




OBRA DE ARTE ESPECIAL 09D – RIACHO FUNDO.

Memorial descritivo

FEVEREIRO/2021

| | | | | | |
|-----------------|------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 02 | Revisão projeto básico | 02/2021 | | | |
| 01 | Revisão projeto básico | 01/2021 | | | |
| 00 | Emissão inicial | 05/2020 | | | |
| Nº | MODIFICAÇÃO | DATA | FEITO | VISTO | APROVO |
| REVISÕES | | | | | |

| | | | |
|--|--|---------------------------------------|----------------|
|  Empreendimentos Sustentáveis | | PROJETO | |
| | | Corredor Eixo Sudoeste | |
| VISTO | | LOCALIZAÇÃO | |
| | | Brasília - DF | |
| APROVO | | ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE | |
| | | Obra de Arte Especial | |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO / CREA FABIO POLTRONIERI - CREA 7750/D-ES | | | |
| COORDENADOR / CREA ARLINDO VERZEGNASSI FILHO / CREA: 5060497290/D-SP | | | |
| ETAPA DE PROJETO | TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO | | DATA |
| Grupo - 3 | Memorial descritivo – OAE-09D | | Fevereiro/2121 |
| | CODIFICAÇÃO | | REVISÃO |
| | | R02 | |

SUMÁRIO

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Introdução..... | 2 |
| 2 | OAE 9D | 4 |
| 2.1 | Dados iniciais e considerações de projeto:..... | 4 |
| 2.2 | Materiais admitidos | 5 |
| 2.3 | Normas e Referências Bibliográficas..... | 5 |
| 2.4 | Ferramentas Computacionais..... | 6 |
| 2.5 | Esboço conceitual da OAE..... | 6 |
| 2.6 | Análise estrutural..... | 10 |
| 2.6.1 | Cargas permanentes | 10 |
| 2.6.2 | Sobrecargas..... | 10 |
| 2.6.3 | Vento | 10 |
| 2.6.4 | Empuxo de terras..... | 10 |
| 2.6.5 | Verificação da seção integrada tabuleiro x contenção..... | 10 |
| 2.6.5.1 | Pré Dimensionamento da laje do tabuleiro | 12 |
| 2.6.5.2 | Pré dimensionamento das estacas da contenção..... | 12 |
| 2.6.5.3 | Cálculo do embutimento das estacas da contenção..... | 12 |
| 2.6.5.4 | Pavimento sob a OAE | 13 |

Projeto conceitual do conjunto de obras de arte especiais EPNB x Riacho Fundo

1 INTRODUÇÃO

O complexo de obras de arte especiais do Riacho Fundo é composto por 4 intervenções diferentes, a saber:

- ✓ 9 A – Viaduto sobre a EPNB Retorno Samambaia;
- ✓ 9 B – Trincheira sob a Rod. Riacho Fundo I QN2 na EPNB;
- ✓ 9 C - Trincheira sob a Rod. Riacho Fundo I QN2 na EPNB
- ✓ 9 D – Trincheira sob a EPNB Retorno EPIA;

A OAE 9A está representada no projeto geométrico com seu alinhamento representado no perfil V51. Desenvolve-se desde a estaca E2+5,00 até à estaca E14+12,00, comprimento total de 247 metros lineares. Sobrelargura no trecho curvo de 13,60 metros. Área total aproximada de 3.359 m².

As OAE's 9B e 9C estão representadas no projeto geométrico com seus alinhamentos representados respectivamente nos perfis V19-F e V19-E. Desenvolvem-se desde a estaca E5+0,00 até à estaca E7+17,00, comprimento total de 64 metros lineares. Largura de 8,0 metros. Área total aproximada de 512,0 m² cada uma.

A OAE 9D está representada no projeto geométrico com seu alinhamento representado no perfil V50. Desenvolve-se desde a estaca E2+2,00 até à estaca E14+02,00, comprimento total de 240 metros lineares. Sobrelargura no trecho curvo de 13,60 metros. Área total aproximada de 2.865 m².

Sob as OAE's 9B e 9C, perpendicularmente, desenvolve-se ao longo dos eixos V01, V02 e V03 (corredor BRT e vias da EPNB) uma linha de contenção em ambos os lados da via para realizar o mergulho sob as obras de arte supra citadas.

