento e controlo; apropriadas caleiras de recolha e escoamento, apropriadamente posicionadas e inclinadas, ajudam a saída da água de descarga em adequados pontos de recolha (pequenos poços) dos quais, por intermédio de bombas ou de outros sistemas de rebaixamento, serão definitivamente afastadas.

De um modo geral entivar-se-ão as escavações cujos taludes sejam desmorroneáveis, quer por deslizamento quer por desagregamento, pondo em risco de aluimento as construções vizinhas, os

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 26 de 37

pavimentos ou as instalações do subsolo que, pela abertura das escavações, fiquem ameaçadas na sua estabilidade.

O escoramento da entivação far-se-á com elementos horizontais, dispostos perpendicularmente ao eixo da escavação, de um talude contra o outro, de modo que tais elementos ou escoras se situem a uma cota que não dificulte o trabalhos dos meios.

Tratando-se de escavações com bastante profundidade, convirá executar a entivação por andares ou por degraus, reduzindo-se o afastamento dos taludes à medida que se aprofunda a escavação.

Normalmente, a entivação deve progredir em profundidade simultaneamente com a escavação. No entanto, se o terreno for de má qualidade, deve proceder-se primeiramente à cravação dos elementos da cortina, só depois se iniciando a escavação do núcleo e o escoramento transversal das cortinas, à medida que a escavação for adquirindo profundidade.

Os perfis metálicos verticais serão executados, prévia perfuração, por inserção do próprio perfil no furo e cimentação por gravidade até aproximadamente a cota de escavação do túnel a céu aberto.

As técnicas de perfuração serão as mais adequadas no que refere à natureza dos terrenos atravessados e às condições ambientais presentes:

- mediante sonda à rotação, com ou sem revestimento e sem circulação de fluídos, até ser atingida a profundidade de projecto.
- perfuração a rotopercussão com ou sem revestimento e circulação de fluído utilizada só no caso de impossibilidade de perfuração com meios a rotação.

Em particular, deverão ser adoptadas todas as precauções de modo a evitar o desabamento da parede do furo. Em terrenos soltos a perfuração deverá ser executada escolhendo um dos sistemas de estabilização abaixo definidos:

- revestimento provisório do furo, numa altura parcial ou total do furo, juntando um fluído de arrefecimento e afastando os detritos de perfuração;
- fluídos de perfuração.

Serão permitidos os produtos seguintes: lamas bentoníticas, só para as microestacas sem função resistente aos esforços axiais; água; lamas poliméricas, desde que biodegradáveis e portanto conformes com as normas vigentes de segurança e higiene no trabalho; misturas de cimento; espumas; mistura de água e espuma, em sistemas de perfuração à rotação e à rotopercussão; ar (o fluxo só de ar é geralmente desaconselhável, especialmente em terrenos secos, pela grande quantidade de poeiras que se produzem, salvo o uso de sistema de redução de poeiras cujas eficácia será comprovada em estaleiro).

Completada a perfuração, providenciar-se-á à remoção dos detritos presentes no furo, ou em suspensão no fluído de perfuração, prolongando a circulação do mesmo fluído até ao seu completo aclareamento.

Prossegue-se, conseqüentemente, à inserção da armadura, até que se atinja a profundidade de projecto. Como norma, proceder-se-á imediatamente à cimentação da base da microestaca mediante tubagem, a partir do fundo do furo e em sentido ascendente.

Todos os escombros, as terras e os fluídos deverão ser transportados a um local de descarga apropriado, utilizando meios de transporte adequados; em particular para os líquidos e lamas deverão ser utilizadas vasilhas estanques. Em presença de valores anormais de PH, os líquidos e/ou lamas deverão ser adequadamente tratados ou, se possível, reciclados.

9.3 Estações enterradas

O método de contenção e escavação das estações deverá ser alvo de um estudo de detalhe nas sucessivas fases do projecto. Desde já pode-se preconizar a utilização de sistemas de entivação

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 27 de 37

com contenções laterais mais pesadas (paredes moldadas ou estacas) ou mais ligeiras (paredes berlinenses), conforme a condição geológica do local.

No cálculo da duração do tempo de obra que será apresentado no Capítulo 13, assumiu-se que a contenção seja realizada por paredes moldadas.

