





Metropolitano de Lisboa

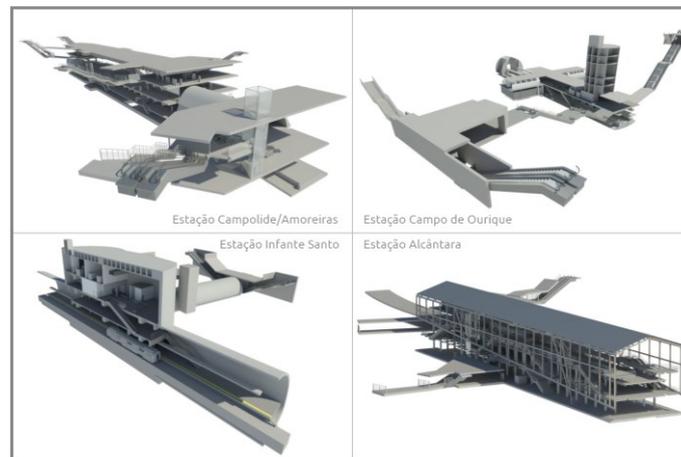


# METRO DE LISBOA

## LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

### EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

### PROJETO DE EXECUÇÃO



## TOMO VI – POÇOS DE VENTILAÇÃO

### VOLUME 1 – POÇO DE VENTILAÇÃO PV211

### MEMÓRIA DESCRITIVA – ESTRUTURAS PROVISÓRIAS

<b>Documento SAP:</b>	LVSSA MSA PE STR PVE PV211 MD 086000 0
-----------------------	--

	<b>Nome</b>	<b>Assinatura</b>	<b>Data</b>
Elaborado	André Henriques		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

1	OBJETIVO E ÂMBITO.....	4
2	ELEMENTOS DE BASE.....	5
3	CONDICIONAMENTOS.....	6
3.1	Traçado.....	6
3.2	Geologia e Geotecnia.....	6
3.2.1	Geral.....	6
3.2.2	Zonamento e Parametrização Geológico-Geotécnico.....	6
3.3	Desvios de Circulação.....	7
3.4	Ocupação de Superfície e de Subsolo.....	8
3.5	Interferências.....	8
3.5.1	Enquadramento.....	8
3.5.2	Estado do edificado, incluindo património, das infraestruturas enterradas e das infraestruturas ferroviárias.....	9
3.5.2.1	Atividades realizadas.....	9
3.5.2.2	Edifícios.....	9
3.5.2.3	Infraestruturas enterradas.....	10
3.5.3	Medidas de mitigação.....	10
3.6	Análise de danos e Demolições.....	10
3.7	Implantação.....	10
3.8	Segurança.....	11
3.9	Arquitetónicos.....	12
3.10	Compatibilidade com as Outras Especialidades.....	12
3.11	Ambiente.....	12
4	REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA.....	14
5	MATERIAIS.....	16
6	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	18
6.1	Tempo de vida útil.....	18
6.2	Classificação da obra de acordo com a sua importância.....	18
6.3	Classe de inspeção.....	18
6.4	Classe de fiabilidade.....	18
6.5	Categoria geotécnica da obra associada às estruturas de contenção.....	19
7	DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	20
7.1	Conceção geral.....	20
7.2	Estruturas de contenção do poço de ventilação.....	20

---

7.3	Suporte primário do túnel de ligação.....	23
8	FASEAMENTO CONSTRUTIVO.....	25
8.1	Poço de ventilação.....	25
8.2	Túnel de ligação.....	26
9	PROJETO DE ESTRUTURAS PROVISÓRIAS.....	28
9.1	Situações de projeto.....	28
9.1.1	Persistentes.....	28
9.1.2	Transitórias.....	28
9.2	Análise e dimensionamento.....	28
9.3	Ações.....	28
9.4	Combinações de Ações.....	29
9.4.1	Estados Limite Últimos.....	29
9.4.2	Estados Limite de Serviço.....	31
9.5	Verificação da Segurança.....	32
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34

---

## 1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa das estruturas provisórias do Poço de Ventilação PV211**, no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo VI – Poços de Ventilação do Volume 2 – Estruturas**.

---

## 2 ELEMENTOS DE BASE

Com base nos elementos do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, realizado pelo Metropolitano de Lisboa, fizeram-se as verificações necessárias bem como os acrescentos e ajustes considerados como pertinentes para otimização e desenvolvimento detalhado ao nível de Projeto de Execução, das soluções técnicas e elementos de obra, bem como dos processos e faseamento construtivos associados.

Os documentos considerados como elementos de entrada associados à obra foram os seguintes:

- Procedimento – Proc. n.º 125/2022–DLO/ML;
- Projeto de Execução, Tomo I – Geral, Volume 2 – Traçado;
- Projeto de Execução, Tomo I – Geral, Volume 6 – Estudo Geológico Geotécnico;
- Projeto de Execução, Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 1 – Arquitetura: PV211;
- Projeto de Execução, Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 1 – Arquitetura Paisagista: PV211;
- Projeto de Execução, Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 1 – Estruturas: PV211;
- Projeto de Execução, Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 1 – Projeto de Instrumentação e Observação: PV211;

## 3 CONDICIONAMENTOS

### 3.1 Traçado

A solução estrutural adotada e os processos e faseamento construtivos previstos encontram-se compatibilizados com o traçado da linha definido no Tomo I – Geral, Volume 2 – Traçado, do presente Projeto Execução.

A profundidade a que está colocado o P.B.V. (Plano Base da Via) relativamente à superfície, cerca de 25 m, condicionou a solução estrutural bem como o faseamento construtivo.

### 3.2 Geologia e Geotecnia

#### 3.2.1 Geral

De acordo com as condições conhecidas para terrenos com características semelhantes foram estabelecidas soluções de suporte que terão de ser confirmadas e/ou desenvolvidas nas próximas fases de projeto em função da interpretação dos resultados dos trabalhos de prospeção já concluídos e de eventuais campanhas de prospeção complementares.

Os condicionamentos Geológicos e Geotécnicos, são descritos, em detalhe, no Tomo I – Geral, Volume 6 – Estudo Geológico-Geotécnico, onde se definem também os trabalhos de prospeção complementares.

Apresentam-se na Figura 1 o excerto da planta e perfil geológico-geotécnico na zona do PV211.