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

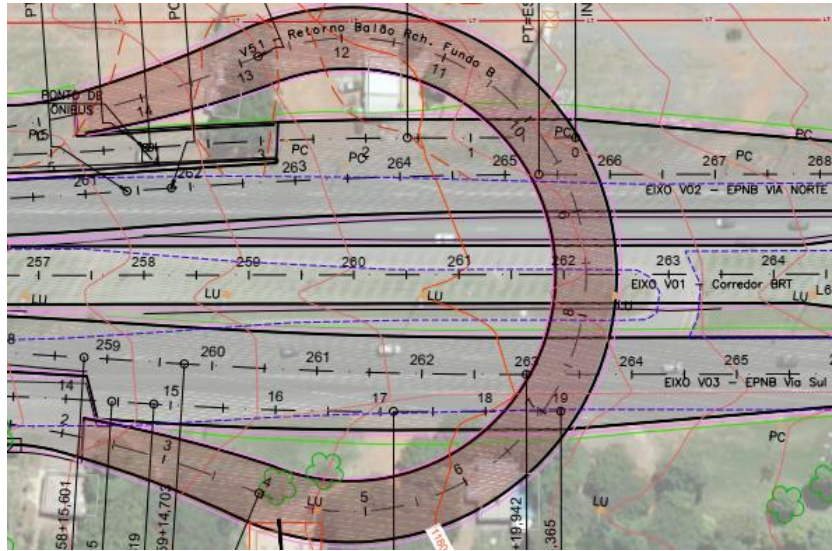


Figura 1 - OAE 9A – Viaduto retorno Samambaia

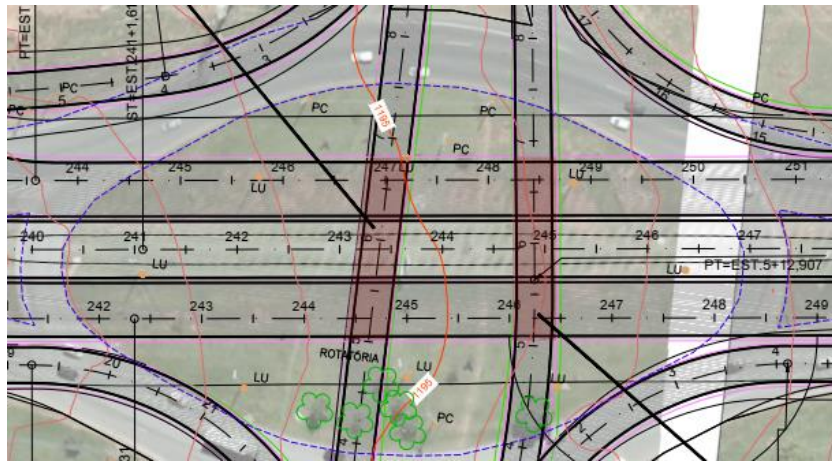


Figura 2 - OAE 9B e 9C. Viadutos

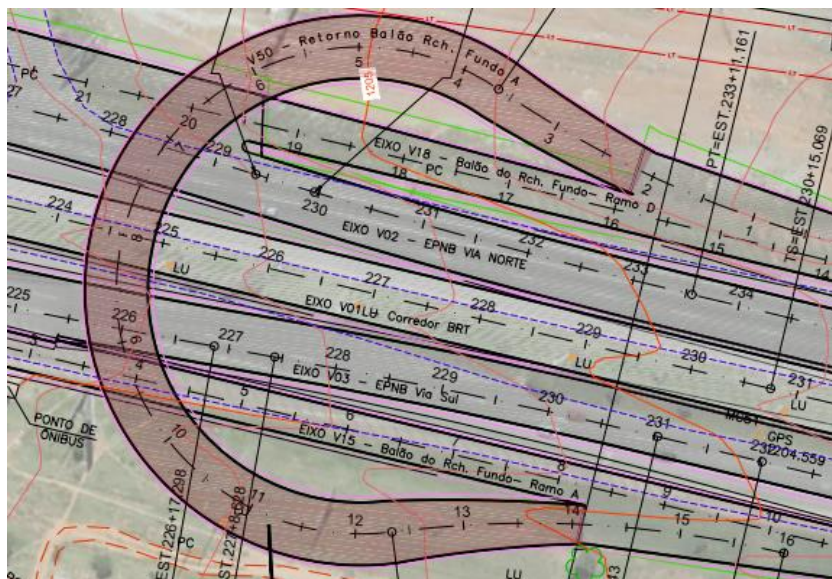


Figura 3 - OAE 9D. Trincheira sob EPNB

2 OAE 9D

Viadutos em trincheira sob a EPNB. Coordenadas de localização das OAE's:

9D: 819812 E / 8242270 S Sirgas 2000 Zona 22L. Distrito Federal.

