

Estes princípios devem nortear a ação de todos os intervenientes durante todo o processo de construção. Apresenta-se nas peças desenhadas do presente Projecto de Execução, subscrevendo 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.

A Análise de Risco é objecto de estudo autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 23 – Análise de Risco.

O Plano de Segurança e Saúde (PSS) é objecto de estudo autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 25 – Plano de Segurança e Saúde.

3.8 Arquitectura

O presente Projecto de Execução procura atingir as soluções técnicas mais adequadas e que estão compatibilizadas com o Projecto de Execução de Arquitectura (Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara, 01. Arquitectura) que mantem na essência o apresentado no Anteprojecto, não existindo abertura a qualquer alteração do mesmo.

3.9 Compatibilidade com as Outras Especialidades

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

- Tomo I – Geral, Volume 2 – Traçado;
- Tomo I – Geral, Volume 3 – Via Férrea, 02. Drenagem de via;
- Tomo I – Geral, Volume 4 – Coluna seca;
- Tomo I – Geral, Volume 8 – Vibrações, Ruído e Condicionamento Acústico, 04. Sistema de Via;
- Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara, 04. Fluidos, 1. Projecto de Rede de Águas e Redes de Incêndio;
- Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara, 04. Fluidos, 2. Projecto de Rede de Drenagem;
- Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara, 05. Energia;
- Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara, 06. Telecomunicações;
- Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara, 07. Mecânicas.

O presente Projecto de Execução encontra-se compatibilizado com os requisitos técnicos do ML, como o caderno de encargos técnico e os demais requisitos definidos no procedimento.

3.10 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 Estudo Prévio que serviu de base ao presente Projecto de Execução foram consideradas as seguintes medidas:

- Cumprimento das áreas mínimas de intervenção necessárias à realização dos trabalhos conforme apresentadas no Programa Preliminar do M.L.;
- Consideração das medidas e recomendações constantes da DIA (processo de AIA n.º 3462);
- Consulta dos elementos referentes à identificação de todas as interferências ao longo do traçado e ao levantamento dos respetivos cadastros. 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 Projecto 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 Projecto de Execução em cada volume de frente de obra, 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 MATERIAIS

4.1 Estruturas Definitivas

As características dos materiais adotados nas estruturas definitivas encontram-se apresentadas nas tabelas seguintes:

Tabela 2 - Características dos materiais – estruturas definitivas – Betão

| Materiais | Elemento | Classe de resistência | Classe de exposição | cl. teor de cloretos | D _{máx.} (mm) | Classe de consistência |
|----------------------------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Betão <i>(in situ)</i> | Regularização | C12/15 | X0 | - | - | - |
| | Estrutura interior em ambiente seco (lajes, vigas, escadas e paredes) | C40/50 | XC1 | CL 0,40 | 22 | S4 |
| | Estrutura interior em ambiente seco - pilares | C40/50 | XC1 | CL 0,40 | 12 | S4 |
| | Fundações, muros de contenção definitiva | C40/50 | XC4 | CL 0,40 | 22 | S4 |
| | Estacas | C30/37 | XC2 | CL 0,40 | 22 | S3 |
| | Muros de suporte | C30/37 | XC4 | CL 0,40 | 22 | S4 |
| | Elementos elevados da estação (laje mista) | C40/50 | XC4 | CL 0,40 | 12 | S4 |
| | Enchimento (sub-cais) | C20/25 | X0 | - | - | - |

Notas:

As betonilhas de enchimento a realizar para o assentamento dos revestimentos dos pisos e para a formação de pendentes nas lajes internas deverão ter um peso específico máximo de 15 kN/m³.

Tabela 3 – Características dos materiais – estruturas definitivas – Aço ordinário e aço estrutural

| Materiais | Localização | | Classe de resistência |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Aço Ordinário e Aço Estrutural | Armaduras ordinárias | | A500 NR SD (LNEC E460) |
| | Malha eletrossoldada | | A500 ER (LNEC E479) |
| | Estruturas metálicas | Perfis de secção aberta, chapas e PRS | S355 J0 (EN 10025) |
| | | Perfis Tubulares | S355 J2H (EN 10210) |
| | | Perfis enformados a frio tipo Omega | S350GD+Z275 (EN 10346) |
| | | Chapa trapezoidal para laje mista | S350GD+ZM175 (EN 10346) |
| | Parafusos / Pernos | | Classe 8.8/10.9 (EN 14399) |
| | Porcas | | Classe 8/10 (EN 20898) |

A estrutura metálica para além da proteção ao fogo deverá garantir uma proteção mínima contra a corrosão considerando um ambiente com uma categoria de corrosividade C4 e uma durabilidade muito alta.

Propõem-se assim os seguintes esquemas de pintura, segundo a norma ISO 12944-5:

Estação:

Esquema C4VH: (Aplicar em zona sem corta fogo)

- Primário: Aplicação de uma demão de primário epóxi (EP) com NDFT de 100µm
- Intermédio: Aplicação de uma demão de primário/intermédio epóxi (EP) com NDFT de 100µm
- Acabamento: Aplicação de uma demão de acabamento Poliuretano (PUR) com NDFT de 100µm

(com base na NDFT recomendada nas fichas técnicas do tipo de produtos indicados)

Esquema C4VH: (Aplicar em zona com corta fogo)

- Primário: Aplicação de uma demão de primário epóxi (EP) com NDFT de 100µm
- Intermédio: Aplicação de uma demão de primário/intermédio epóxi (EP) com NDFT de 100µm
- Intumescente micragem de acordo com o perfil
- Acabamento: Aplicação de uma demão de acabamento Poliuretano (PUR) com NDFT de 100µm

(com base na NDFT recomendada nas fichas técnicas do tipo de produtos indicados)

4.2 Sistemas de impermeabilização

Para a impermeabilização das estruturas executadas a céu aberto será adotado o sistema de impermeabilização abaixo apresentado.

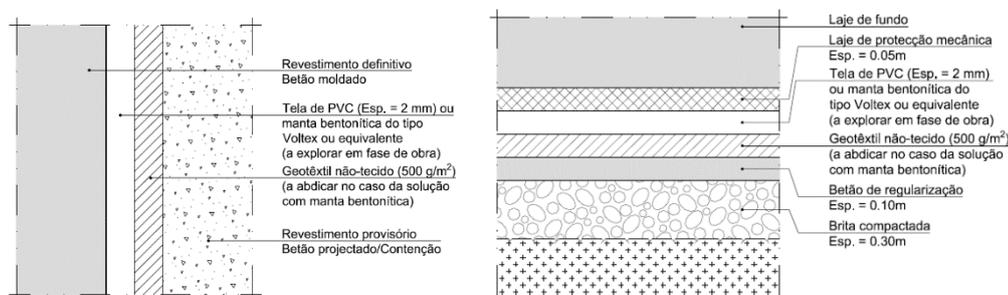


Figura 3 - Sistema de impermeabilização do revestimento definitivo das estruturas executadas a céu aberto

Propõe-se, para as estruturas executadas a céu aberto, explorar em fase de obra a possibilidade de utilização do sistema de impermeabilização à base de mantas bentoníticas. Neste cenário, a utilização de soluções com telas bentoníticas armadas com armadura de poliéster do tipo Voltex DS ou similar, protegidas a polietileno e geotêxtil, e com cordões hidroexpansivos pode ser uma solução.

Resumem-se na Tabela 4 as características do material a considerar no sistema de impermeabilização.

Tabela 4 – Características do material do sistema de impermeabilização

| | | |
|--|---|--|
| Barreira Geosintética | Material | PVC – P (Policloreto de Vinil) |
| | Espessura (EN 1849 – 2) | de acordo com C.E. |
| | Massa por unidade de área (EN 1849-2) | 2,56 kg/m ² |
| | Resistência à tracção (EN ISO 527) | 16 MPa (direcção transversal) |
| | | 17 MPa (direcção longitudinal) |
| | Extensão para a carga máxima (EN ISO 527) | > 300 % |
| | Punçoamento estático (EN ISO 12236) | 2,35 kN |
| | Expansão térmica (ASTM D696-91) | < 130x10 ⁻⁶ (+/-50x10 ⁻⁶) 1/K |
| | Resistência à degradação microbiológica (EN 12225) | <15 % |
| | Resistência à oxidação (EN 14575) | <10 % |
| | Resistência química (EN 14414) | Inexistência de sinais de degradação; propriedades inalteradas |
| Reacção ao fogo (EN ISO 13501-1 e EN ISO 11925-2) | classe E | |

De acordo com o previsto no caderno de encargos do M.L., para a circunscrição dos eventuais defeitos do sistema de impermeabilização e dos trabalhos de reparação será efetuada a compartimentação transversal e, se necessário, longitudinal do sistema de impermeabilização (AFTES, 2005).

5 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

5.1 Configuração geral

A Estação de Alcântara desenvolve-se em 3 pisos, sendo o piso -1 destinado à travessia e cais da futura linha LIOS, o piso 0 ao átrio e bilheteiras e o piso 1 à travessia da nova linha do Metro de Lisboa e respectivo cais.

O edifício é rectangular em planta com um desenvolvimento longitudinal de 117,4m ao nível dos pavimentos e 120,0m ao nível da cobertura. A largura é de 19,65 m ao nível do piso -1, 18.65m ao nível dos pisos superiores e 20.89m na envolvente exterior do edifício. Todo o edifício é semienterrado, sendo que as cotas do terreno variam entre as cotas +5,86 e +13,79 do lado Sul (Nascente para Poente) e entre as cotas +7,17 e +20,00 do lado Norte (Nascente para Poente). Estas cotas decorrem do reperfilamento das vias envolventes.

O edifício é inteiramente aberto nos topos Poente e Nascente por onde se estabelece a entrada e saída dos veículos do Metropolitano e do LIOS. A cobertura da estação e as fachadas Norte e Sul têm a particularidade de não estarem apoiadas no solo mas sim suspensas em quatro pontos, dois pontos por fachada.