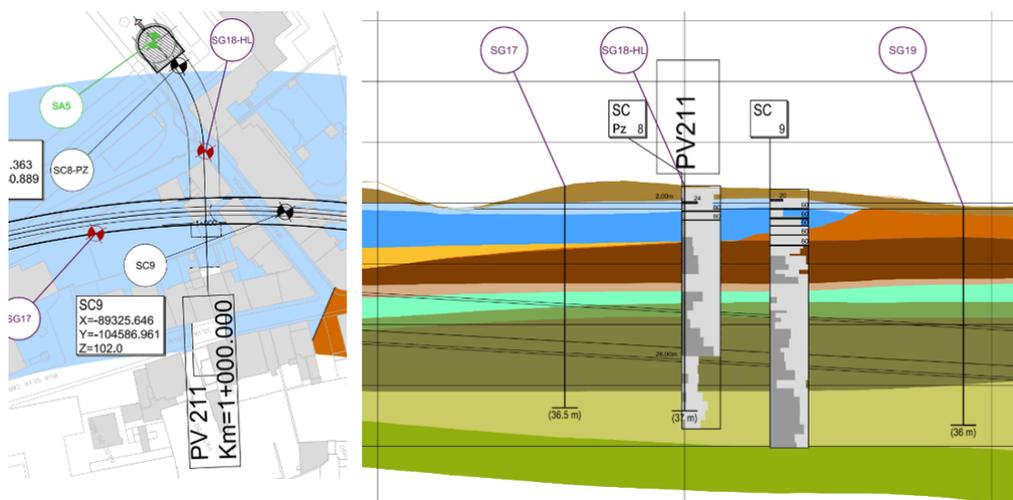


Figura 1 - Planta e perfil longitudinal – Geologia / Geotecnia.

#### 3.2.2 Zonamento e Parametrização Geológico-Geotécnico

O PV211, com um desenvolvimento vertical da ordem dos 30 m, abaixo dos materiais recentes de cobertura (aterros), atravessa materiais miocénicos da “Formação dos Prazeres”, predominantemente argilas e margas, materiais do CVL – “Complexo Vulcânico de Lisboa”, aqui com basaltos sob uma estreita passagem de tufo na base, interessa ainda terrenos cretácicos da Formação da Bica, nomeadamente as unidades Calcário CC1a (argila margosa), Calcário Cc1b (calcário nodular), e Cc1c (calcário semi-cristalino a cristalino com rudistas) onde ficará a sua soleira.

Sem prejuízo da possível existência de níveis de água suspensos, considera-se que na zona envolvente ao PV211 o nível de água se situe sensivelmente à cota +75,00.

Da análise desenvolvida às condições geológico-geotécnicas na zona da obra, resultam os parâmetros geotécnicos resumidos nas seguintes tabelas.

Tabela 1 – Características geológico-geotécnicas e parâmetros geotécnicos das unidades terrosas (1/2).

Unidade	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kPa)	$E_u$ (MPa)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E'$ (MPa)	$K_0$	$k$ (m/s)	$\nu$	$\sigma$ (MPa) [rocha]	$E'$ (GPa) [rocha]
ATERRO, At	18	20	---	---	0	28	8	0,5	10 <sup>-5</sup>	0,35	---	---
ALUVIÃO, a(ar)	19	21	---	---	0	34	50	0,5	10 <sup>-5</sup>	0,30	---	---
ALUVIÃO, a(ag)	17	19	10	10	0	28	4	0,5	10 <sup>-8</sup>	0,46	---	---
ALUVIÃO, a(cg)	20	22	---	---	0	35	75	0,5	10 <sup>-4</sup>	0,30	---	---
MIOCÉNICO, M(ag)a NSPT > 50	22	23	350	100	10	33	60	1,0	10 <sup>-8</sup>	0,33	---	---

Tabela 2 – Características geológico-geotécnicas e parâmetros geotécnicos das unidades terrosas (2/2).

Unidade	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kPa)	$E_u$ (MPa)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E'$ (MPa)	$K_0$	$k$ (m/s)	$\nu$	$\sigma$ (MPa) [rocha]	$E'$ (GPa) [rocha]
MIOCÉNICO, M(ag)b NSPT < 50	21	22	180	40	5	28	20	1,0	10 <sup>-8</sup>	0,38	---	---
MIOCÉNICO M(cal)	24	24	---	---	100	34	400	0,8	10 <sup>-5</sup>	0,25	---	---
OLIGOCÉNICO, $\phi$	20	22	400	150	15	30	75	1,2	10 <sup>-7</sup>	0,30		
BASALTO, $\beta$	26	26	---	---	200	40	2000	0,8	10 <sup>-7</sup>	0,26	20	12
BASALTO, $\beta_{w5;w4/5}$	21	23	---	---	50	35	250	0,7	10 <sup>-6</sup>	0,28	---	---
TUFOS, $\tau$	20	21	---	---	60	35	120	1,0	10 <sup>-7</sup>	0,27	---	---
CALCÁRIO, Cc1a	23	23	---	---	50	32	60	0,8	10 <sup>-7</sup>	0,23	---	---
CALCÁRIO, Cc1b	24	24	---	---	90	38	325	0,8	10 <sup>-7</sup>	0,21	9	3
CALCÁRIO, Cc1c	25	25	---	---	300	42	4000	0,8	10 <sup>-6</sup>	0,21	50	27,5
CALCÁRIO, Cc1d	24	24	---	---	120	40	1250	0,8	10 <sup>-7</sup>	0,21	12	6
CALCÁRIO DE CANEÇAS	23	23	---	---	100	35	400	0,8	10 <sup>-7</sup>	0,25	5	1,5

### 3.3 Desvios de Circulação

Ao longo da duração da obra os estaleiros e áreas reservadas junto à zona a realizar a céu aberto, que interfiram com a circulação existente, serão demarcadas como áreas temporárias de ocupação com os consequentes desvios de trânsito.

Os desvios de circulação são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 12 – Projeto Viário, deste Projeto de Execução.

Os estaleiros são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 09 – Outras Estaleiros, deste Projeto de Execução.

### 3.4 Ocupação de Superfície e de Subsolo

A execução a céu aberto do poço é passível de interferir com as redes de infraestruturas existentes no subsolo. As infraestruturas serão objeto de desvios provisórios/definitivos ou eventual suspensão, de modo a compatibilizar-se com o faseamento construtivo proposto.

Os serviços afetados são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 3 – Serviços Afetados, deste Projeto de Execução.