O projeto segue as exigências do DER-DF observando atender às necessidades econômicas e de segurança.

A solução adotada para o sistema estrutural da OAE foi trincheira com escavação invertida com pré concretagem do tabuleiro, que por sua vez será maciço. Esta solução se justifica pelo fato de que a geometria adotada é a que apresenta melhor custo x benefício para o vão aproximado de 15 metros, com curvatura acompanhando o desenvolvimento do alinhamento inferior.

2.1 DADOS INICIAIS E CONSIDERAÇÕES DE PROJETO:

- Dimensões da OAE: 64,0 x 13,6 (comprimento x largura interna) metros;
- Ações devido ao peso próprio:
 - Densidade do concreto armado = 25 kN/m³;
- Ações permanentes:
 - Àquelas advindas do peso próprio da estrutura de outros elementos constituintes a considerar, tal como barreiras de concreto, lajes de passeio, tubulações de redes técnicas, etc.;
- Ações variáveis:
 - Sobrecarga de multidão sobre o tabuleiro = 5,0 kN/m²;
- Ações dinâmicas:
 - Trem-tipo de 450 kN – padrão ABNT;
 - Ação de frenagem = 30% do trem-tipo;
 - Impacto de veículos nos pilares = Não aplicável no caso;
 - Ação do vento – Pressão dinâmica considerada como carga horizontal no topo dos pilares a partir da respectiva área de influência. Carga de pressão dinâmica considerada = 0,70 kN/m²;
- Coeficiente de impacto:
 - CIV = 1,33 CIA = 1,25 CNF = 1,0
 - Para o cálculo de lajes no centro da OAE = 1,33;
 - Para o cálculo de lajes próximo aos apoios = 1,66;
 - Para o cálculo de seções à flexão no centro da OAE = 1,19;
 - Para o cálculo de seções à flexão próximo os apoios = 1,49;
- Força centrífuga: Não aplicável;
- Risco de penetração de cloretos: inexistente;
- Classe de agressividade admitida: II – moderada, urbana de clima seco com umidade média anual menor que 65%;
- Cobrimento mínimo das peças estruturais na armadura passiva = 3,0 cm;

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

| Dados climatológicos para Brasília | | | | | | | | | | | | | [Esconder] |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
| Temperatura máxima recorde (°C) | 32,6 | 31,4 | 32,1 | 31,6 | 30,2 | 31,6 | 30,8 | 33 | 35,8 | 36,4 | 34,5 | 33,7 | 36,4 |
| Temperatura máxima média (°C) | 26,5 | 27 | 26,7 | 26,6 | 25,9 | 25 | 25,3 | 26,9 | 28,4 | 28,2 | 26,7 | 26,3 | 26,6 |
| Temperatura média compensada (°C) | 21,6 | 21,7 | 21,6 | 21,3 | 20,2 | 19 | 19 | 20,6 | 22,2 | 22,4 | 21,5 | 21,4 | 21,4 |
| Temperatura mínima média (°C) | 18,1 | 18 | 18,1 | 17,5 | 15,6 | 13,9 | 13,7 | 15,2 | 17,2 | 18,1 | 18 | 18,1 | 16,8 |
| Temperatura mínima recorde (°C) | 12,2 | 11 | 14,5 | 10,7 | 3,2 | 3,3 | 1,6 | 5 | 9 | 10,2 | 11,4 | 13,5 | 1,6 |
| Precipitação (mm) | 209,4 | 183 | 211,8 | 133,4 | 29,7 | 4,9 | 6,3 | 24,1 | 46,6 | 159,8 | 226,6 | 241,5 | 1 477,4 |
| Dias com precipitação (≥ 1 mm) | 17 | 14 | 14 | 8 | 3 | 1 | 1 | 2 | 5 | 11 | 17 | 19 | 112 |
| Umidade relativa compensada (%) | 76,2 | 74,7 | 76,8 | 72,2 | 66,2 | 58,7 | 52,7 | 46,8 | 50,3 | 62,8 | 74,5 | 78 | 65,8 |
| Horas de sol | 150,9 | 158,9 | 166,5 | 204,6 | 239,5 | 254,3 | 268,9 | 264,4 | 210,5 | 183,1 | 139,9 | 126,8 | 2 368,3 |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (normal climatológica de 1981-2010; [1] recordes de temperatura a partir de 21/08/1961) [2][3]