Em relação a todos os restantes processos de execução, montantes, muros e laje de soleira, seguir-se-ão os métodos habituais em obras de arte em betão armado, pelo que não lhes faremos aqui referência especial.

9.3.1 Paredes moldadas

De facto, as profundidades de escavação num contexto geológico-geotécnico por si mesmo difícil e sobretudo em área urbana, fazem privilegiar a escolha de obras de contenção das escavações com elevada inércia estrutural, de exequibilidade segura e fiável. As paredes moldadas contínuas em betão armado assumem as funções de suporte das paredes da escavação, tanto na fase provisória como na definitiva, e de contenção do nível freático eventualmente interferente com a fase de escavação.

Uma cuidada atenção deverá ser colocada quanto às tecnologias a adoptar na escavação e na execução dos painéis das paredes moldadas. De facto, o contexto urbano no qual a obra está inserida, os espaços limitados disponíveis na superfície que impõem reduzidas tolerâncias de execução na realização das cortinas, a forte probabilidade de encontrar em profundidade zonas de maciço rochoso de boa resistência, evidencia a oportunidade de recorrer à tecnologia executiva da hidrofresadora, a qual, perante um inevitável maior custo para a execução das obras de contenção, permite sem dúvida enfrentar com sucesso as criticidades acima referidas.

A tecnologia de realização deverá ser baseada num grupo de máquinas constituídas substancialmente, para a escavação, por dois equipamentos:

- o principal é a hidrofresadora, dotada com carro de lagartas com braço que suporta o grupo fresador constituído por utensílios contra-rotantes, munidos com dentes de metal de alta resistência, aptos à escavação também de materiais rochosos ou conglomerados naturais densos e cimentados, com acção contínua rasante e consequente despedaçar de material para torná-lo extraível com a circulação inversa das lamas bentoníticas;
- o secundário é o Kelly, que possui uma escavadora dotada com um balde para principalmente entrar na escavação e despoletar o circuito de lamas e executar os trabalhos auxiliares para a hidrofresadora.

9.3.2 Laje de cobertura

A laje de cobertura pode ser realizada com betonagem em obra, com elementos de aligeiramento, colocado directamente sobre uma camada de betão pobre para regularização da superfície, ou então com a utilização de elementos pré-fabricados e acabados em obra com uma laje de espessura reduzida.

Nesta fase examinam-se as vantagens e desvantagens das duas tipologias.

- 1) A fiabilidade é completa para ambos os sistemas.
- 2) O sistema pré-fabricado consente economias de tempo significativas para o reduzido volume de betonagem em obra e das armaduras em aço a colocar.
- 3) Do ponto de vista económico, as soluções são praticamente equivalentes, com possíveis e leves poupanças para a solução pré-fabricada.
- 4) A laje betonada em obra apresenta, de facto, uma maior flexibilidade e adaptabilidade, útil particularmente, na zonas interessadas pela abertura de poços de ventilação no túnel.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 28 de 37

5) Elementos pré-fabricados aptos a esta obra são encontrados com facilidade no mercado e são produzidos por inúmeras indústrias.

9.3.3 As fases de realização

A realização das estações prevê a seguinte sequência de execução:

- desvio de redes, escavações preliminares para a preparação do plano de trabalho;
- betonagem das vigotas-guia e realização dos painéis de paredes moldadas, com realização sequencial dos painéis primários e sucessivamente dos painéis secundários de fecho;
- escavação do terreno até à cota de fundo da laje de cobertura, limpeza e regularização da secção de encabeçamento das paredes moldadas, realização das vigas de encabeçamento de extremidade e execução da laje de cobertura com as aberturas para as saídas;
- onde necessário para a reabilitação da circulação rodoviária na superfície, colocação de impermeabilização na cobertura, re-enterramento e arranjo na superfície;
- escavação da paragem em subterrâneo, dentro da estrutura de contenção construída a partir da superfície;
- limpeza das paredes e do fundo da escavação, betonagem com betão pobre no fundo da escavação e execução da impermeabilização;
- execução da laje de fundo;
- execução das obras civis secundárias (escadas, locais técnicos, etc.) e dos acabamentos das;
- obras ferroviárias e instalações de equipamentos dentro da obra civil completa.

Os equipamentos deverão operar sobre um plano de trabalho adequado, realizado previamente, com superfície praticamente horizontal e com inclinação máxima admissível de 1%, adequadamente compactada de modo a evitar variações de ajustamento dos equipamentos durante o seu funcionamento.