Uma vez que se encontra implantada num lote desocupado não se prevê que as edificações envolventes à estrutura venham a condicionar os processos de escavação e construção, tanto do poço de ventilação como do túnel secundário de ligação.

Verifica-se, no entanto, uma proximidade com edificações afetas ao aqueduto pelo que o processo construtivo do túnel secundário deverá prever uma monitorização continua desta infraestrutura, relevante tanto do ponto de vista funcional como patrimonial.

### 3.5 Interferências

#### 3.5.1 Enquadramento

A avaliação de danos será realizada com base na metodologia preconizada no Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha, já mencionada nos Critérios Gerais de Projeto, apoiada pelas recomendações do Eurocódigo 7, Anexo H e ainda pelo relatório ITA/AITES Report 2006 – Settlements induced by tunneling in Soft Ground.

Genericamente, todas as interferências estudadas encontram-se dentro da faixa de 30 m de ambos os lados do eixo do traçado e na zona de influência das escavações. A avaliação risco contemplou diversos tipos de interferências (EIEIF), nomeadamente:

- Edificado, incluindo os de interesse patrimonial;
- Infraestruturas enterradas;
- Infraestruturas ferroviárias.

Após a realização da avaliação de danos, em função do tipo de interferência e da magnitude dos danos estimados, serão selecionadas medidas de mitigação de assentamentos tendo em consideração:

- Tipo de obra a realizar;
- Cenário geológico, geotécnico e hidrogeológico estimado;
- Relação custo-benefício.

A execução dos trabalhos de escavação irá originar alterações do estado de tensão do maciço que resultarão em descompressões e conseqüentemente em deslocamentos na sua zona de influência. O método construtivo adotado em combinação com o comportamento das estruturas e dos materiais intercetados condicionará a magnitude dos deslocamentos induzidos nas estruturas nele fundadas (doravante denominadas interferências). Em função da grandeza dos deslocamentos e da natureza das interferências, os efeitos dos deslocamentos poderão ser significativos e resultar em danos, pelo que importa analisar os seus efeitos. Com este objetivo, a metodologia proposta, permite quando necessário e aplicável, definir medidas de mitigação.

A presente avaliação de danos foi realizada de acordo com os requisitos do Caderno de Encargos. De modo a abranger as várias tipologias de interferências presentes no ambiente urbano em que a obra se insere, foi necessário complementar a metodologia patenteada, resultando no processo descrito no ponto seguinte do presente documento.

## 3.5.2 Estado do edificado, incluindo património, das infraestruturas enterradas e das infraestruturas ferroviárias

### 3.5.2.1 Atividades realizadas

Com o objetivo de melhor caracterizar os edifícios, as infraestruturas enterradas e as infraestruturas ferroviárias, foi realizada uma consulta da informação cadastral, dos elementos técnicos (plantas) disponíveis e de fotografias históricas e, onde possível, realizadas visitas.

Para os edifícios abrangidos pela faixa de perturbação, tentou-se recolher sempre que possível informações sobre as características das suas fundações, nomeadamente, o tipo de fundação e a cota estimada a que estas poderão estar localizadas.

Para a caracterização das infraestruturas enterradas e das infraestruturas ferroviárias na zona de influência dos trabalhos de escavação, serão realizados contactos com as entidades concessionárias das infraestruturas com o objetivo de aferir o seu posicionamento e estado de conservação. Paralelamente, serão realizadas vistorias aos serviços e efetuados levantamentos topográficos dos elementos visíveis à superfície.

### 3.5.2.2 Edifícios

O projeto insere-se numa zona urbana cujo edificado foi construído em diferentes períodos históricos e em que a sua composição, estado de conservação e tipo de estrutura, diferem significativamente.

Na avaliação da suscetibilidade de edifícios foi também considerado o seu valor histórico-cultural, particularmente se no que respeita ao facto de o mesmo ser considerado património classificado. Assim, com o objetivo de incluir na avaliação de risco esta componente, foi incorporado um fator de agravamento da categoria de risco, descrita no Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha.

A análise dos elementos acima referidos em combinação com o posicionamento dos edifícios em relação aos trabalhos de escavação, permitiu identificar os edifícios mais suscetíveis à ocorrência de danos (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Edifícios mais suscetíveis à ocorrência de danos

N.º	CATEGORIA	LOCALIZAÇÃO
055	Edifício	Travessa do Barbosa, 2
056	Edifício	Travessa do Barbosa, 2 - edifício 1
057	Edifício	Travessa do Barbosa, 2 - edifício 2
059	Edifício	Travessa do Barbosa, 2 - edifício 4
061	Edifício	Travessa do Barbosa, 3-15
062	Edifício	Travessa do Barbosa, 4
063	Edifício	Travessa do Barbosa, 6
064	Edifício	Travessa do Barbosa, 8
065	Edifício	Travessa do Barbosa, 10
066	Edifício	Travessa do Barbosa, 12
067	Edifício	Travessa do Barbosa, 19
068	Edifício	Travessa do Barbosa, 21

N.º	CATEGORIA	LOCALIZAÇÃO
069	Edifício	Travessa do Barbosa, Aque
070	Edifício	Rua Gorgel do Amaral, 5
071	Edifício	Rua Gorgel do Amaral, 6
072	Edifício	Rua Gorgel do Amaral, 7

### 3.5.2.3 Infraestruturas enterradas

O traçado do projeto atravessa uma área da cidade de Lisboa que é simultaneamente servida por infraestruturas enterradas para saneamento, drenagem, abastecimento de água, telecomunicações e eletricidade.

À semelhança do referido no ponto anterior para edifícios, também as infraestruturas enterradas foram instaladas em diferentes períodos históricos, em que a sua composição, estado de conservação e material utilizado, diferem significativamente (ver documento sobre serviços afetados emitido no âmbito de cada volume).

A análise dos elementos acima referidos, em combinação com o posicionamento das infraestruturas enterradas em relação aos trabalhos de escavação, permitiu identificar as infraestruturas enterradas mais suscetíveis à ocorrência de danos (Tabela 4). Assinala-se que algumas destas infraestruturas serão desviadas faseadamente durante a execução dos trabalhos.

Tabela 4 – Infraestruturas enterradas mais suscetíveis à ocorrência de danos.