Tabela 1 - Dados Climatológicos da Região do Distrito Federal

| Dados dos Materiais e Ambiente | | Resultados | |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| fck (MPa) | <input type="text" value="35"/> | k_{CO_2} (mm /ano ^{1/2}) | <input type="text" value="3,4"/> |
| Tipo de cimento | <input type="text" value="CP/II"/> | Tempo até a despassivação (anos) | <input type="text" value="138,8"/> |
| Cobrimento (cm) | <input type="text" value="4"/> | | |
| CO ₂ ambiente (%) | <input type="text" value="0,1"/> | | |

Tabela 2 - Avaliação determinística da durabilidade e tempo de despassivação das armaduras. Atendendo a NBR 15575 nível "Superior".

Para o cálculo de carbonatação foi utilizado o valor de cobrimento de 4 cm devido à protensão que as peças fletidas estarão submetidas. Assim, os pilares e cortinas terão cobrimento mínimo de 4,0 cm para atender o critério de durabilidade. Tabuleiros e longarinas poderão adotar cobrimento mínimo de 3,0 cm.

2.2 MATERIAIS ADMITIDOS

- Concreto estrutural para todos os fins:
 - C35: Fck ≥ 35 MPa, Ec ≥ 29.000 MPa;
 - Agregado considerado: Gnaisse/granito (Ae = 1,0);
- Aço estrutural para concreto armado - passivo:
 - CA50 A: (Fy = 500 MPa)

2.3 NORMAS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A elaboração do projeto de OAE obedeceu às condições gerais prescritas nas Normas Brasileiras em vigor, relacionadas a seguir, e por normas estrangeiras de confiabilidade notória quando não há similar nacional.

- NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto
- NBR-7187: Projeto Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido
- NBR-7188: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestres
- NBR-7191: Execução de Desenhos Para Obras de Concreto Simples ou Armado
- NBR-6123 – Versão corrigida 2013: Forças Devidas ao Vento em Edificações

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

- NBR-6497: Levantamento Geotécnico
- NBR-8681 – Versão corrigida 2004: Ações e Segurança nas Estruturas
- NBR-10839: Execução de Obras de arte Especiais em Concreto Armado e Concreto Protendido
- NBR-6122: Projeto e Execução de Fundações
- DIN 1073:1974-07 – Steel road bridges, design bases
- Manual de projeto de OAE – DNER: 1996

Todas as normas em suas versões mais recentes na ocasião da elaboração do projeto.

2.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A análise estrutural da OAE foi executada com o auxílio dos softwares:

- Ftool Versão 4.0 profissional – Análise estrutural;
- TQS versão 18.3 – Dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado e protendido.
- Planilhas eletrônicas elaboradas pelo Eng. Civil Fabio Poltronieri – CREA 7750 D ES.

2.5 ESBOÇO CONCEITUAL DA OAE

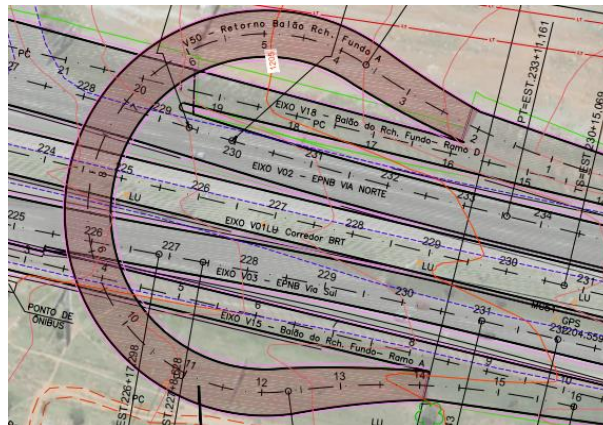


Figura 4 - Trincheira sob a EPNB - OAE 9D

Na superestrutura, o tabuleiro será composto por uma laje maciça em concreto armado, concretado em três etapas de 25 / 25 / 33 cm e com água gelada a 4º para redução da retração por secagem. Para apoiar as lajes do tabuleiro, serão executadas duas vigas de coroamento sobre as estacas dos encontros.

A OAE será projetada para receber 10 cm de pavimentação betuminosa tipo CBUQ, mais as cargas móveis previstas pela NBR 7188 – 2013. Trem tipo classe 450 kN e sobrecarga de 5 kN/m² de multidão.