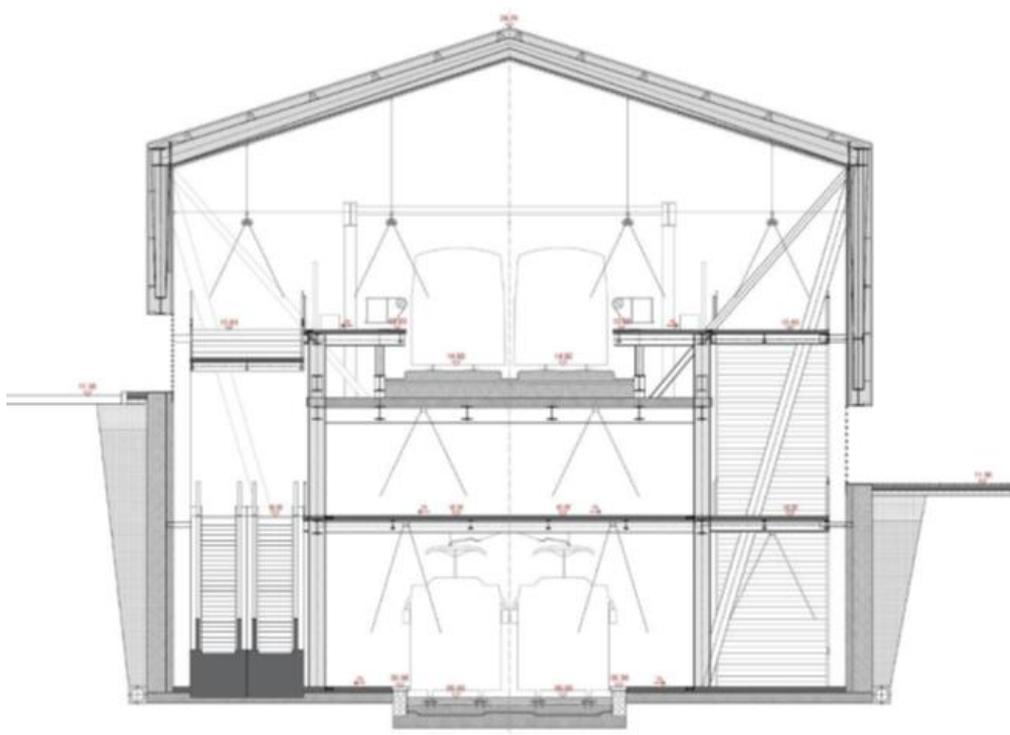


Figura 4 - Secção transversal da estação

5.2 Estruturas especiais e de contenção de terras

As estruturas especiais e de contenção de terras associadas à Estação de Alcântara e respectivos acessos são descritas e desenvolvidas em volume autónomo.

5.3 Superestrutura

A concepção estrutural da nova estação resulta da conjugação do projecto de Arquitetura e restantes especialidades com as condicionantes da envolvente, os requisitos de funcionamento e os objetivos construtivos.

Tendo em conta que o edifício se situa numa zona de elevada sismicidade, a leveza da estrutura revela-se extremamente benéfica do ponto de vista do dimensionamento sísmico do edifício, uma vez que a menor massa da estrutura metálica, em comparação por exemplo com uma estrutura integralmente em betão armado, reduz significativamente as forças horizontais actuantes sobre a estrutura, com a conseqüente redução na quantidade de materiais empregues na superestrutura e nas suas fundações. O betão armado é utilizado nos muros de contenção periféricos, núcleos de elevadores, lajes colaborantes de pavimento e áreas técnicas periféricas.

A estrutura dos pisos internos da Estação é composta por pórticos metálicos afastados de 5,0 m dispostos na direção transversal do edifício, vencendo um vão central de 11,25m e vãos laterais de 4,20m. O vão central é definido pelas limitações impostas pela circulação dos veículos do metropolitano no piso 1 e do LIOS no piso -1. As lajes de pavimento são colaborantes com chapa metálica trapezoidal e betonagem “*in-situ*”, evitando-se o recurso a cofragens. A estrutura metálica que forma os pórticos é transportada para o local em troços de comprimento adequado ao seu transporte e é posicionada e montada no local.

De modo a impedir a propagação das vibrações induzidas pela circulação das composições do metro, os carris são fixos a uma laje de betão armado separada da estrutura do edifício com uma manta isolante antivibrática.



Figura 5 – Solução anti-propagação de vibrações induzidas pelo ML

A estrutura da cobertura e das fachadas Norte e Sul é independente da estrutura dos pavimentos e dos muros. Contudo, as plataformas são pontualmente prolongadas até às fachadas por forma a assegurar o seu travamento horizontal. A cobertura e os muros estão separados entre si por um rasgo em toda a extensão com ~2.70m de altura.

A estrutura das fachadas é formada por treliças de altura variável. A corda superior desenvolve-se em toda a extensão, aproximadamente, à cota +21,90 enquanto a corda inferior acompanha o desenvolvimento dos muros que, por sua vez, acompanha a rasante das vias adjacentes.

A configuração estrutural das treliças é do tipo “Pratt” com montantes afastados de 5,0m, desfasados 2.50m dos pórticos das plataformas por forma a facilitar os nós das ligações metálicas.

A orientação das diagonais é escolhida de modo a assegurar que trabalham à tração. Cada treliça de fachada tem apenas dois apoios intermédios que definem vãos com 30+60+30 m (distâncias entre extremidades e eixos dos apoios). Cada um dos 4 apoios é materializado por 2 pilares em “V” inclinados: um “V”, composto por perfis tubulares CHS 244.5x20, apoia no piso 1 enquanto um segundo “V”, composto por perfis tubulares CHS 457x32, apoia no piso -1. Adicionalmente, um terceiro “V” por apoio, invertido em relação aos restantes dois e composto por perfis tubulares CHS 244.5x20, foi adicionado para aumentar a rigidez da estrutura metálica na direção transversal.

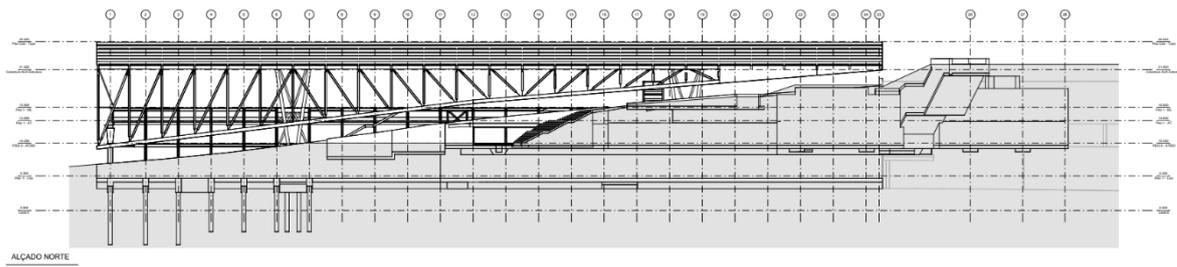


Figura 6 – Alçado Norte – detalhe da treliça Norte e alçado dos pilares de apoio em “V”

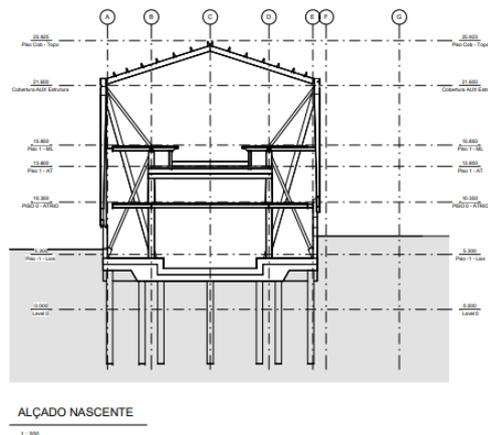


Figura 7 – Alçado Nascente – vista frontal dos pilares de apoio em “V”

As treliças das fachadas são ligadas pelas vigas de cobertura espaçadas também de 5,0m e inclinação de ~19° com a horizontal, formando uma cobertura de duas águas. Estas vigas, em conjunto com os montantes das treliças, formam um sistema de pórticos suspensos. O apoio horizontal dos pórticos é assegurado pelas ligações às plataformas e pela corda inferior das treliças (apoios elásticos cuja rigidez é uma função da rigidez transversal da corda). Os pórticos são formados por secções em “I” com alturas que variam entre 300 e 550 mm. A cobertura é contraventada através de perfis tubulares.

As treliças deverão ser fabricadas com o maior comprimento compatível com o transporte, sendo depois montadas em obra.

O revestimento exterior das fachadas e cobertura será em zinco (sistema do tipo “standing seam”), enquanto o revestimento das faces interiores será em painéis cimentícios, aos quais será fixo um isolamento acústico contínuo. Para apoio dos clips de fixação do sistema de revestimento exterior da fachada à estrutura incluem-se perfis secundários leves enformados a frio em “C” dispostos na horizontal com apoio a cada 5,0m nos montantes das treliças e com uma suspensão vertical

adicional a meio vão. Os perfis secundários verticais de apoio aos painéis cimentícios interiores são parte integrante do sistema de revestimento, pelo que os mesmos poderão ser apoiados diretamente nas cordas das treliças e nas suas vigas longitudinais intermédias. Prevê-se ainda que a cobertura seja “forrada” superiormente com uma chapa trapezoidal apoiada sobre vigas do tipo “ômega”. O sistema de revestimento em zinco, bem como o isolamento térmico, serão instalados sobre esta chapa.

As peças metálicas serão produzidas em fábrica e transportadas para um parque dedicado do estaleiro antes de serem instaladas com recurso a grua torre, no caso das peças mais pesadas, ou com empilhadores telescópicos, no caso das peças ligeiras.

Nas zonas com maior altura de escavação, as paredes de contenção periféricas serão betonadas contra o muro de tipo Berlim previamente construído e preparado com uma lâmina de betão projectado de aproximadamente 15cm de espessura. Nas zonas com menor altura de escavação e onde é possível a realização de taludes (sem recurso a contenção provisória) as paredes de contenção definitivas serão construídas com dupla cofragem e a sua espessura é reduzida para 400mm. Após a desativação das ancoragens provisórias das cortinas de estacas e da realização do aterro periférico nas zonas escavadas, as paredes de contenção passarão a suportar os impulsos de terras, sendo travadas horizontalmente ao nível do piso 0 através da ligação às vigas metálicas transversais.