N.º	CATEGORIA	LOCALIZAÇÃO
058	Serviço	Travessa do Barbosa, 2 – reservatório
060	Serviço	Travessa do Barbosa, 2 – aqueduto EPAL

### 3.5.3 Medidas de mitigação

Para a fase de Projeto de Execução, foi realizada uma referenciação de danos nas interferências mais suscetíveis, tendo-se concluído, nesta fase do projeto e numa primeira aproximação, não ser necessário realizar medidas específicas de reforço estrutural. A monitorização de cada interferência pode ter que ser reforçada função do seu nível de suscetibilidade perante a obra.

## 3.6 Análise de danos e Demolições

A avaliação de danos em interferências ao longo do traçado, assim como a definição de critérios de danos em estruturas ou infraestruturas situadas na vizinhança da obra, encontra-se desenvolvida no Tomo I – Geral, Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha.

As interferências resultantes da construção do túnel que resultam em necessidade de demolições, encontram-se retratadas no Tomo I – Geral, Volume 27 – Demolições ao Longo da Linha, do presente Projeto de Execução.

## 3.7 Implantação

O PV211 está localizado na Rua Gorgel do Amaral sobre uma área verde próxima do aqueduto das águas livres e ao reservatório do Arco como representado na Figura 2.

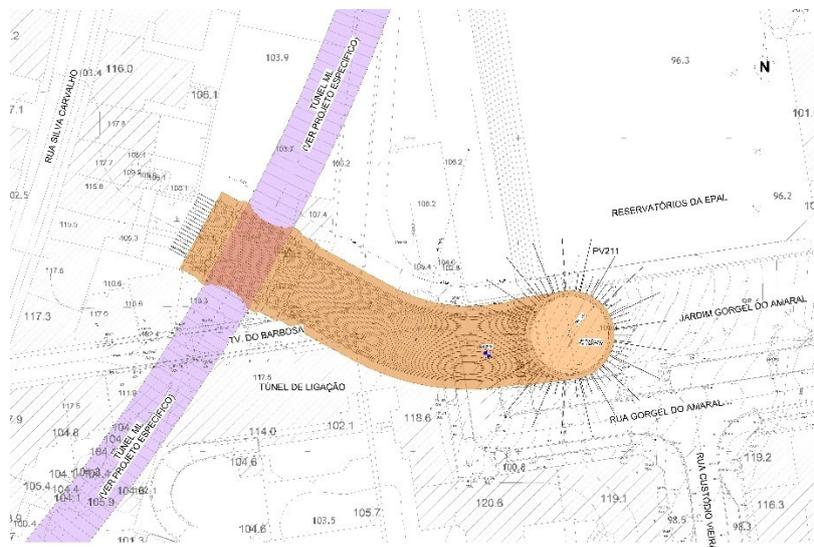


Figura 2 – Implantação do PV211 e do respetivo túnel de ligação

De acordo com o programa preliminar, a implantação do poço de ventilação na localização mencionada acima foi condicionada pela necessidade de assegurar condições de fuga, segurança, ventilação e exaustão de fumos (em caso de incêndio) no troço em que se insere e pela necessidade de uma área livre suficiente para a implantação à superfície e para o estaleiro durante a construção.

A profundidade deste poço foi condicionada pela cota do túnel do metropolitano nesta zona sendo que a ligação entre as duas estruturas é assegurada por um túnel secundário implantado à mesma cota.

Tendo em conta o recobrimento do poço e na proximidade a estruturas existentes, na próxima fase do projeto será efetuado um levantamento cuidadoso das interferências identificadas de modo a mitigar os danos associados à execução da obra.

### 3.8 Segurança

A atividade de prevenção de riscos profissionais tem uma matriz de referência baseada num conjunto de princípios gerais de prevenção:

1. Evitar os riscos;
2. Avaliar os riscos que não possam ser evitados;
3. Combater os riscos na origem;
4. Adaptar o trabalho ao trabalhador;
5. Ter em conta o estado de evolução técnica;
6. Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso;
7. Planificar a prevenção;
8. Dar prioridade à prevenção coletiva em relação à individual;
9. Dar formação e instruções adequadas aos trabalhadores.

Estes princípios devem nortear a ação de todos os intervenientes durante todo o processo de construção. Apresenta-se nas peças desenhadas do presente Projeto de Execução, subscrivendo as orientações do Dono de Obra apresentadas no Programa Preliminar, desenho de notas gerais com uma lista não exaustiva de atividades que envolvem riscos especiais para a segurança e

saúde dos trabalhadores decorrentes da execução do projeto e as ações para a prevenção de riscos associados à realização dos trabalhos.

Será da responsabilidade da Entidade Executante desenvolver o Plano de Segurança e Saúde, conforme indicado no Caderno de Encargos, e garantir a sua implementação na fase de execução da obra.

### 3.9 Arquitetónicos

O presente Projeto de Execução procura atingir as soluções técnicas mais adequadas e que estão compatibilizadas com o Projeto de Execução de Arquitetura (Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 1 – Arquitetura).

### 3.10 Compatibilidade com as Outras Especialidades

O presente Projeto de Execução está compatibilizado com todas as restantes especialidades, nomeadamente:

- Tomo I – Geral, Volume 2 – Traçado;
- Tomo I – Geral, Volume 3 – Via-Férrea;
- Tomo I – Geral, Volume 4 – Coluna seca;
- Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 1 – Arquitetura;
- Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 3 – Serviços afetados;
- Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 4 – Fluídos;
- Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 5 – Energia;
- Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 6 – Telecomunicações;
- Tomo VI – Poços de Ventilação, Volume 7 – Mecânica;

### 3.11 Ambiente

O projeto do “Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara” está sujeito a Avaliação de Impacte Ambiental, tendo sido desenvolvido um Estudo de Impacte Ambiental e emitida uma Declaração de Impacte Ambiental (DIA) que determina uma **Decisão Favorável Condicionada** ao cumprimento dos termos e condições expressas na DIA (processo de AIA n.º 3462), na qual se identificam as medidas de minimização gerais a implementar em fase de construção, a serem complementadas em fase do Projeto de Execução com a realização do Relatório de Conformidade Ambiental com o Projeto de Execução (RECAPE).