Foi projetado para a área de projeção da OAE duas cortinas de estacas tipo escavadas a trado de grande diâmetro, com ou sem revestimento, nos encontros, com diâmetro de 80

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

cm. A geometria da implantação é em forma de leque com raios variáveis. A execução será feita com a laje do tabuleiro sendo concretada antes da remoção do solo inferior. Após a consolidação do tabuleiro e vigas do coroamento, será feito o avanço inferior com escavação invertida.

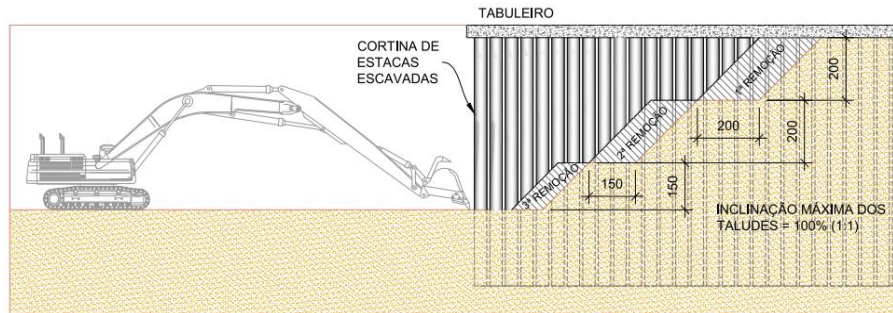


Figura 5 - Esquema de escavação invertida sob tabuleiro moldado in loco sobre solo