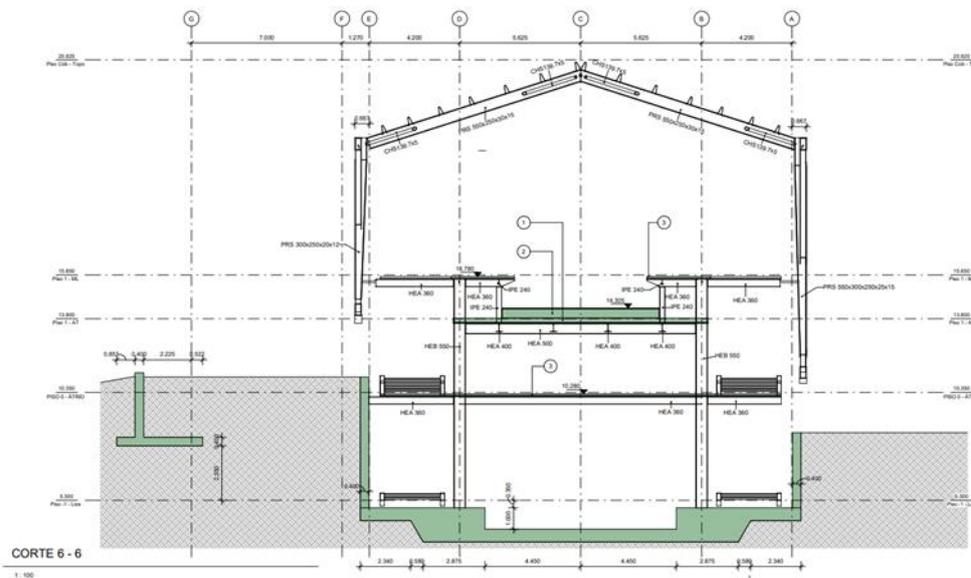


Figura 8 - Secção transversal tipo da estrutura da estação – zona sem pilares

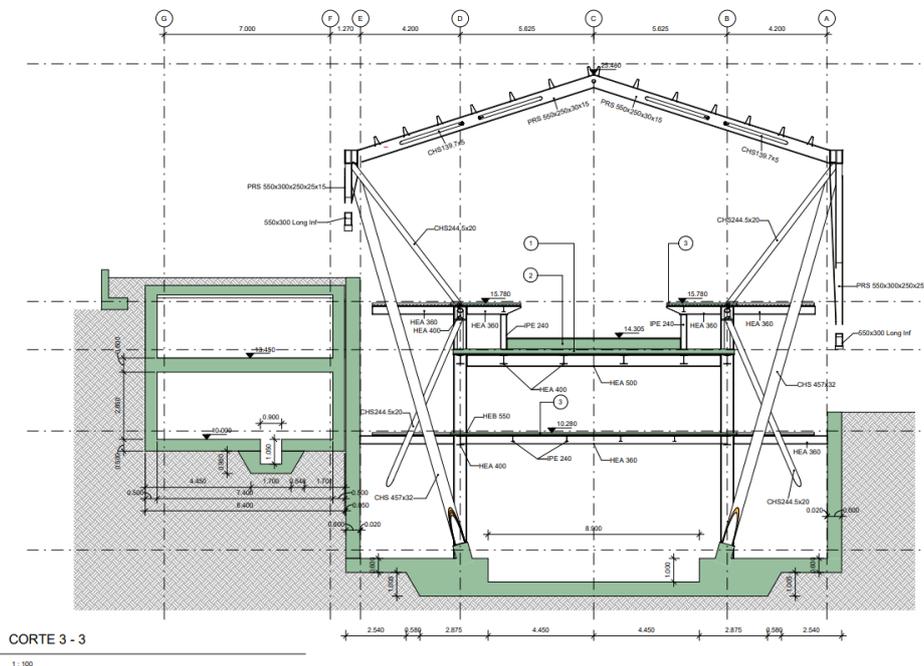


Figura 9 - Secção transversal tipo da estrutura da estação –zona com pilares

Na zona Norte/ Norte-Poente da estação prevê-se uma estrutura independente para albergar as áreas técnicas, com separação da estrutura principal através de juntas de dilatação. Esta estrutura é integralmente em betão armado e as suas fundações situam-se a um nível mais elevado do que as fundações da estação, mais especificamente ao nível do piso 0. A generalidade desta estrutura independente desenvolve-se em 2 pisos, com excepção da zona de corredor lateral de acesso que se desenvolve em apenas 1 piso. As paredes de contenção que confrontam com a estrutura da estação são betonadas diretamente contra as suas paredes de contenção com intercalação de uma junta de dilatação e as restantes são betonadas contra as cortinas de estacas que são necessárias para realização da escavação nesta zona. Todas as paredes de contenção têm 500mm de espessura. A espessura das lajes interiores é de 300mm enquanto as lajes de cobertura estão previstas com 600mm face à elevada restante carga permanente (cobertura vegetal) e à elevada sobrecarga do terrapleno. As lajes de cobertura apresentam capitéis, quadrados em planta, nas zonas dos pilares interiores por forma a aumentar a resistência aos fenómenos de punçoamento. As lajes interiores não apresentam capitéis devido às limitações de pé-direito nas salas técnicas.

Sobre o coroamento das paredes de contenção do corredor de acesso Norte são fundados muros de suporte que estabelecem a contenção do aterro que é necessário realizar para execução das novas vias de circulação automóvel para acesso à ponte 25 de Abril. Estes muros vencem uma altura de terras inferior a 2,50m e têm uma espessura igual a 500mm. Após o término das áreas técnicas do lado nascente, os muros de suporte são ainda prolongados, mas neste caso com fundação direta ao solo. A sua espessura é aumentada para 50cm na extensão em que a altura de terras é superior.

Deste volume localizado a Norte, denominado nas notas de cálculo como “Núcleo Norte” fazem ainda parte duas sub-estruturas de acesso pedonal à estação:

- **Na extremidade Norte Poente** inclui-se um túnel inclinado que estabelece a ligação entre a Rua Quinta do Jacinto, sensivelmente à cota 22.51, e o piso 0 da estação. O túnel é composto por um quadro fechado com 5.86m de vão em betão armado com paredes e laje

de cobertura de 500mm de espessura e laje de fundação com 400mm. O seu interior será dividido numa zona para uma escada tradicional e numa outra para uma escada rolante. A escavação para a realização deste túnel será realizada com recurso a contenção provisória tipo Berlim idêntica à utilizada na restante estação, provisoriamente ancorada, no desenvolvimento em planta e altura estritamente necessários para evitar interferências com os edifícios e arruamentos adjacentes;

- **Na zona central do lado Norte** inclui-se uma escadaria térrea em betão armado que garante a ligação entre a nova zona pedonal a materializar entre as ruas do Alvito e da Quinta do Jacinto, e a cota da via Norte de acesso à ponte 25 de Abril, onde será incluído um atravessamento pedonal para acesso à estação pelo piso 1;

Adicionalmente são previstas mais duas sub-estruturas do lado Sul, para permitir o acesso pedonal à estação:

- **Na extremidade Sul Poente** inclui-se um túnel sob a futura via sul de acesso à ponte 25 de Abril, estabelecendo a ligação entre o piso 0 da estação e o actual parque de estacionamento na Calçada da Tapada. O túnel é composto por um quadro fechado em betão armado com vão de 5.50m, e paredes e lajes com 400mm de espessura. Perpendicularmente ao túnel, junto ao seu término do lado sul, são incluídos muros de suporte que garantem o desnível de terras entre a nova via rodoviária e a actual cota da Calçada da Tapada – a totalidade desta estrutura foi denominada “**Acesso Sul ML**”;
- **Na zona central do lado Sul** inclui-se outro túnel para ligação entre a estação e a Calçada da Tapada, mas situado a uma cota mais baixa, ao nível do piso -1 da estação. A sua largura variável culmina num vão máximo a vencer de cerca de 23.4m, pelo que se prevê que a laje de cobertura tenha uma espessura de 600mm, sendo acompanhada por uma viga de bordadura invertida no bordo livre localizado na junta com a estação. Na zona onde a estrutura confronta em ambos os lados com os edifícios existentes, prevê-se a inserção da saída pedonal numa estrutura de betão armado composta por fachadas de betão e pórticos na direcção longitudinal que suporta uma cobertura metálica regular. Esta construção destina-se exclusivamente à uniformização das fachadas na rua de Alcântara. À totalidade desta estrutura deu-se a denominação de “**Acesso Sul LIOS**”.

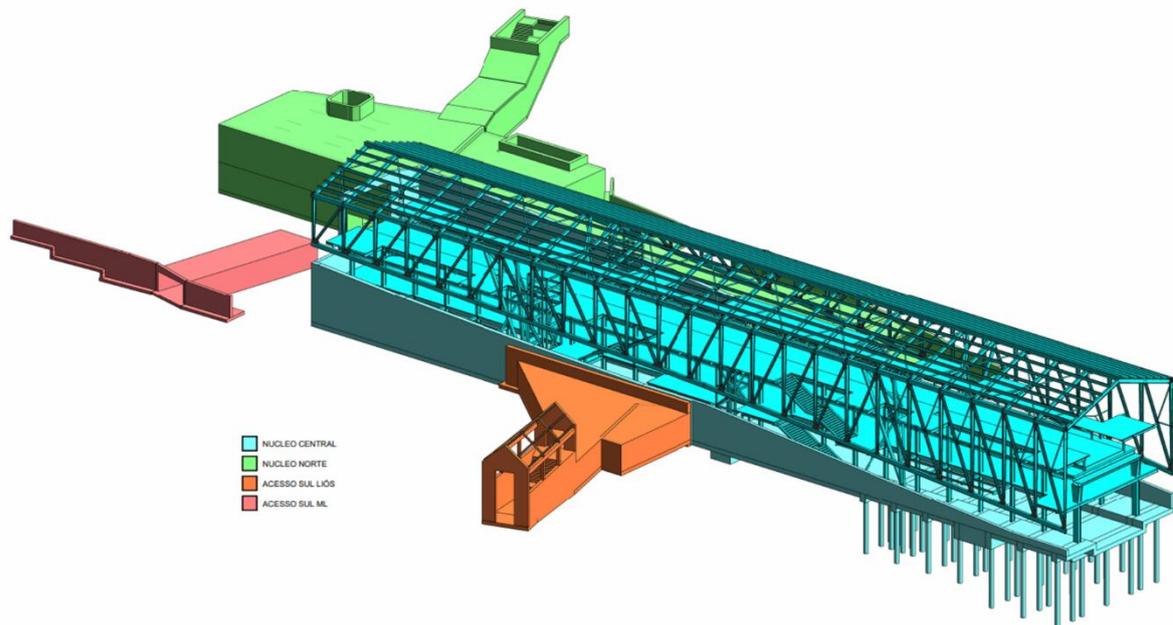


Figura 10 - Vista 3D do modelo REVIT da estrutura da estação

5.4 Fundações

Dadas as várias condições de fundação previstas recorreu-se a estacas nas zonas de aterros e aluviões a Nascente (sensivelmente entre os alinhamentos 1 e 7) e fundações directas nas zonas onde ocorrem solos com maior competência (restantes alinhamentos da estação e sub-estruturas de acessos e áreas técnicas).