No desenvolvimento do presente Projeto de Execução foram consideradas as seguintes medidas:

- Cumprimento das áreas mínimas de intervenção, necessárias à realização dos trabalhos, apresentadas no Programa Preliminar do M.L.;
- Consideração das medidas e recomendações constantes da DIA (processo de AIA n.º 3462);
- Consulta dos elementos patenteados a concurso referentes à identificação de todas as interferências ao longo do traçado e ao levantamento dos respetivos cadastros para análise nas fases seguintes de projeto. Nesta fase realizou-se uma análise de risco aos edifícios interferidos seguindo a metodologia de avaliação de danos nos edifícios devido a escavações profundas e de túneis patenteada pelo M.L., que consta do Tomo I – Geral, Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha, do presente Projeto de Execução;

- 
- Adoção de faseamentos construtivos que promovam a realização dos trabalhos no prazo mais curto e que minimizem o impacto sobre a vida da comunidade e sobre o património edificado;
  - Definição de um plano de instrumentação e observação, que se encontra enquadrado no presente Projeto de Execução em cada volume de frente de obra (a detalhar devidamente em Projeto de Execução), no sentido de detetar, quantificar e prevenir possíveis danos nas estruturas (por exemplo, ao nível do edificado) e deformações da superfície, bem como prevenir que eventuais deformações tenham consequências ao nível do edificado.

## 4 REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA

O Projeto será desenvolvido de acordo com a regulamentação nacional em vigor, ou europeia em caso de omissão, destacando-se as seguintes normas:

- NP EN 1990 – Bases para projetos de estruturas (ECO);
- NP EN 1991 – Bases de projeto e ações em estruturas (EC1);
- NP EN 1992 – Projeto de Estruturas de Betão (EC2);
- NP EN 1993 – Projeto de Estruturas de Aço (EC3);
- NP EN 1994 – Projeto de Estruturas mistas Aço-Betão (EC4);
- NP EN 1997 – Projeto Geotécnico (EC7);
- NP EN 1998 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos (EC8);
- fib Model Code 2010 for Concrete Structures;
- Normas de Projeto de estruturas do Metropolitano de Lisboa.

Serão ainda consideradas as seguintes normas de execução:

- NP EN 206 – Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade;
- NP EN 13670-1 – Execução de estruturas de betão. Parte 1: Regras Gerais;
- NP EN 14199 – Execução de obras geotécnicas especiais: Microestacas;
- NP EN 1537 – Execução de obras geotécnicas especiais: Ancoragens;
- EN ISO 22447-5 – Geotechnical investigation and testing – Testing of geotechnical structures – Part 5: Testing of grouted anchors;
- EN 1536 – Execution of Special Geotechnical Works: Bored piles;
- EN 14490 – Execution of Special Geotechnical Works: Soil nailing;
- NP EN 197-1 – Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes;
- NP EN 197-2 – Cimento. Parte 2: Avaliação de conformidade;
- NP EN 13251 – Geotêxteis e produtos relacionados. Características requeridas para a utilização em obras de terraplenagem, fundações e estruturas de suporte;
- NP EN 14487-1 – Betão projetado. Parte 1: Definições, especificações e conformidade;
- NP EN 14487-2 – Betão projetado. Parte 2: Execução;
- NP EN 14889-1 – Fibras para betão – Parte 1: Fibras de aço – Definições, especificações e conformidade;
- NP EN 14488-5 – Ensaio do betão projetado – Parte 5: Determinação da capacidade de absorção de energia de provetes de lajes reforçadas com fibras;
- NP EN 445 – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio;

- 
- NP EN 446 – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Procedimentos para injeção;
  - NP EN 447 – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes.

## 5 MATERIAIS

As características dos materiais a adotar para as estruturas provisórias encontram-se resumidas nas tabelas seguintes.

Tabela 5 – Suporte Primário. Características dos materiais (1/2).

MATERIAIS	PROPRIEDADES	
BETÃO	BETÃO PROJETADO (VIA HÚMIDA)	C30/37 XC4(P) CL 0,4 DMAX.10 S5
	BETÃO MOLDADO EM GERAL	C30/37 XC4(P) CL 0,4 DMAX.22 S3
	BETÃO EM ESTACAS	C30/37 XC4(P) CL 0,4 DMAX.15 S4
	REGULARIZAÇÃO/ENCHIMENTO	C12/15 X0(P) CL 1.0 DMAX.25 S3
CALDA DE CIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS	$f_{ck}$ MÍN. = 25 MPa
FIBRAS METÁLICAS	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	1500 MPa
	COMPRIMENTO (EXTREMIDADE COM GANCHO)	< 35 MM
	ESBELTEZA, L/D	65
	CLASSE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA:	E700
FIBRA DE VIDRO	RESISTÊNCIA À TRACÇÃO	$\geq 2000$ MPa
	CARGA NOMINAL DE ROTURA	430 kN
AÇO	CHAPAS E PERFIS METÁLICOS	S 355 JR
	PRE-ESFORÇO	EN 10138-3-Y1860S7-15,7-F1-C1
	CAMBOTAS TRELIÇADAS	A 500NR
	REDE ELETROSSOLDADA	A 500ER
	ENFILAGENS	S 355 JR
	MICROESTACAS	N80 API 5A
	Elementos de fixação metálica	CLASSE 8.8
PREGAGENS DE TUBO EXPANSIVO	CARGA MÍNIMA DE CEDÊNCIA	$P_y = 130$ kN
	TIPO DE AÇO	S 355 MC
No caso particular das soldaduras de elementos de construção metálica, a sua preparação e execução deverá obedecer ao estipulado no EC3 e NP EN 1090		

Tabela 6 – Suporte Primário. Características dos materiais (2/2).

MATERIAIS	PROPRIEDADES	
GEODRENOS	TUBO DE POLIETILENO RÍGIDO, CORRUGADO E RANHURADO	SN2
GEOTÊXTIL DO GEODRENO	MASSA POR UNIDADE DE ÁREA (EN 9864)	150 g/m <sup>2</sup>
	MASSA POR UNIDADE DE ÁREA (EN 9864)	2 mm
	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (EN ISO 10319)	4,5 KN/m

MATERIAIS	PROPRIEDADES	
	ALONGAMENTO À CARGA MÁXIMA (EN ISO 10319)	80 %
	PUNÇAMENTO ESTÁTICO (EN ISO12236)	≥ 700 N
	RESISTÊNCIA À PERFURAÇÃO DINÂMICA (EN 918)	≤ 28 mm
	DURABILIDADE	[DURAÇÃO ESTIMADA DE, NO MÍNIMO, 25 ANOS EM TERRENO COM 4 < PH < 9 E TEMPERATURAS < 25°C (TEMPO DE EXPOSIÇÃO MÁXIMO DE 1 SEMANAS APÓS INSTALAÇÃO)]

Tabela 7 – Estruturas provisórias. Recobrimentos nominais das armaduras.