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

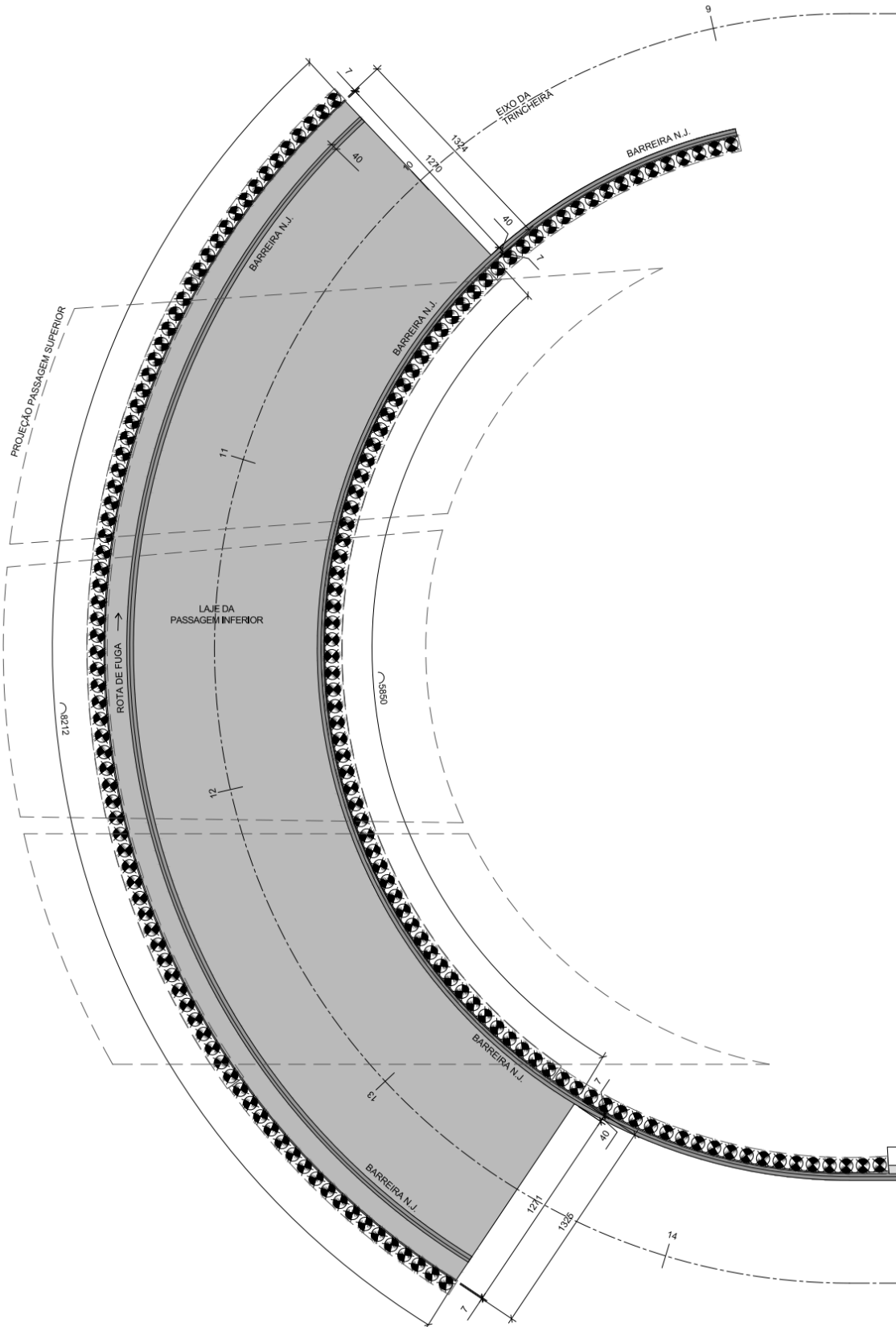


Figura 6 - Planta baixa da passagem inferior

JFM

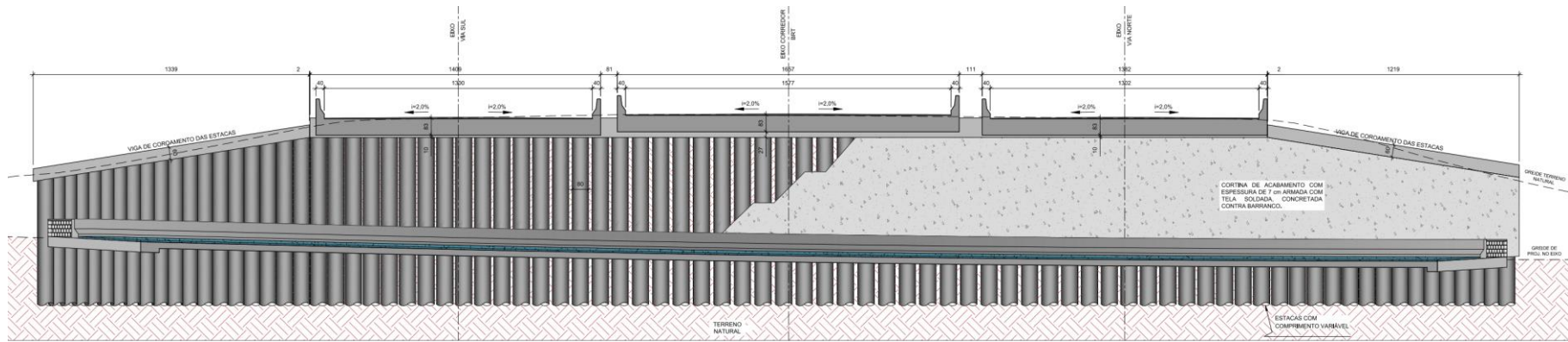


Figura 7 - Seção longitudinal pelo eixo do alinhamento inferior

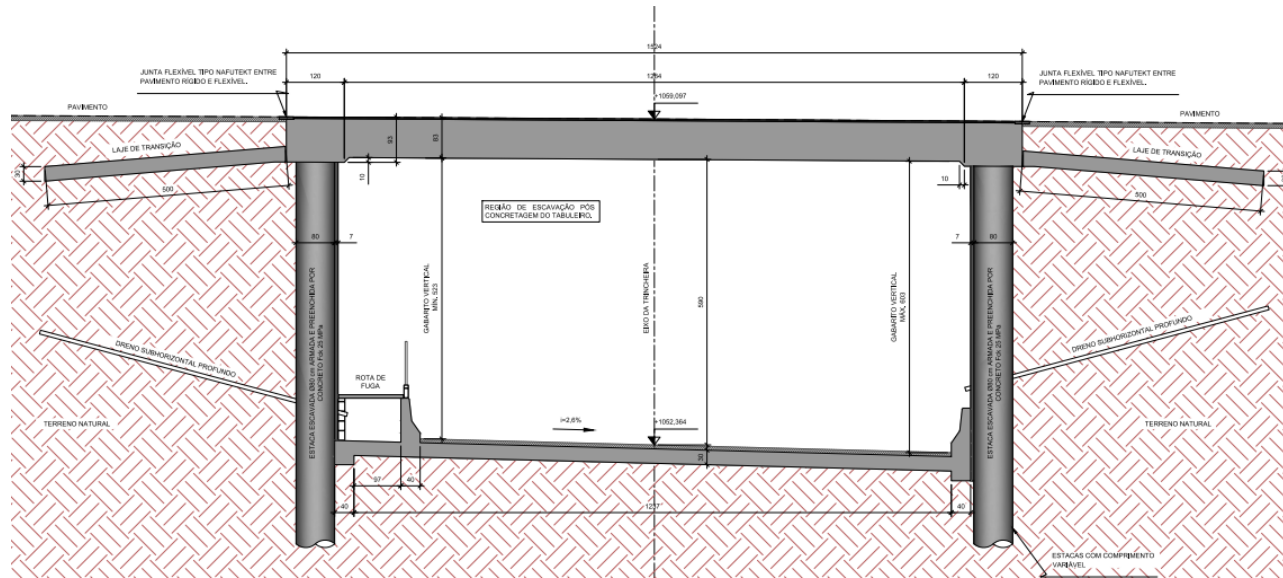


Figura 8 - Seção transversal da OAE 9D

JFM

2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL

2.6.1 Cargas permanentes

Peso próprio:

- Peso próprio da seção de tabuleiro por metro linear = 20,75 kN/m²;
- Peso próprio de barreiras tipo new Jersey = 6,3 kN/m;
- Peso próprio de revestimento = 2,2 kN/m²;

2.6.2 Sobrecargas

Sobrecarga de multidão: 5,0 kN/m²

Trem tipo: Classe 450 kN conforme NBR 7188/2013.

2.6.3 Vento

Desprezado devido à obra ser totalmente enterrada.

2.6.4 Empuxo de terras

| | | |
|---|--------|-------------------|
| Método de entrada da inclinação do terraplino (β) = | ângulo | |
| Inclinação do terraplino (β) = | 0 | graus |
| Ângulo de atrito interno (φ) = | 26 | graus |
| Coesão do solo (c) = | 10 | kPa |
| Peso específico do solo (γ) = | 16 | kN/m ³ |
| Altura do muro (H) = | 7 | m |

| | | |
|---|---------------|---------------|
| Ka - Coeficiente de empuxo ativo - Mazindrani (1997) = | 0,2789 | (em H) |
| Kp - Coeficiente de empuxo passivo - Mazindrani (1997) = | 2,8468 | (em H) |

| | | |
|--|--------------|-----------|
| Empuxo ativo (P_a) = | 78,1 | kN |
| Posição do empuxo (γ) = | 1,667 | m |