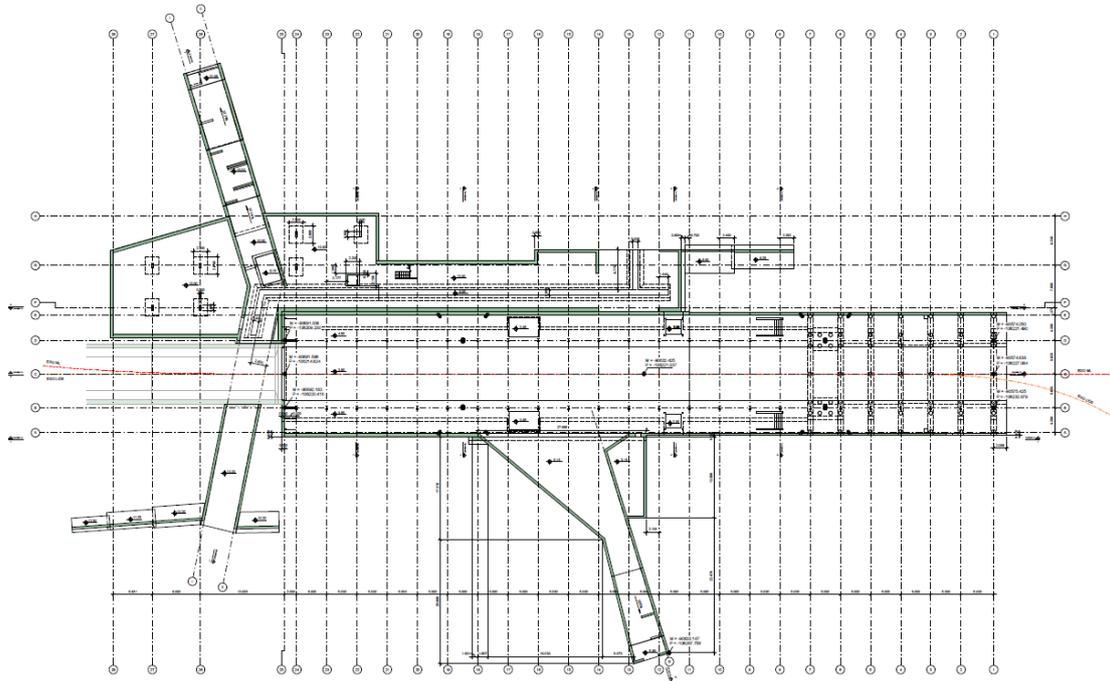


Figura 11 – Planta de fundação da Estação de Alcântara

6 FASEAMENTO CONSTRUTIVO

6.1 Estruturas de contenção

O faseamento das fundações e estruturas de contenção associadas à Estação de Alcântara e respetivos acessos são descritas e desenvolvidas em volume autónomo.

6.2 Estruturas de betão armado

A execução das estruturas de betão armado segue os processos habituais das construções deste tipo, salientando-se apenas as seguintes situações especiais:

- A estrutura tem um comprimento elevado sem qualquer junta de dilatação, o que implica controlar os efeitos da acção da retração do betão. De forma a atenuar esses efeitos, a construção será faseada por troços com cerca de 30 m separados por faixas com 3 m cuja betonagem ocorrerá o mais tardiamente possível, após parte da retração dos troços já tenha ocorrido.
- A grande maioria das paredes de contenção são betonadas diretamente contra as cortinas de estacas, o que exige a adoção de um sistema especial de escoramento da cofragem capaz de absorver os impulsos não equilibrados do betão fresco durante a betonagem.

6.3 Estruturas metálicas

Prevê-se que os elementos metálicos sejam fabricados em oficina sendo montados em obra e ligados entre si. As vigas mistas deverão ser escoradas a meio vão sobre a laje de fundação durante a betonagem das lajes. As escoras serão retiradas quando o betão das lajes adquirir resistência adequada. A montagem das treliças das fachadas requiere que sejam considerados apoios provisórios dos pórticos e travamentos que assegurem a sua estabilidade.

7 PROJETO DE ESTRUTURAS DEFINITIVAS

7.1 Critérios de Verificação da Segurança

7.1.1 Verificação da Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)

A verificação da segurança em relação aos Estados Limite Últimos (ELU) foi realizada em termos de resistências, respeitando a condição,

$$S_d \leq S_r$$

em que S_d é o valor de cálculo do esforço atuante e S_r é o valor de cálculo do esforço resistente.

Para a verificação da segurança aos Estados Limite Últimos de resistência dos elementos de betão armado ou de estruturas metálicas foram considerados os valores dos coeficientes parciais de segurança, relativos as ações e aos materiais, tal como definidos nos eurocódigos respetivos. Foram realizadas as seguintes verificações de segurança, consideradas como condicionantes:

- Betão armado
 - resistência à flexão;
 - resistência a flexão composta (quando relevante);
 - resistência ao esforço transversal;
 - resistência ao punçoamento.
- Metálicas
 - Resistência das seções transversais à flexão, corte e esforço axial isolados e combinados;
 - Resistência aos fenómenos de instabilidade local e global dos elementos;
 - Resistência das ligações.

Na verificação da segurança estrutural para a ação do incêndio são considerados os seguintes critérios:

- Manter a função de suporte de carga em pelo menos durante 90 ou 120 minutos consoante a localização do elemento acima ou abaixo do piso 1 da estação. Nas restantes áreas técnicas e acessos considerar 120 minutos.

Nas estruturas de betão armado, estes critérios são cumpridos adotando-se as disposições prescritas no EN 1992 1-2, no qual são apresentados valores tabelados (capítulo 5) que indicam as dimensões mínimas para elementos estruturais bem como os recobrimentos mínimos das armaduras.

No que se refere aos recobrimentos, os valores mínimos apresentados no quadro do capítulo 5 da EN 1992 1-2 são em geral inferiores aos mínimos necessários para garantir os requisitos de durabilidade.

Em relação às estruturas metálicas foi considerado um esquema de pintura intumescente que garante a classe de resistência ao fogo de CF120 ou CF90 e uma temperatura crítica de 500°C.

7.1.2 Verificação da Segurança aos Estados Limites de Utilização (ELS)

A verificação da segurança aos estados limites de utilização das estruturas de betão armado foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1992-1.

- Limitação das tensões de compressão no betão armado:
- Controle da fendilhação para os elementos de betão armado:
 - Abertura de fendas: limitou-se a abertura de fendas a $w_k = 0,3$ mm para a combinação quase-permanente.
 - Garantiu-se a adoção de armaduras mínimas para os efeitos provocados por deformações impedidas de retração;
- Controle da Deformação para os elementos de betão armado:
 - Limitação das flechas de lajes e vigas a $l/250$ para a combinação de ações quase permanente.
 - Limitação das flechas de elementos estruturais suscetíveis de danificar elementos adjacentes à estrutura, ou equipamentos a $l/500$ para a combinação de ações quase permanente.
- Controle da deformação para os elementos de estrutura metálica:
 - Limitação da deformação vertical de vigas (flechas) a $L/250$ para a combinação de ações quase permanente.
 - Limitação do deslocamento de elementos verticais a $H/200$ para a combinação de ações quase permanente.
- Controle da Deformação para os elementos de estrutura mista:
 - Limitação das flechas de vigas a $l/250$ para a combinação de ações quase permanente.

7.1.3 Verificação da Segurança relativamente à rotura por Levantamento Global

A verificação ao estado limite de levantamento global é efetuada segundo o estipulado na NP EN 1997-1. Garante-se a verificação da seguinte condição:

$$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d$$

Sendo:

$V_{dst;d}$ o valor de cálculo da combinação das ações verticais desestabilizantes permanentes e variáveis;

$G_{stb;d}$ o valor de cálculo das ações verticais permanentes estabilizantes;

R_d o valor de cálculo de qualquer capacidade resistente adicional ao levantamento global

Os coeficientes de segurança parciais a utilizar são os estipulados nos quadros A15 a A16 da NP EN 1997-1.

8 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

8.1 Junta de contração

Serão previstas juntas de contração em zonas de transição de comportamento estrutural da estrutura, de forma a evitar efeitos localizados que poderão causar efeitos indesejados.

8.2 Estanqueidade

A aplicação de um sistema de impermeabilização que cumpra o descrito no capítulo 4.2 acima garantirá a estanqueidade da Obra.

As juntas de contração serão munidas de lâminas de estanqueidade do tipo *Waterstop* em PVC.

9 PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

9.1 Enquadramento

O recurso à instrumentação e observação permitirá prever o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através de um plano de monitorização dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico-geotécnico em que a obra se insere. Em função dos resultados obtidos, este recurso possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções, com consequências benéficas na minimização do risco geotécnico da obra.

De salientar ainda que a metodologia adotada no desenvolvimento deste estudo segue os princípios correntes aplicados neste tipo de intervenção.

O sistema de monitorização deverá ser robusto e capaz de garantir a durabilidade adequada, sendo constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares.

Toda a instrumentação terá que ser adequadamente protegida para evitar que seja danificada durante a execução da obra.

A realização de leituras topográficas pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A instalação da instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de monitorização, em particular para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

A instalação deverá garantir a máxima confiabilidade e êxito das operações.

As técnicas e procedimentos de instalação deverão estar sempre de acordo as indicações dos fabricantes da instrumentação.

Toda a instrumentação deverá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início das obras para se conseguir adequadas leituras de referência.

A redundância da instrumentação é importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo cruzado.

Sempre que possível serão adotados sistemas de leitura automatizada dos dispositivos de monitorização, nomeadamente, estações totais.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras que compõem o projeto, sendo o acompanhamento realizado através da monitorização dos seguintes dispositivos:

- Prisma topográfico (edifícios)
- Prisma topográfico (contenções)
- Prisma topográfico (pavimentos)
- Extensómetro multiponto
- Inclinómetro

- Piezómetro tipo Casagrande (a executar no âmbito da obra, para além dos a realizar no âmbito da campanha de prospeção)
- Fissurómetro (edifícios)
- Prisma topográfico para medição de deslocamentos e de convergência (no intradorso do suporte primário)
- Sismógrafo (edifícios)
- Níveis líquidos (edifícios – obra de recalçamento)
- Clinómetro (edifícios)
- Extensómetro de corda vibrante (estruturas enterradas)

9.2 Grandezas a medir

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos e de convergências no interior dos túneis da Estação de Alcântara recorrendo a prismas topográficos;
- Medição de deslocamentos verticais e horizontais em edifícios, muros e contenções, através de prismas;
- Medição de deslocamentos verticais e distorções em edifícios, através de níveis líquidos;
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros;
- Medição da abertura de fendas, utilizando fissurómetros;
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto;
- Medição de deslocamentos horizontais através de inclinómetros;
- Medições de deslocamentos utilizando prismas topográficos no pavimento;
- Medições piezométricas de água recorrendo a piezómetros;
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.

9.3 Escavações da Estação de Alcântara

A avaliação da evolução do comportamento da escavação da Estação de Alcântara será realizada através do registo dos deslocamentos da contenção periférica (deslocamentos e convergências) e observação de eventuais fissurações no betão projetado. Para tal serão criadas secções de medição de deslocamentos e convergências, onde serão instalados prismas na contenção periférica.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, as mais relevantes são as que se relacionam com a libertação do estado de tensão, a presença e escoamento de água e com as vibrações devidas ao processo de escavação.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes, não sendo exepetável, situações relevantes na maior parte da extensão da obra. Quando necessário, os furos longitudinais para geodrenos e pregagens assumem particular destaque, realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

9.4 Estruturas de contenção e estabilização de taludes

A avaliação da evolução do comportamento das estruturas de contenção e estabilização de taludes da Estação de Alcântara será realizada essencialmente através do registo dos deslocamentos observados em vários níveis.

No caso das estruturas de contenção com ancoragens esta avaliação também passará pela observação da evolução da tração instalada nestes elementos.