Recobrimentos Nominais (*)	
Elemento	Recobrimento nominal
Estacas	75 mm
Vigas de coroamento e distribuição	35 mm

(\*) - Recobrimento mínimo + Margem de cálculo para as tolerâncias de execução = Recobrimento nominal.

## 6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

### 6.1 Tempo de vida útil

Tendo em conta o preconizado no ponto 2.3 do Anexo Nacional da NP EN 1990, a estrutura é classificada com sendo uma estrutura de categoria do tempo de vida útil de projeto 5, a qual corresponde um valor indicativo de tempo de vida útil de projeto de 100 anos.

### 6.2 Classificação da obra de acordo com a sua importância

A classificação da obra de acordo com a sua importância é realizada de acordo com o especificado no Anexo Nacional da EN 1990.

Tendo em conta a definição das classes de consequências apresentada no quadro B.1 da EN 1990, as Estações e Poços de Ventilação são parte integrante de uma infraestrutura cujo colapso representa “consequência elevada em termos de perda de vidas humanas; ou consequências económicas, sociais ou ambientais muito importantes”, pelo que se classificam como sendo da classe de consequência CC3.

### 6.3 Classe de inspeção

De acordo com a norma NP EN 13670 – 1 anexo G, quadro G.1, a estrutura da estação enquadra-se na classe de inspeção 3, para betão moldado.

### 6.4 Classe de fiabilidade

A Classe de Fiabilidade é definida de acordo com o anexo nacional da NP EN 1990. Tendo em conta que a obra definitiva é da classe de consequência CC3, de acordo com o ponto B.3.2 do Anexo B, fixa-se a classe de fiabilidade RC3 para a obra.

De acordo com a NP EN 1990, a classe de fiabilidade RC3 pode ser garantida através da combinação das medidas definidas nas alíneas c), d) e e) do ponto 2.2 (5), nomeadamente:

- c) medidas relacionadas com a gestão da qualidade;
- d) medidas destinadas a reduzir erros de projeto e de construção da estrutura, e erros humanos grosseiros;
- e) outras medidas relacionadas com as seguintes questões de projeto:
  - os requisitos gerais;
  - o grau de robustez (integridade estrutural);
  - a durabilidade, incluindo a escolha do tempo de vida útil de projeto;
  - a extensão e a qualidade das prospeções preliminares dos solos e as possíveis influências ambientais;
  - o rigor dos modelos mecânicos utilizados;
  - as disposições construtivas.

No presente projeto, encontram-se implementadas as medidas indicadas nas alíneas c) e d) acima, de acordo com o preconizado na alínea (b) do ponto B.1 e os procedimentos definidos nos pontos B.4 e B.5 do anexo B do ECO, nomeadamente:

- Nível de supervisão de projeto, DSL3, compatível com a classe de fiabilidade RC3, traduz-se num requisito de supervisão alargada, realizada por uma entidade distinta da que elaborou o Projeto;
- Nível de inspeção durante a execução, IL3, compatível com a classe de fiabilidade RC3, traduz-se num requisito de inspeção alargada, realizada por terceiros (Fiscalização da Empreitada de Construção).

Complementarmente, tendo em consideração a fixação do tempo de vida útil de projeto de 100 anos, o plano de prospeção geológico-geotécnica complementar previsto para a empreitada, a robustez das estruturas definitivas (nomeadamente a não integração e consideração de estruturas de contenção provisória nas estruturas definitivas) e outras disposições construtivas,

tais como a adoção de sistemas de impermeabilização, conjugadas com as especificações técnicas que integram as Cláusulas Técnicas do Caderno de Encargos, garante-se também a classe de fiabilidade RC3 no que se refere ao cumprimento das medidas indicadas da alínea e) acima. Nas situações omissas, que forem posteriormente identificadas, poderão ser elaboradas especificações técnicas e ensaios de verificação complementares aos já previstos no CE.

## 6.5 Categoria geotécnica da obra associada às estruturas de contenção

A NP EN 1997-1:2010 estabelece-se a Categoria Geotécnica (CG1, CG2 ou CG3) do projeto em função da sua complexidade e classe de consequências.

Tendo em conta a definição das classes de consequências apresentada no quadro B.1 da NP EN 1990, os Poços de Ventilação fazem parte integrante de uma infraestrutura cujo colapso representa “consequência elevada em termos de perda de vidas humanas; ou consequências económicas, sociais ou ambientais medianamente importantes” (CC3), considera-se ainda que o grau de complexidade do projeto geotécnico é médio. Assim, para uma classe de consequências CC3, para uma complexidade do projeto geotécnico médio, atribui-se a Categoria Geotécnica 3 (CG3), de acordo com o Quadro IV do Anexo Nacional da NP EN 1997-1:2010.

## 7 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

### 7.1 Conceção geral

Os Poços de Ventilação (PV's) foram previstos aproximadamente a meia distância entre estações consecutivas e no término, em função das necessidades da ventilação dos túneis, mas o seu posicionamento é igualmente favorável na organização da escavação uma vez que estes servem, simultaneamente, como poços de ataque e permitem o avanço dos trabalhos em duas frentes.

O PV211 está localizado na Rua Gorgel do Amaral sobre uma área verde próxima do aqueduto das águas livres e ao reservatório do Arco como representado na Figura 2.

A conceção subterrânea do poço PV211 é composta por um Poço Principal de 16.00 m de diâmetro interior e uma profundidade de cerca de 30m, e um Túnel de ligação de aproximadamente 70m de comprimento. Dadas as características favoráveis dos maciços presentes na região do traçado do túnel, este poderá ser executado com a aplicação da metodologia NATM, em que em cada avanço da escavação segue-se a aplicação do suporte primário e posteriormente a aplicação do revestimento secundário, conforme apresentado em detalhe no capítulo relativo ao faseamento construtivo.

O recobrimento sobre o Túnel é de, aproximadamente, 16 a 17 m, e é composto, maioritariamente, por um maciço constituído predominantemente por Miocénico M(ag(a)) até cerca de 11m de profundidade, seguido de uma camada de Basalto  $\beta$  de espessura variável e rocha calcária Cc1a a Cc1d nas camadas inferiores, abaixo da abóbada.

Para a escavação do poço, e atendendo à boa qualidade do maciço calcário abaixo da camada basáltica, preconiza-se uma solução com recurso à escavação com contenção em betão projetado com pregagens até à base do poço. Acima da camada basáltica, a contenção é realizada com recurso a cortina de estacas secantes (com estacas primárias em betão simples e secundárias em betão armado). As estacas serão solidarizadas entre si através da viga de coroamento e de uma viga de cintagem a executar a cerca de 2,5m de altura desde a base da estaca.