Os eixos longitudinais das paredes moldadas serão materializados mediante pares de vigas-guia, paralelos e contrapostos com uma distância igual à espessura nominal da parede moldada, aumentado em 3÷5 cm.

As vigas-guia têm a função de guiar os utensílios de escavação. Maior atenção será colocada na sua execução tanto na parte dos traçados como na sua verticalidade, porquanto estes constituem o elemento fundamental para a correcta execução das paredes (cotas e alinhamento).

A distância mínima entre eixos de dois painéis de parede moldada, em fase simultânea de escavação escavação ou de betonagem, deverá ser tal que impeça eventuais fenómenos de interacção.

As operações de escavação são efectuadas com contínua alimentação e re-ciclo de lamas no painel escavado, para a extracção dos detritos de escavação.

A instalação para preparação das lamas é constituída por: silos de armazenamento da bentonite em pó; doseadores automáticos; misturadores automáticos capazes de garantir a subdivisão de partículas de bentonite suspensas; recipientes de agitação, maturação e armazenamento das lamas frescas produzidas; respectivas bombas e circuito de alimentação e de recuperação até às escavações; recipientes de recuperação; remoção de areias, recipiente de recolha das areias e de sedimentação das lamas não recuperáveis.

A lama será obtida misturando os seguintes componentes, até à obtenção de uma suspensão finamente dispersa: água doce do estaleiro; bentonite em pó; eventuais aditivos.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 29 de 37

Após a mistura, a suspensão será colocada nos recipientes próprios para a "maturação" das lamas, onde deverá permanecer por um tempo adequado antes de ser empregue na perfuração dos painéis.

Completada a perfuração, colocar-se-á em obra as malhas da armadura. O levantamento das malhas será de modo a não provocar deformações permanentes na própria malha. As malhas deverão ser colocadas na obra no interior da escavação gradualmente, tendo o cuidado de fazer a centragem na escavação.

Na betonagem será empregue o tubo de acompanhamento. A betonagem de um painel deverá no entanto, ser completada num tempo em que o betão permaneça sempre lavorável na zona de refluimento.

A extremidade superior das paredes moildadas será limpa e regularizada até evidenciar ao betão de boa qualidade e no entanto com espessura mínima de 50 cm, para o retomar da betonagem de ligação com as estruturas horizontais.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 30 de 37

10. FASEAMENTO CONSTRUTIVO

O faseamento previsto para a construção da linha do Metro Ligeiro do Mondego entre as Paragens de Sereia e Polo III encontra-se ilustrado na Figura 9.

As fases individualizadas tem a ver com a optimização da ocupação dos espaços públicos, visando minimizar os impactos na circulação rodoviária da cidade. As fases indicadas são seis, nomeadamente:

- Fase 0: cruzamento entre Rua Lourenço A. Azevedo e Rua Pedro Monteiro e portais do túnel mineiro em Sereia e Celas.

Esta fase inclui o desvio de rede no cruzamento acima referido, caso o projecto de execução o torne necessário, e a construção dos dois emboquilhamentos de Celas e Sereia. A execução do emboquilhamento Celas necessita que já seja executada a escavação da Paragem Celas.

- Fase 1: da paragem Sereia à Paragem Celas em túnel mineiro.

Para aumentar a produção desta Fase, está previsto utilizar duas frentes de arranque, a de Sereia (Frente 1) e a de Celas (Frente 2). A velocidade de avanço a partir da Frente 1 será maior por ser a escavação a subir.

- Fase 2 do fim da Paragem subterrânea de Celas até o cruzamento com a Rua S. Teotónio, ao longo da Avenida Armando Gonçalves.

Esta fase não apresenta particulares dificuldades enquanto o estaleiro encontra-se encostado à Avenida Armando Gonçalves que, pelas dimensões, permite reduzir temporariamente o número de faixas disponíveis sem alterar de forma substancial a circulação dos veículos.

Deverá apenas ser prestada atenção à fase de escavação a céu aberto em frente do edifício localizado entre Rua S. Teotónio e Av. A. Gonçalves, de forma a garantir os acessos em qualquer situação.

- Fase 3: do cruzamento entre Rua S. Teotónio e Av. Armando Gonçalves até ao fim da Paragem subterrânea do Hospital.