9.5 Edificações

Para a observação das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos verticais e horizontais das estruturas;
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras;
- Clinómetros. para o controlo das inclinações;
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de instrumentação e observação permitirá em fase de obra observar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de instrumentação e observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente dos dispositivos instalados, pela maior quantidade de instrumentos e por limites de alerta, referência e de alarme mais restritivos:

- Instrumentação e observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas;
- Instrumentação e observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas, clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

9.6 Frequência de leituras

As leituras iniciais (de referência) deverão ser efetuadas de acordo às indicações referidas nos pontos anteriores e sempre antes do começo dos trabalhos de escavação.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção são as que constam Tabela 5.

Tabela 5 - Frequência de leituras de dispositivos de monitorização

| Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas) | | | | |
|---|--|--------------------|--------------------|--|
| Tipo de instrumento | Fase de obra | | | |
| | Distância relativa à frente de escavação | | | |
| | < 20 m | 20 - 60 m | 60 - 100 m | > 100 m |
| Prisma topográfico (edifícios) | 6 leituras diárias | Cada 2 dias | Semanalmente | Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês |
| Prisma topográfico (pavimentos) | 6 leituras diárias | | | |
| Tiltmetro | Bi-semanal | Bi-semanal | | |
| Piezómetro elétrico | 6 leituras diárias | Cada 2 dias | | |
| Piezómetros Tipo Casagrande | Semanalmente | Semanalmente | | |
| Fissurómetro | Bi-semanal | Bi-semanal | | |
| Sismógrafo | 1 leitura por hora | 1 leitura por hora | 1 leitura por hora | |
| Prisma de deslocamentos e convergência (túneis) | Diariamente | Cada 2 dias | Cada 2 dias | |
| Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas | Diariamente | | | |
| Extensómetro | Diariamente | | | |
| Sensor de nível líquido | 6 leituras diárias | | | |
| Inclinómetro | Semanalmente | Semanalmente | Semanalmente | |
| Inspeção visual – sup. primário | Diariamente | | | |

9.7 Critérios de alerta, referência e alarme

Os valores associados aos limites de alerta, referência e alarme são estipulados em função dos resultados obtidos nos cálculos do projeto. São definidos, por cada parâmetro medido, como:

Limite de alerta

Cenário correspondente a um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de monitorização correspondem a 80% dos valores definidos pelo projeto.

Limite de referência

Cenário correspondente a um segundo estágio, onde os valores medidos nos sistemas de monitorização correspondem aos valores definidos pelo projeto (100%).

Limite de alarme

Cenário correspondente a um terceiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de monitorização correspondem a 130% dos valores definidos pelo projeto.

Os critérios propostos para os deslocamentos, deverão também ser aferidos com base na variação da taxa de deformação (velocidade).

9.8 Plano de contingência

O plano de contingência servirá para definir as acções concretas a realizar e os responsáveis pelas mesmas, sempre que os limites de alerta, referência e alarme forem ultrapassados.

Para as situações em que poderá ser necessário a implementação de medidas concretas para reduzir um possível cenário de risco, serão incluídas uma lista de medidas orientadoras a considerar. Estas acções aplicam-se somente se forem ultrapassados os limites alarme.

10 AVALIAÇÃO DE DANOS

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

A avaliação de danos será realizada de acordo com metodologia definida no Programa Preliminar, encontrando-se a sua articulação com o processo de análise, ilustrada na figura seguinte.

Para otimizar o processo de avaliação de danos será utilizado o programa de cálculo automático Oasys Xdisp Pro, que permite estimar os parâmetros de deformação geométrica nos diversos tipos de interferência com base no cálculo de assentamentos através de formulações empíricas ou através de elementos finitos (importados de modelos de tensão-deformação). O programa também permite o cálculo da categoria de dano para edifícios segundo Boscardin e Cording 1989 e Burland 1995.

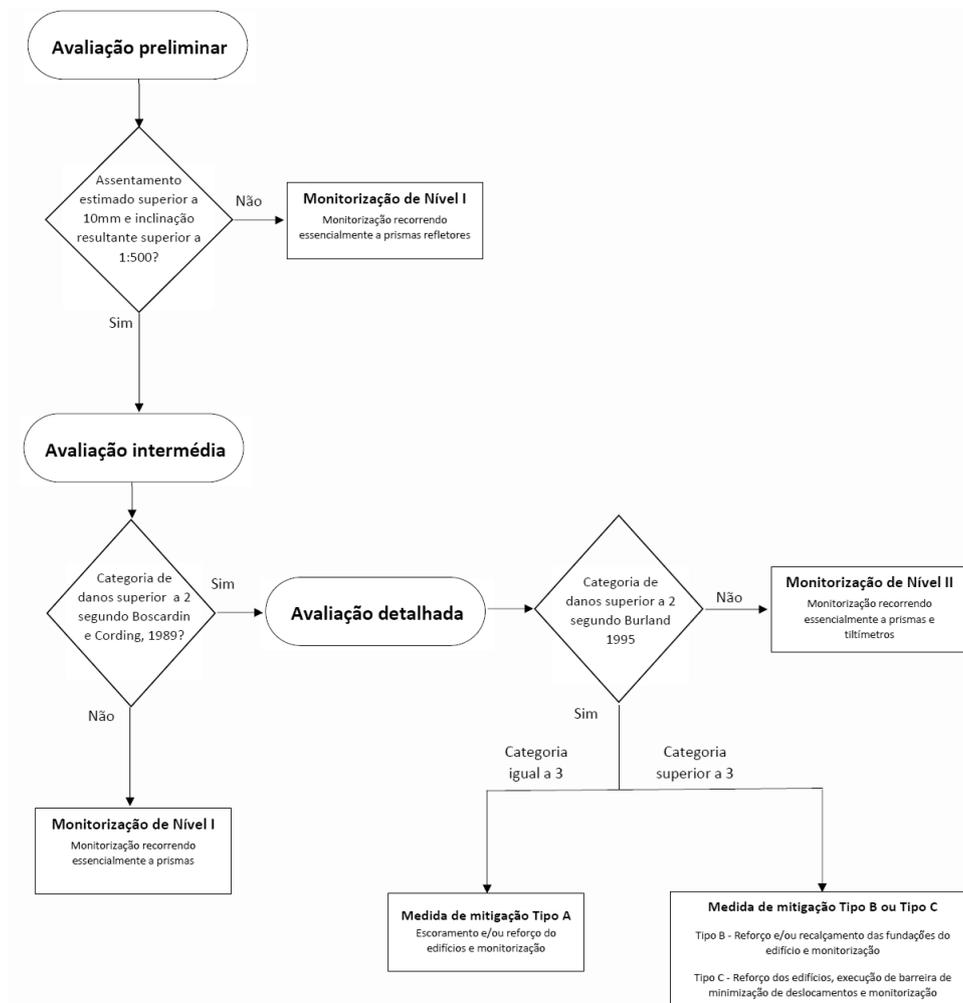


Figura 12 - Metodologia de avaliação de danos em interferências

10.1 Metodologia de avaliação de danos em edifícios

A classificação de danos em edifícios seguirá a metodologia indicada no Caderno de Encargos para a avaliação de danos. Esta considera as categorias de dano definidas por Burland (1995).

Tabela 6 – Definição das categorias de danos de acordo com Burland, 1995

| Categoria de danos | Grau de severidade | Valor limite da deformação de tração, ϵ_{lim} (%) | Descrição dos danos característicos | Abertura aproximada das fendas (mm) |
|--------------------|--------------------|--|---|--|
| 0 | Desprezável | 0 - 0,05 | Fissuras capilares | <0,1 |
| 1 | Muito ligeiro | 0,05 - 0,075 | Finas fissuras facilmente reparáveis numa decoração. Danos geralmente limitados aos acabamentos de paredes interiores. Algumas fissuras em alvenarias exteriores de tijolo ou de pedra detetadas em inspeção detalhada. | <1 |
| 2 | Ligeiro | 0,075 - 0,15 | Fissuras de fácil preenchimento. As fissuras recorrentes podem ser mascaradas por revestimentos adequados. As fissuras podem ser externamente visíveis e pode ser necessário algum tratamento para garantir a sua estanqueidade. Portas e janelas ligeiramente empenadas. | <5 |
| 3 | Moderado | 0,15 - 0,30 | Fissuras podem requerer algum avivamento e reparação. Reparação da alvenaria exterior e possivelmente uma pequena parte da alvenaria pode ter que ser substituída. Portas e janelas empenadas. Fracturação de tubagens. Falta de proteção contra intempéries. | 5 a 15 ou várias fissuras > 3 |
| 4 | Severo | >0,30 | Trabalhos de reparação extensos que envolvem a abertura e a substituição de secções de paredes, especialmente em portas e janelas. Caixilhos de janelas ou de portas distorcidos. Piso visivelmente inclinado. Paredes visivelmente inclinadas ou salientes. Alguma perda de sustentação em vigas. Tubagens interrompidas. | 15 a 25 mas depende do número de fissuras |
| 5 | Muito severo | >0,30 | Requer grandes reparações envolvendo reconstrução parcial ou completa. As vigas perdem o apoio. As paredes inclinam-se muito e exigem escoramento. As janelas partem por distorção. Perigo de instabilidade. | Geralmente > 25 mm mas depende do número de fissuras |

A avaliação de danos em edifícios classificados como património de elevado valor cultural e histórico, incluirá um fator de agravamento da categoria de dano em função da suscetibilidade do edifício para tolerar os assentamentos sem apresentar danos relevantes.

O agravamento da categoria de dano (0-5) é realizado através da soma de uma pontuação (0-2), obtida segundo a Tabela 7.

Tabela 7 – Factor de agravamento da categoria de dano para edifícios classificados

| Pontuação | Critério | |
|-----------|--|--|
| | Suscetibilidade do edifício a assentamentos e interação com edifícios adjacentes | Suscetibilidade de elementos arquitetónicos no edifício (estatuária, revestimentos, etc.) |
| 0 | Edifícios em alvenaria em que foi utilizada argamassa de cal e que não se encontram ladeados por outros edifícios. Com fachadas uniformes sem grandes aberturas particulares. | Sem elementos arquitetónicos particularmente sensíveis |
| 1 | Edifícios com estrutura sensível ou edifícios com ladeados por outros edifícios com estruturas modernas com rigidez estrutural muito superior, com uma ou mais aberturas com dimensões significativas. | Acabamentos frágeis (e.g. estatuária, revestimentos em pedra com juntas estreitas, que são suscetíveis a pequenos deslocamentos e difíceis de reparar) |
| 2 | Edifícios que pela sua constituição tendem a concentrar todos os deslocamentos num só elemento estrutural. | Acabamentos que se forem danificados terão um forte impacto no património histórico e cultural associado ao edifício (e.g. fendas em pintura a fresco) |

Com base numa consulta realizada ao Atlas do Património Classificado e em Vias de Classificação da Direção Geral do Património Cultural (DGPC) a 27 de Maio de 2024, não foram identificadas interferências com a classificação de património classificado ou em vias de classificação, na zona de influência dos trabalhos de escavação da Estação de Alcântara.

11 REDE DE TERRAS

A rede de terras proposta tem com objetivo garantir que as tensões de passagem e de contato de um eventual defeito, não excedem os valores regulamentares.