### 7.2 Estruturas de contenção do poço de ventilação

A solução de contenção associada à fase de escavação do poço consiste na execução de uma cortina de estacas  $\varnothing 800$  mm secantes, em betão não armado, com um afastamento em planta de 1.20 m entre eixos, intercaladas por estacas igualmente de  $\varnothing 800$  mm em betão armado conforme representado na Figura 3. As estacas serão encabeçadas por uma viga de coroamento retangular 0.80x1.00 (L x H), em betão armado, de modo a assegurar a solidarização da cabeça das estacas.

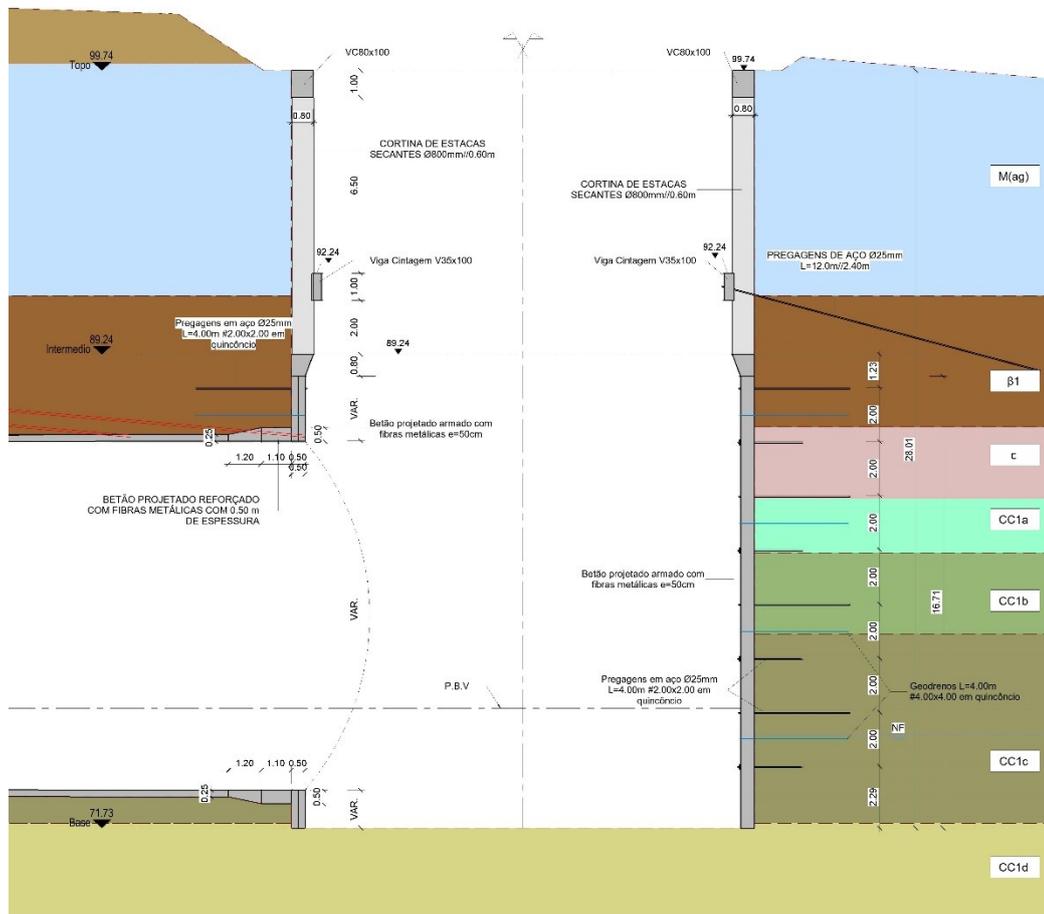


Figura 3 – Corte tipo da solução de contenção do poço PV211 (1/2).

Esta cortina de estacas vencerá o desnível entre a cota do terreno natural e a abóbada do túnel de ligação, onde será executada uma viga em betão armado com 0.35x1.00 m (LxH) que assegurará a cintagem das estacas nesta zona onde a presença do túnel de ligação impossibilita o seu encastramento nas cotas abaixo do fundo da escavação. Ao longo da viga de cintagem serão distribuídas pregagens radiais, em aço Ø25mm, com um comprimento mínimo de 12 m inseridas em furo Ø76 mm (Figura 4).