Esta fase chega a interessar o nó crítico da Rotunda do Hospital. A execução do troço em túnel a céu aberto e a execução da Paragem do Hospital serão oportunamente distanciadas no tempo, de forma a minimizar o impacto das áreas dos estaleiros na circulação rodoviária. Além disso, a localização do ponto de fim do troço interessado pela Fase 3 deixa espaço para permitir um acesso adequado ao Hospital por qualquer meio.

Ao cruzar a Rua S. Teotónio, a fase de escavação do túnel a céu aberto, colocação da estrutura pré-fabricada e aterro deverá interessar uma faixa de rodagem em cada vez, de forma a não cortar completamente o trânsito.

- Fase 4: do fim da Paragem subterrânea do Hospital até o início da Paragem superficial do Polo III de Universidade.

Esta fase pode ser ulteriormente subdividida em duas partes, conforme a tipologia de obra a realizar. De facto, a partir cerca do km 3+290 o traçado do túnel corre subterrâneo mas começa a correr a meia encosta de um pequena talude. O tipo de escavação requerida será portanto diferente, sendo necessário desmontar parte da encosta instalando as necessárias obras de contenção e suporte.

Às fases acima referidas somam-se as duas fases para a construção das paragens enterradas (Celas e Hospital). Enquanto a Paragem Hospital poderá ser realizada sem interrupções, a Paragem Celas será interrompida após a execução da laje de fundo para permitir o arranque da escavação do túnel mineiro da segunda frente, lado Celas. Só após finalização do túnel e utilização do portal Celas será possível continuar a construção da estação com a fase das obras civis secundárias e os acabamentos.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do trecho Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 31 de 37

Sendo respeitadas as hipóteses de base do presente estudo, a tipologia de obras de contenção a ser utilizada nas Fase 2, 3 e 4 será a mesma (ou seja entivação por microestacas onde necessárias). Assumindo de utilizar apenas um equipamento para cravar as microestacas, as referidas fases deverão ser obrigatoriamente sequenciais.

Por razões ligadas a garantir o acesso seguro do Hospital também pelos meios de emergência, não poderá aver sobreposição entre a Fase 4 e a realização da Paragem subterrânea do Hospital.

Finalmente, o gupo de fases “0-1-estações enterradas” e “2-3-4” poderá decorrer em paralelo.