Todas as estruturas metálicas e massas da instalação serão ligadas a este sistema de terra.

As ligações entre os cabos da malha de terras e as varetas de aço cobreado, serão feitas por soldadura aluminotérmica.

A rede de terras será constituída pelos subsistemas que compõe a SET, existindo na estação poços de terra para os sistemas 30 kV, BT e 750 Vcc.

Nos desenhos de arquitetura encontram-se localizados os poços de terra.

Atendendo ao elevado nível freático da zona, os poços terra serão executados, na sua totalidade, com a instalação do elétrodo de terra, na fase de Toscos. Assim, teremos:

- A execução dos negativos e/ou das furações na laje, até atingir o terreno;
- Fornecimento e instalação dos elétrodos de cobre e enchimento com terra vegetal de boa qualidade;
- Medição da resistência de terra e sua aprovação pela Fiscalização/ Dono de Obra;
- Enchimento com o betão pobre;
- Fornecimento e instalação da tampa em chapa xadrez.

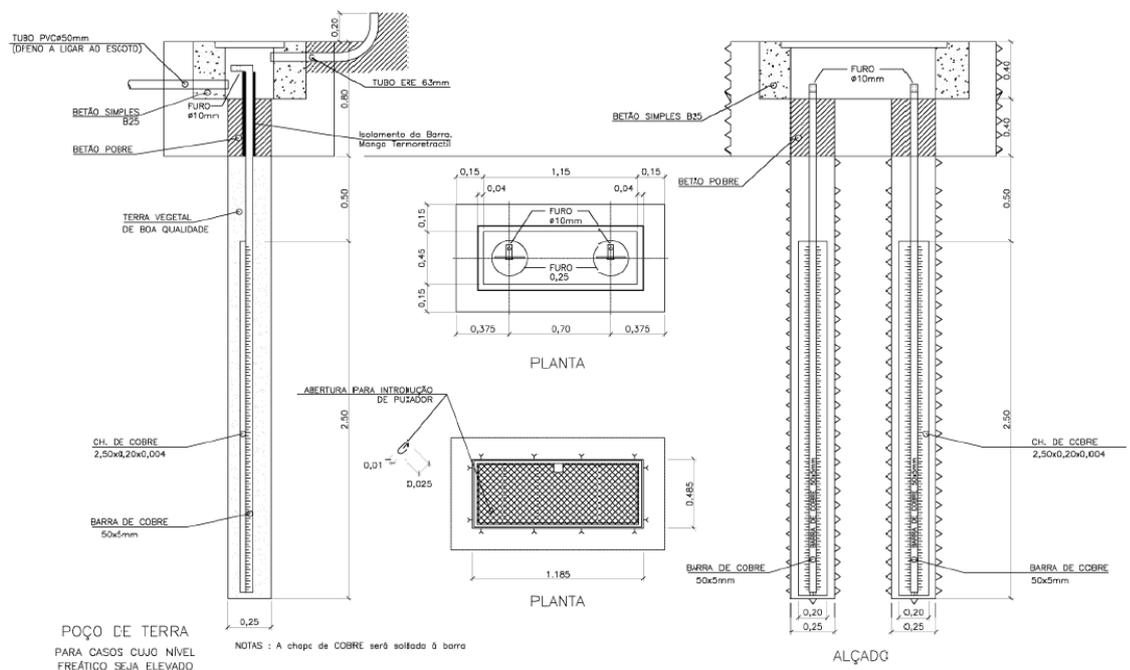


Figura 13 – Pormenores tipo dos poços de terra.

Os elétrodos de terra deverão assegurar uma resistência de terra sempre inferior a 1Ω , pelo que deverá ser considerado o fornecimento de terra vegetal de boa qualidade para o enchimento dos poços terra.

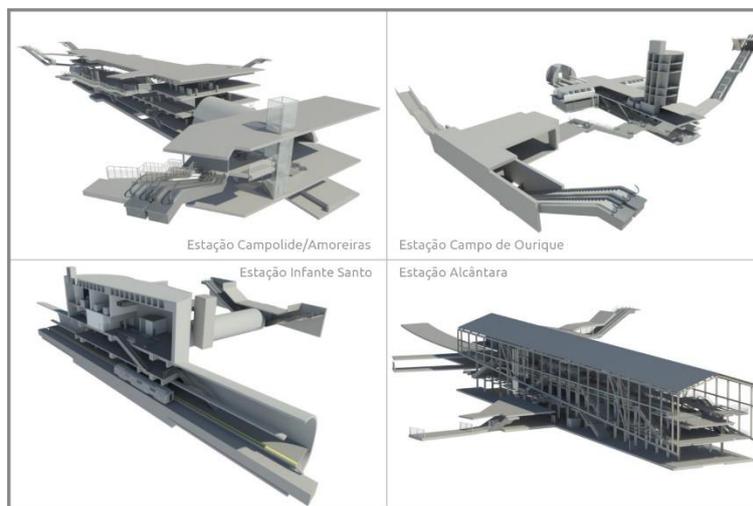
A terra vegetal deverá ser proveniente da camada superficial de terrenos de mata ou camada de terrenos agrícolas; estar isenta de pedras com dimensões superiores a 0.05 m e de materiais estranhos provenientes de incorporação de lixo; estar isenta de infestantes; apresentar uma composição uniforme, sem qualquer mistura de subsolo; ter uma textura franca; conter um teor de matéria orgânica não inferior a 4% e o PH situar-se entre os 6.5 e 7.5.



Metropolitano de Lisboa



METRO DE LISBOA
LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA
EMPREITADA DE CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DO
PROLONGAMENTO DA LINHA
TOMO V – ESTAÇÕES
PROJECTO DE EXECUÇÃO



VOLUME 4 – ESTAÇÕES – ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA
NOTA DE CÁLCULO. ESTRUTURAS EXTERNAS E
INTERNAS

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Documento SAP: | LVSSA MSA PE STR EST AC NC 085001 |
|-----------------------|-----------------------------------|

| | Nome | Assinatura | Data |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Elaborado | Afonso Marques e Carolina Churro | | 2024-10-04 |
| Revisto | L. Câncio Martins | | 2024-10-04 |
| Verificado | Sergio Notarianni | | 2024-10-04 |
| Coordenador Projeto | Rui Rodrigues | | |
| Aprovado | Raúl Pistone | | |

Índice

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | OBJECTIVO E ÂMBITO | 5 |
| 2 | VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA – EST. DE BETÃO | 6 |
| 2.1 | Introdução | 6 |
| 2.2 | Modelo de cálculo | 6 |
| 2.3 | Verificação de Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)..... | 10 |
| 2.3.1 | Introdução | 10 |
| 2.3.2 | Acessos Sul – túnel e acesso ao LIOS..... | 11 |
| 2.3.2.1 | Estado limite último – flexão composta..... | 11 |
| 2.3.2.2 | Estado limite último – esforço transverso | 17 |
| 2.3.3 | Áreas técnicas e Acessos Norte..... | 21 |
| 2.3.3.1 | Estado limite último – flexão composta..... | 21 |
| 2.3.3.2 | Estado limite último – esforço transverso | 25 |
| 2.3.3.3 | Estado limite último – punçoamento..... | 27 |
| 2.3.4 | Fachadas do corpo da Estação..... | 29 |
| 2.3.4.1 | Estado limite último – flexão composta..... | 29 |
| 2.4 | Verificação de Segurança aos Estados Limites de Serviço (ELS) | 31 |
| 2.4.1 | Introdução | 31 |
| 2.4.2 | Acessos Sul – túnel e acesso ao LIOS..... | 32 |
| 2.4.2.1 | Estado limite de serviço de Abertura de Fendas | 32 |
| 2.4.2.2 | Estado limite de serviço de Deformação..... | 38 |
| 2.4.3 | Áreas técnicas e Acessos Norte..... | 39 |
| 2.4.3.1 | Estado limite de serviço de Abertura de Fendas | 39 |
| 2.4.3.2 | Estado limite de serviço de Deformação..... | 43 |
| 2.4.4 | Fachadas do corpo da Estação..... | 45 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.4.4.1 | Estado limite de serviço de Abertura de Fendas | 45 |
| 2.4.5 | Resumo das armaduras necessárias/ consideradas | 47 |
| 3 | VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA – EST. INTERNA | 49 |
| 3.1 | Modelo de cálculo | 49 |
| 3.2 | Verificação de Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)..... | 51 |
| 3.2.1 | Estrutura Mista | 51 |
| 3.2.1.1 | Vigas Piso 01..... | 53 |
| 3.2.1.2 | Vigas Piso 02 - Via..... | 56 |
| 3.2.1.3 | Vigas Piso 02 - Cais | 58 |
| 3.2.1.1 | Verificação ao Corte..... | 61 |
| 3.2.1.1 | Verificação dos Conectores..... | 65 |
| 3.2.2 | Estrutura Metálica | 66 |
| 3.2.2.1 | Pilares dos Alinhamentos B e D..... | 66 |
| 4 | VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA - COBERTURA | 68 |
| 4.1 | Modelo de cálculo | 68 |
| 4.2 | Análise dinâmica | 69 |
| 4.3 | Verificação de Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)..... | 75 |
| 4.3.1 | Esforços ELU | 75 |
| 4.3.1.1 | Pórticos..... | 75 |
| 4.3.1.2 | Cordas Norte e Sul das fachadas | 77 |
| 4.3.1.3 | Travamentos horizontais das fachadas | 79 |
| 4.3.1.4 | Diagonais das fachadas | 79 |
| 4.3.1.5 | Diagonais da cobertura..... | 80 |
| 4.3.1.6 | Apoios | 81 |
| 4.3.2 | Tensões normais ELU | 81 |
| 4.3.2.1 | Pórticos..... | 81 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.3.2.2 | Cordas Norte e Sul das fachadas | 82 |
| 4.3.2.3 | Travamentos horizontais das fachadas | 83 |
| 4.3.2.4 | Diagonais das fachadas | 83 |
| 4.3.2.5 | Diagonais da cobertura..... | 84 |
| 4.3.2.6 | Apoios | 85 |
| 4.3.3 | Primeiro modo de instabilidade global..... | 85 |
| 4.3.4 | Rácios de resistência ELU..... | 86 |
| 4.4 | Verificação de Segurança aos Estados Limites de Utilização (ELS) | 87 |
| 100 | ANEXOS..... | 92 |
| 100.1 | Anexo A – Diagramas de esforços das estruturas de betão..... | 92 |

1 OBJECTIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projecto de Execução**, da **Nota de Cálculo – Estação de Alcântara, Estruturas**, no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo V – Estações, Volume 4 – Estação Alcântara**.

2 VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA – EST. DE BETÃO

2.1 Introdução

No âmbito deste documento entendem-se por estruturas de betão a totalidade dos elementos constituídos por este material, independentemente da sub-estrutura onde se encontram. Esta designação compreende a totalidade das estruturas enterradas localizadas a Sul da EAL (túnel de acesso à Rua Quinta do Jacinto no limite com a OE6 e acesso Sul ao LIOS e piso do átrio da EAL), a totalidade das estruturas enterradas localizadas a Norte (áreas técnicas, de apoio e de acesso) e as fachadas enterradas da EAL.