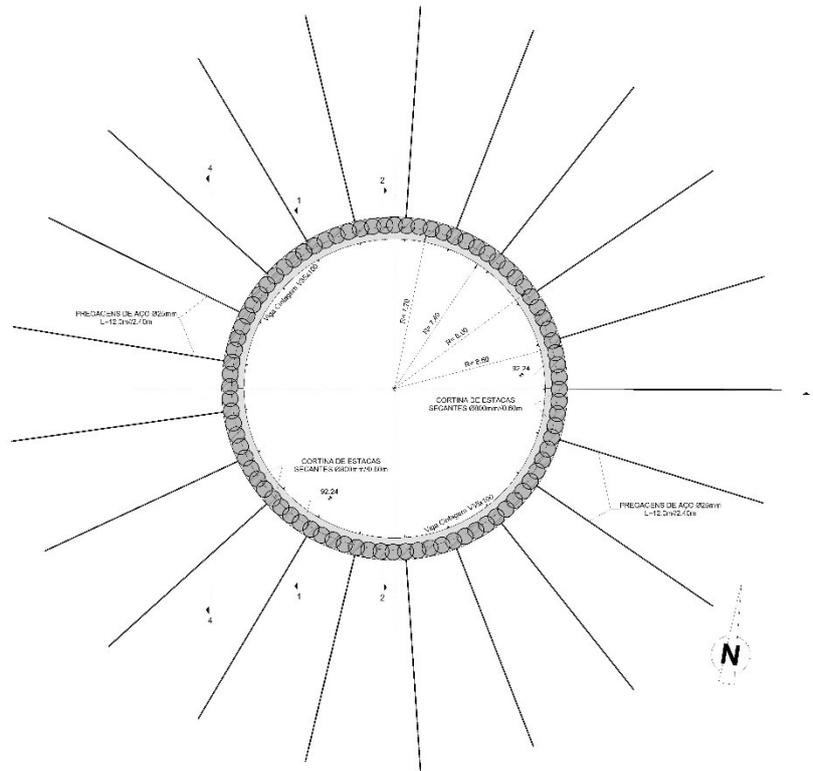


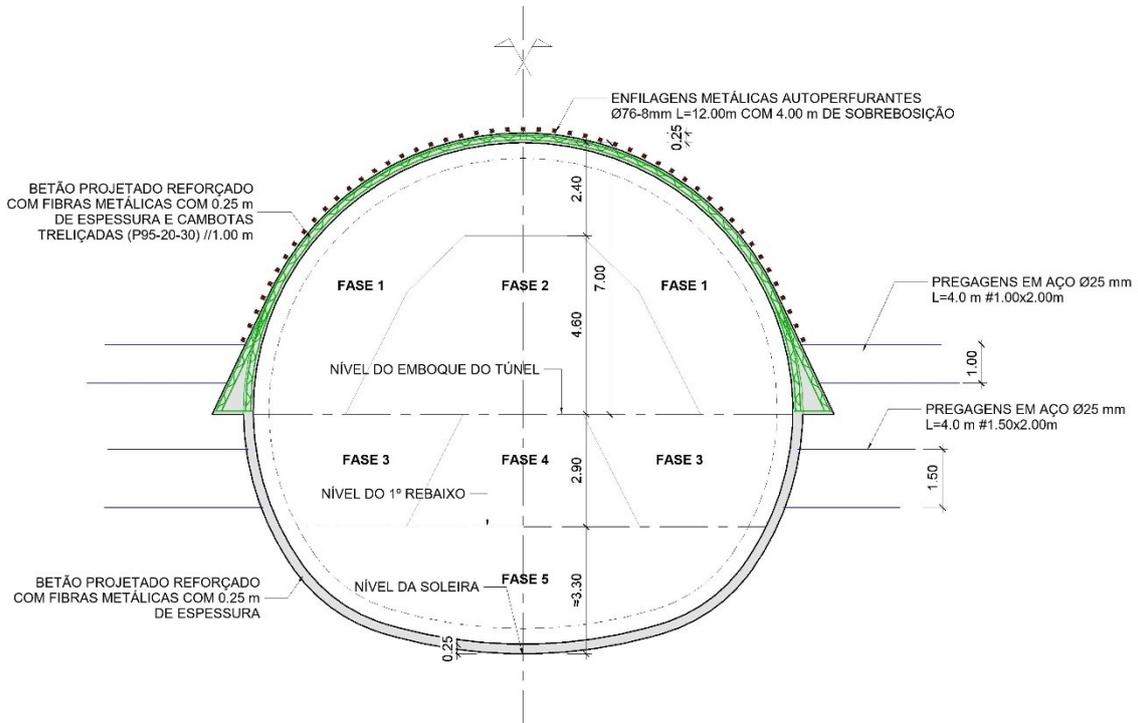
Figura 4 – Planta da solução de contenção do poço PV211 ao nível da base das estacas.

Por forma a acautelar eventuais interceções com o suporte primário previsto para o túnel a viga de cintagem será assegurada uma distância mínima de 2,5 m entre o limite de escavação do túnel e a base da viga (ver Figura 5).

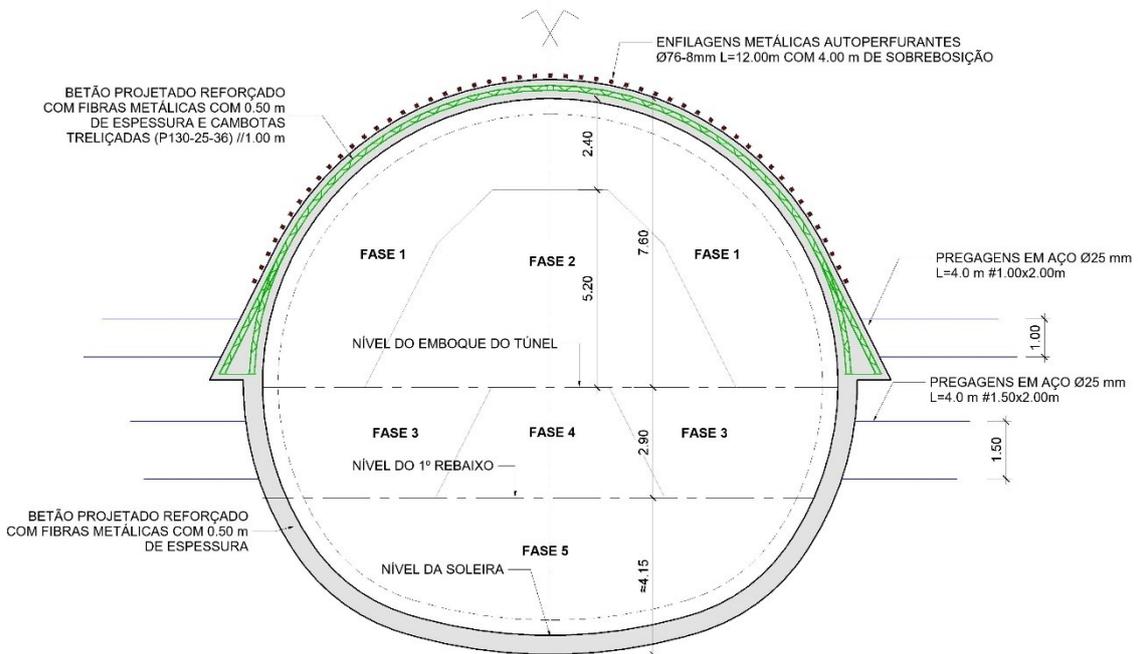
A viga de cintagem deverá ser ligada às estacas por intermédio de escarificação superficial do betão armado das estacas e instalação por selagem de varões nervurados com recurso a argamassa epóxi injetável de alto desempenho.

Abaixo da cota de viga de cintagem, ou seja, na zona de interceção do poço com a galeria a superfície de escavação será revestida com 50 cm de betão projetado, reforçado com fibras metálicas, onde será distribuída uma malha de pregagens #2.00x2.00, distribuídas em quincôncio, em varão de aço tradicional Ø25 mm (A500 NR). Associado ao betão projetado, preconiza-se a instalação de geodrenos radiais numa malha de #4.00 x 4.00m, distribuídos em quincôncio.





**Figura 6 - Corte transversal da secção 1 do túnel de ligação.**



**Figura 7 - Corte transversal da secção 2 do túnel de ligação.**