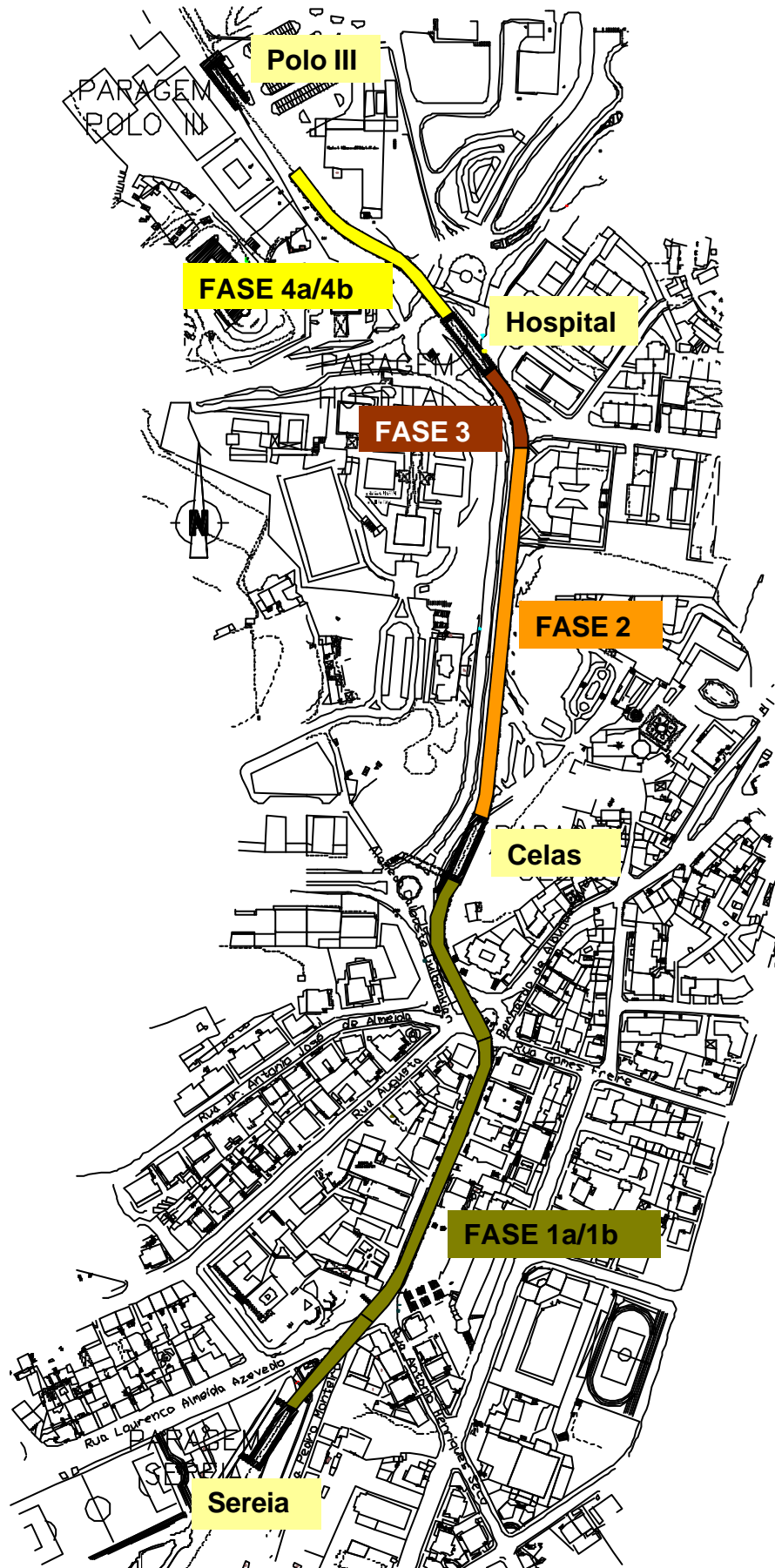


Figura 9 – Esquema do faseamento

11. VOLUMES ESCAVADOS

Os volumes escavados em cada uma das Fases de construção anteriormente descritas serão aproximadamente os referidos na tabela seguinte:

km início	km fim	Obra	Tipo	Comprimento	Volume escavado
2+340	2+780	Túnel Sereia-Celas	Túnel mineiro	440m	27.000-35.000 m ³
2+780	2+830	Paragem Celas	Paragem enterrada	50m	5.000-6.000 m ³
2+830	3+176	Túnel Celas-Hospital	Túnel a céu aberto	346m	29.000-30.000 m ³
3+176	3+326	Paragem Hospital	Paragem enterrada	50m	5.000-6.000 m ³
3+226	3+290	Túnel Hospital Polo III	Túnel a céu aberto	64m	5.500-6.500 m ³
3+290	3+400	Túnel Hospital Polo III	Túnel a céu aberto em embankamento a meia encosta.	110m	9.000-10.000 m ³
				TOTAL	80.000- 95.000 m³

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 34 de 37

12. REPOSIÇÕES

Uma vez que os tempos para planeamento dos desvios e reposições dos serviços afectados são normalmente longos, deverá ser dedicada uma equipa a estes planeamentos e estudos, de forma a assegurar que estas actividades não irão atrasar o programa estabelecido para a obra.

Os trabalhos relacionados com a reposição de serviços afectados deverão ser pormenorizados de acordo com os projectos de especialidades submetidas às diversas entidades. Nesta fase torna-se imperativo obter todas as aprovações das diversas entidades envolvidas, garantindo a resolução em tempo útil de quaisquer dificuldades levantadas.

Os trabalhos de reposição deverão ser levados a cabo com particulares cuidados. Por exemplo, uma vez assentes as canalizações, sobre almofada de areia, dever-se-á executar o aterro por camadas regadas, quando necessário, de modo a ficarem com o teor de humidade adequado à obtenção da compactação relativa especificada, e cuidadosamente batidas com placa vibradora, de modo a que a terra fique bem apertada contra as canalizações e uniformemente compactada para que não se produzam assentamentos diferenciais que possam pôr em perigo a estabilidade das canalizações.