A verificação destes elementos aos estados limites últimos e de serviço (ELU e ELS, respectivamente) apresenta-se nos capítulos seguintes.

2.2 Modelo de cálculo

A análise estrutural foi efectuada através do programa de cálculo automático SOFiSTiK FEA 2022; este software permite a modelação integral das várias partes do sistema e a realização de análises lineares, não lineares e dinâmicas, incluindo sísmicas por espectros resposta.

As figuras seguintes mostram a geometria do modelo de elementos finitos (FEM) utilizado.

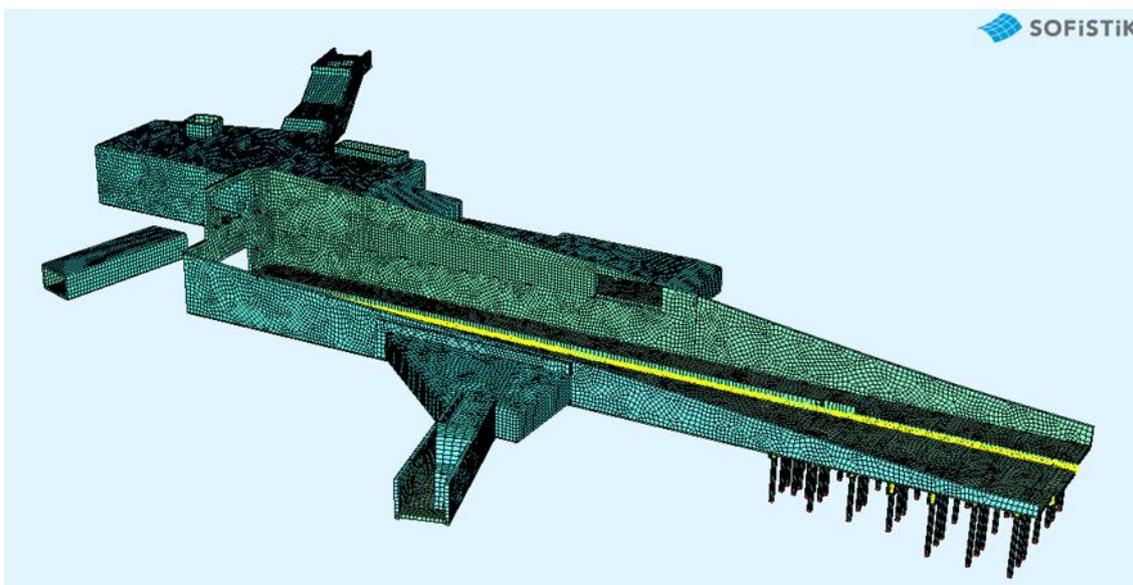


Figura 1 – Vista 3D do modelo de cálculo das estruturas de betão totais (vista Sul-Norte)

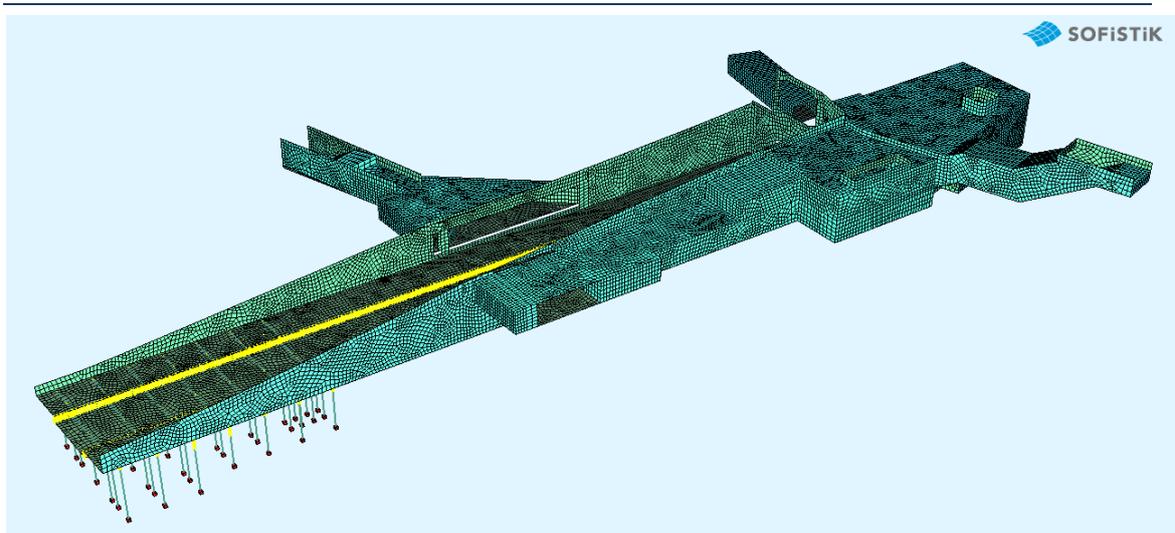


Figura 2 – Vista 3D do modelo de cálculo das estruturas de betão totais (vista Norte - Sul)

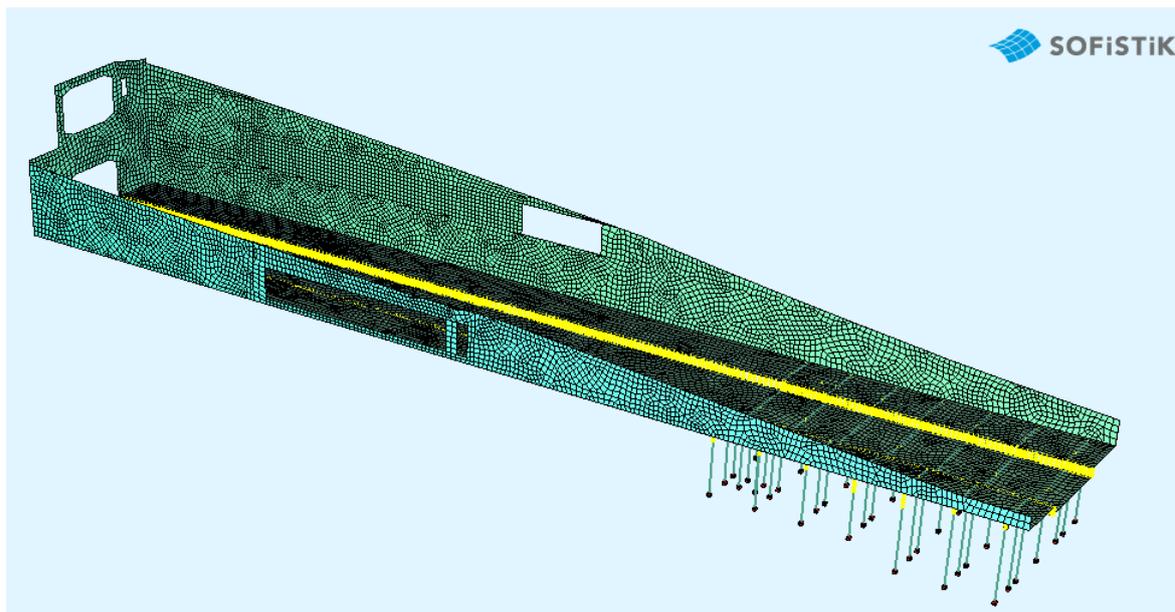


Figura 3 – Vista 3D do modelo de cálculo das estruturas de betão – fachadas da EAL + laje de fundação e estacas

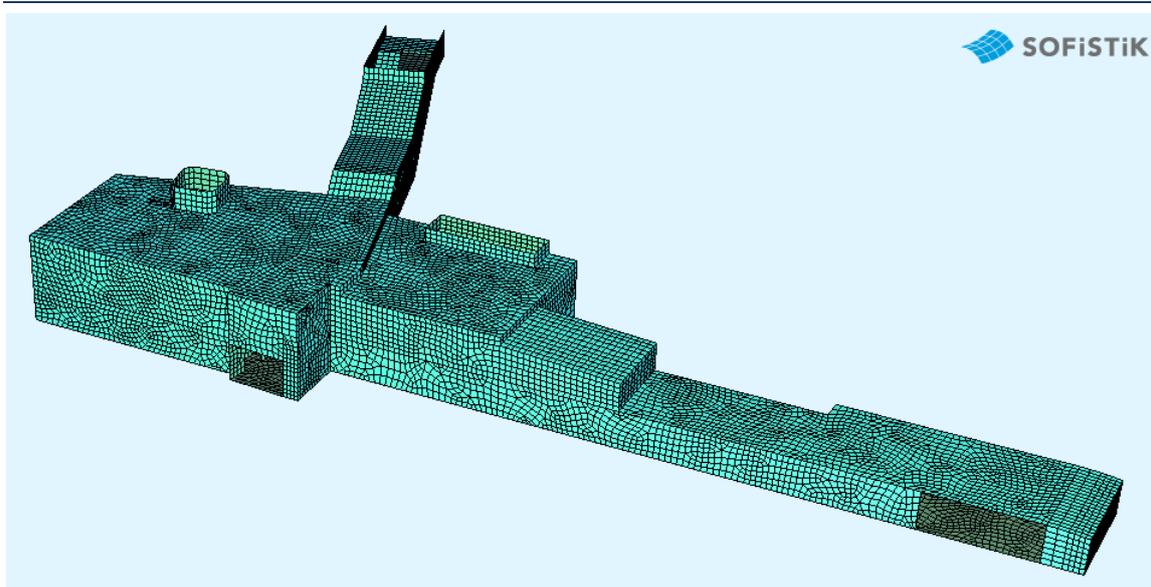


Figura 4 – Vista 3D do modelo de cálculo das estruturas de betão – núcleo Norte (vista Sul-Norte)

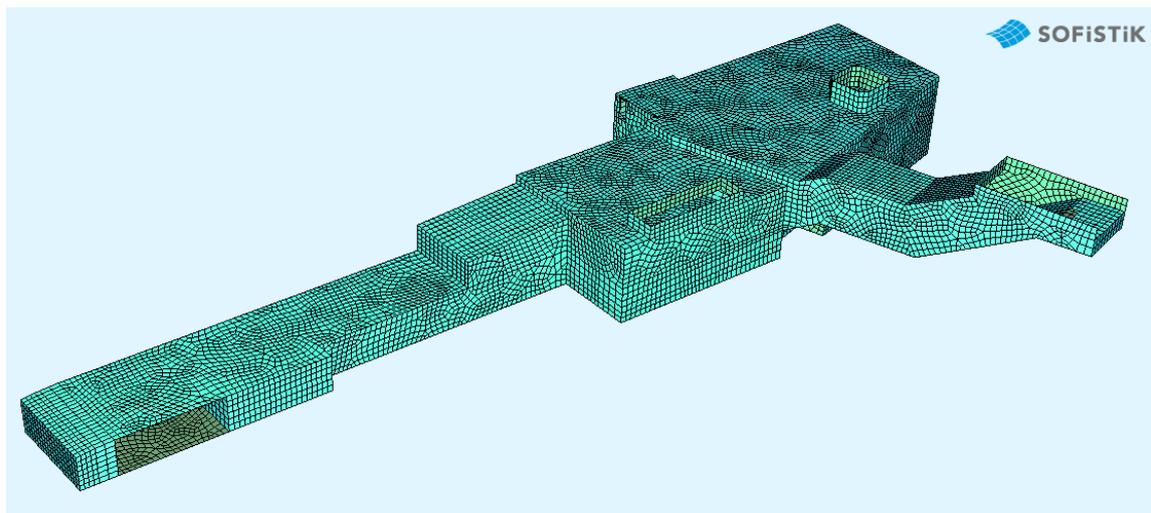


Figura 5 – Vista 3D do modelo de cálculo das estruturas de betão – núcleo Norte (vista Norte-Sul)

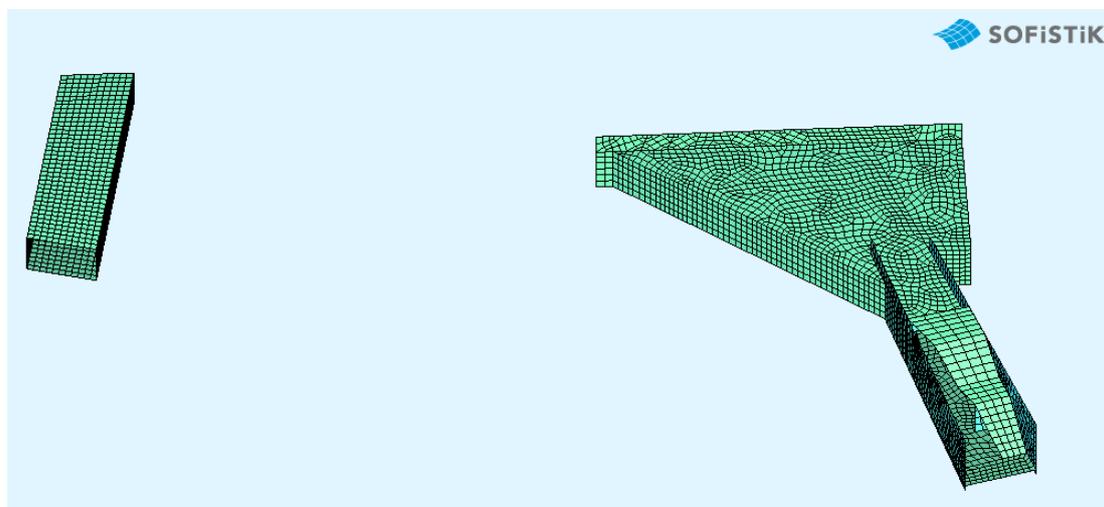


Figura 6 – Vista 3D do modelo de cálculo das estruturas de betão – acesso Sul ML e acesso Sul LIOS

Na modelação das sub-estruturas foram tomados elementos de área para as lajes, paredes interiores e muros e elementos de barra para as estacas do corpo principal da estação e pilares das áreas técnicas Norte.

Nesta fase do estudo, as estacas do corpo da Estação foram consideradas integralmente em betão e a funcionar por ponta (sem prejuízo da posterior confirmação da contribuição do atrito lateral); adicionalmente, as lajes de fundação foram modeladas como estando assentes em meio elástico e foi tomado um módulo de reacção que simula as características do solo. Devido à sua natureza, as lajes de fundação são as únicas orientadas inversamente das restantes com o seu sistema de eixos local orientado com o eixo z orientado para cima. A figura seguinte explicita o sistema de eixos local seguido para os elementos principais (tomando a zona técnica Norte como exemplo).

- eixo local z (azul escuro) – orientado perpendicularmente ao elemento área com a direcção esperada do movimento (orientado para dentro do corpo da estrutura no caso de muros e lajes de fundação; nas lajes normais, o eixo local z encontra-se orientado no sentido da gravidade. Nos elementos barra procurou-se orientar o eixo z com o sentido esperado do momento flector secundário;
- eixo local y (verde) – orientado, regra geral, com a direcção esperada dos esforços principais (sentido vertical em muros, sentido do menor vão livre nas lajes); nos pilares e nas estacas (elementos barra), procurou-se orientar o eixo y com o sentido esperado do momento flector principal).
- eixo local x (vermelho) – orientado com a direcção restante.

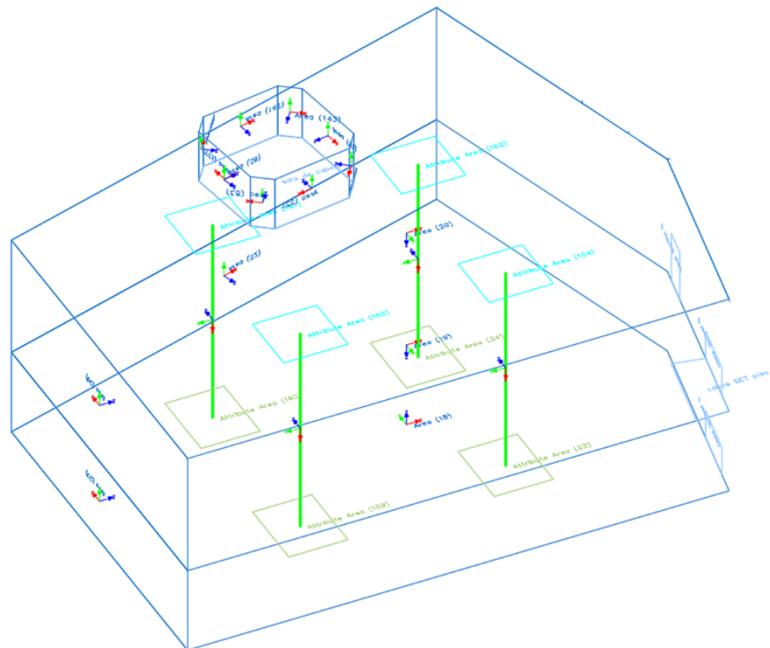


Figura 7 – Sistema local de eixos dos elementos estruturais principais

Todos os elementos estruturais do modelo foram considerados com as suas dimensões reais e com as respectivas propriedades dos materiais.

2.3 Verificação de Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)

2.3.1 Introdução

Na verificação sumária da segurança aos ELU foram consideradas as acções apresentadas no capítulo **Error! Reference source not found.** e as combinações e factores apresentados no capítulo **Error! Reference source not found.**. As solicitações determinantes foram obtidas para as combinações de acções condicionantes para cada tipo de elemento. Para os elementos verticais (pilares, muros) foi considerada ainda a combinação sísmica uma vez que o acréscimo de impulso lateral do solo devido à acção dinâmica pode ser condicionante para o dimensionamento dos elementos.

No sentido de facilitar a leitura deste documento, a reprodução exhaustiva dos diagramas de esforços principais (envolventes de momentos flectores nas duas direcções para ELU e combinação sísmica e envolventes de esforço transversal para ELU) foi remetida para anexo.

As armaduras apresentadas nos capítulos seguintes foram obtidas automaticamente pelo software de cálculo e validadas (para secções representativas) através de meios secundários; este cálculo automático tem em consideração as características geométricas dos elementos (dimensões, recobrimentos, orientação dos elementos, diâmetro dos varões, etc.) e os esforços aplicados em cada secção (flexão composta).

Globalmente considerou-se a direcção principal da armadura como a direcção y-local dos elementos, ou seja, vertical nos muros e paredes e dispostos perpendicularmente a muros, no menor vão, em lajes. A direcção secundária (“cross” em inglês nos diagramas) é, conseqüentemente, a direcção x-local, tanto em muros/paredes como em lajes.

O esforço transversal foi verificado sumariamente através da obtenção do esforço transversal resistente sem a consideração explícita de armadura específica de esforço transversal e posterior comparação com o esforço transversal actuante médio.

No capítulo 2.3.3.3 foi ainda avaliado sumariamente o punçoamento na laje do piso intermédio das áreas técnicas Norte (a única laje sem capiteis).

2.3.2 Acessos Sul – túnel e acesso ao LIOS

2.3.2.1 Estado limite último – flexão composta

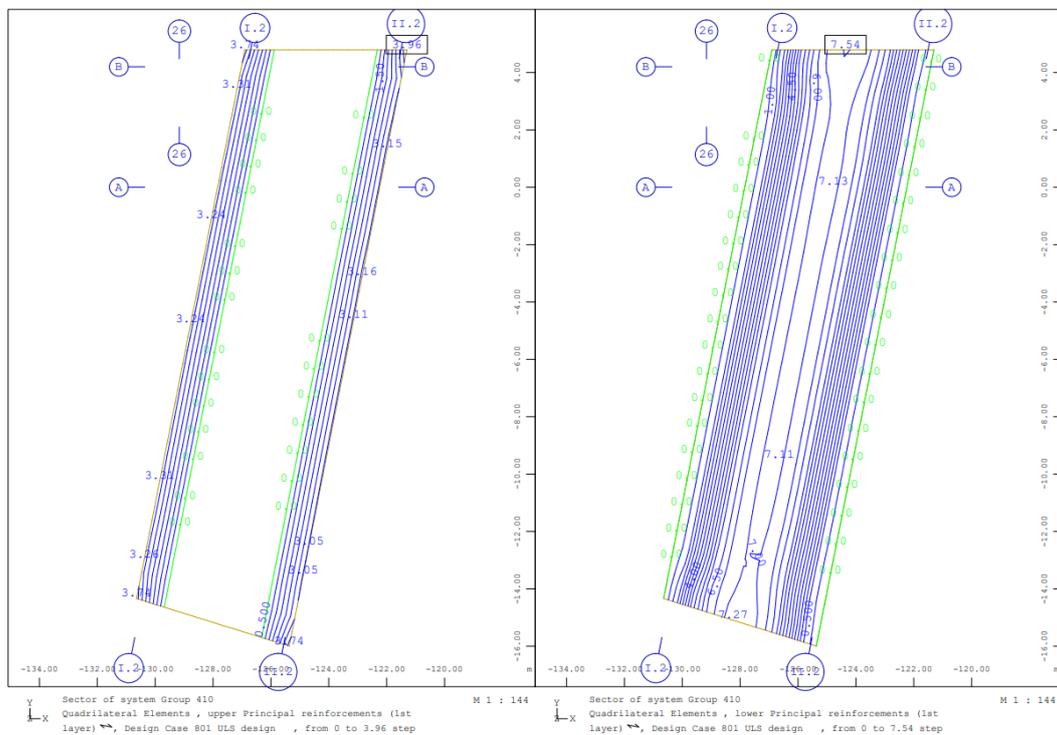


Figura 8 – Armadura principal na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – túnel - ELU