RELATÓRIO TÉCNICO	Extensão em túnel do troço Celas – Polo III da Universidade. Estudo de Viabilidade	R2344_03_rev02
		Página 35 de 37

13. ESTIMATIVA DO TEMPO PREVISTO DE OBRA

A estimativa do tempo previsto de obra é feita com base no faseamento da construção descrito no Capítulo 10.

Além disso, consideraram-se os seguintes pressupostos:

- 2 turnos/dia, 5 dia/semana;
- n.1 equipamento para microestacas;
- n.1 hidrofresadora para paredes moldadas;
- produção do túnel mineiro a secção inteira a subir: 0.6 m/dia;
- produção do túnel mineiro a secção inteira a descer: 0.4 m/dia;
- produção microestacas por dia: 50m/dia.

Os tempos dos desvios e reposição das redes afectadas foram estimados com base em situações semelhantes, mas deverão ser alvos de um estudo mais cuidadoso.

Também os tempos de escavação foram estimados numa forma preliminar, enquanto dependentes do sistema de evacuação do material escavado e da sua eficiência.

Na análise estimativa dos tempos de obra não se consideraram as estações de Sereia e Polo III, não sendo estas incluídas nas obras subterrâneas.

Os tempos estimados, com base nas hipóteses acima referidas, encontram-se detalhados no Plano de Trabalho do Anexo 1.

Os dados principais podem assim ser resumidos:

- Tempo total de obra: **779 dias**
- Fase 0: 117 dias
- Fase 1a: 565 dias
- Fase 1b: 375 dias
- Fase 2: 265 dias
- Fase 3: 151 dias
- Fase 4a: 153 dias
- Fase 4b: 162 dias
- Paragem Celas: 300 dias
- Paragem Hospital: 630 dias

14. ESTIMATIVA DE CUSTOS DAS OBRAS CIVIS

A estimativa de custo baseia-se nos intervalos de custo unitário definidos, de larga máxima, no documento de referência n.2, nomeadamente:

- Túnel a céu aberto: 6.000÷9.500 €/m (sendo o limite superior relativo à utilização de perfis e placas de betão armado para a contenção lateral)
- Túnel mineiro, escavado com método convencional: 11.000÷13.000 €/m

Nas estimativas acima referidas é excluído o custo da eventual bombagem de água (a quantificar depois de o modelo geológico-idrogeológico da zona estar definido). Além disso, consideradas as supostas características do terreno, nas opções a céu aberto e cutcover não é contabilizado nenhum tampão de fundo (por ex., em *jet-grouting*) para garantir a estabilidade hidráulica do próprio fundo da escavação.

Em todas as estimativas de custos são excluído os custos da via e do armamento, dependentes do sistema escolhido, e das instalações (em particular salienta-se desde já a necessidade de construir poços de ventilação a meio caminho entre as estações que resultam ser ligadas através de soluções em túnel).

Nas estimativas de custo foi suposto um custo unitário das estações enterradas acabadas de 5-7 milhões de euros.

Solução	Túnel Sereia – Celas ⁽¹⁾		Túnel Celas – Polo III ⁽²⁾		TOTAL Trecho Sereia – Polo III (excluídas estações de início e fim)
	Descrição	Orçamento	Descrição	Orçamento	
S2	túnel mineiro	4,5 – 5,5 M€	túnel céu aberto; 2 estações enterradas	14,0 – 16,5 M€	€ 18.500.000 – 22.000.000

(1) Escluídas paragens Sereias e Celas; (2) Escluída paragem Polo III, incluídas paragens Celas e Hospital

Anexo II

Traçado em Planta e em Perfil Longitudinal

Anexo III

Faseamento Construtivo do Projecto em Estudo

Anexo IV

Estudo Geológico e Geotécnico

Anexo V

Estudo das Galerias Subterrâneas

Anexo V.1

Prospecção Geofísica por Georadar

Anexo V.2

Levantamento Altimétrico

Anexo VI

Plano de Pormenor do Pólo III

Anexo VII

Património

Anexo VII.1

Fotografia área de Coimbra com implantação do percurso urbano do MLM, nomeadamente a área do prolongamento do traçado em túnel, e dos sítios arqueológicos directa ou indirectamente influenciados

Anexo VII.2

Fichas de Sítios

Anexo VII.3

*Relatório da Leitura Pedosedimentológica de 3 carotes de sondagem geológica
ao longo da Linha do Hospital*

Anexo VIII

Análise de Riscos