2.6.5 Verificação da seção integrada tabuleiro x contenção

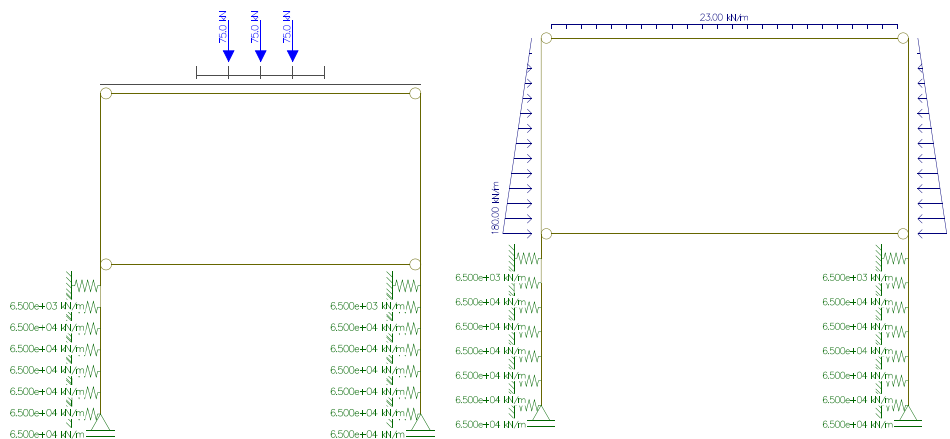


Figura 9 - Esquema estrutural – Carregamento do trem tipo e Cargas permanentes

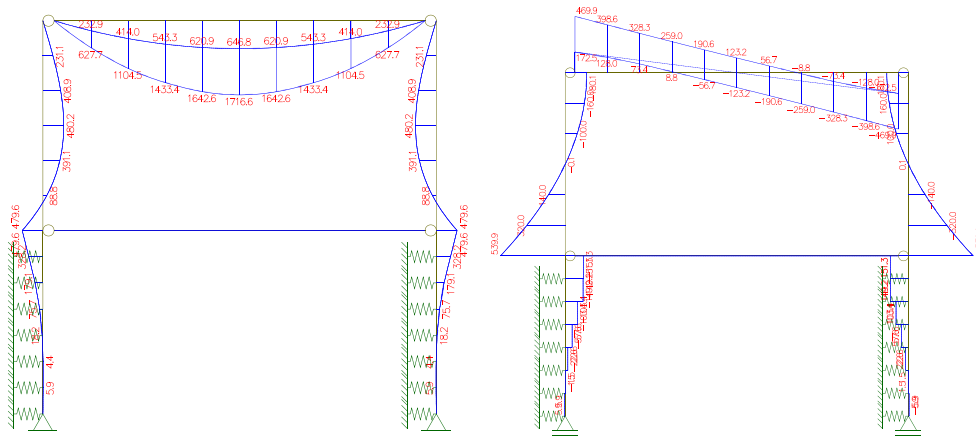


Figura 10 - Envoltória de Momentos e cortantes

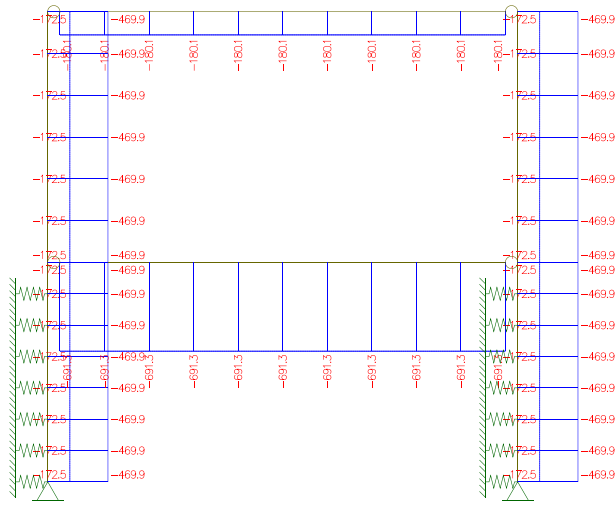


Figura 11 - Envoltória de esforços normais

Os coeficientes de mola laterais do solo corresponde à resposta para deformação unitária considerando a área de contato de 80 cm das estacas, para 1 metro de contribuição de empuxo.

Apesar de a laje do tabuleiro ter sido admitida como rotuladas nos apoios e a responsabilidade estrutural à flexão estar delegada à armadura positiva, deverá ser usada armação negativa mínima nos apoios conforme NBR 6118.

2.6.5.1 Pré Dimensionamento da laje do tabuleiro

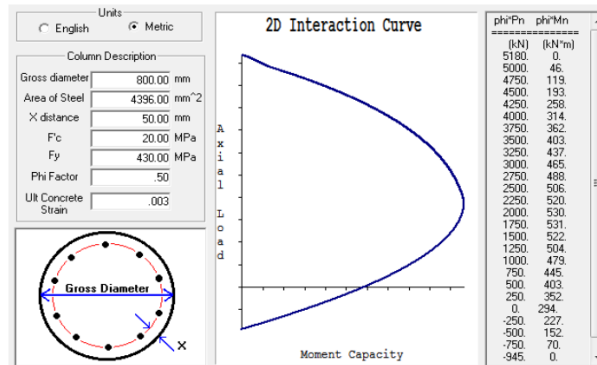
| | | | | | |
|---------|----------|--------|--------|----------|--------|
| bw | 100 | cm | Ec | 309037 | kg/cm2 |
| h | 83 | cm | fcd | 269 | kg/cm2 |
| Mk | 17160000 | kg.cm | fyd | 4348 | kg/cm2 |
| fck | 350 | kg/cm2 | Md | 23166000 | kg.cm |
| fyk | 5000 | kg/cm2 | kxlim | 0,50 | |
| cobrim. | 4 | cm | kzlim | 0,80 | |
| d" | 0 | cm | kmdlím | 0,272 | |
| gama c | 1,3 | | kmd | 0,1379 | |
| gama s | 1,15 | | kx | 0,223 | |
| gama f | 1,35 | | kz | 0,91 | |
| Es | 2100000 | kg/cm2 | Vd | 2857,95 | kg |
| Vk | 2117 | kg | d | 79 | cm |
| | | | X | 49,64 | cm |
| | | | x/d | 0,45 | |

Verificação 01 - Armadura simples ou dupla

Armadura simples

Área de aço de armadura simples $A_s = 74,04 \text{ cm}^2$

2.6.5.2 Pré dimensionamento das estacas da contenção



Foi considerada uma estaca de 80 cm de diâmetro e com afastamento entre eixos de 100 cm. A armação longitudinal considerada para suportar a flexo compressão é de 44 cm², de onde foi adotada a armação no trecho superior do elemento, de 12 x 25 mm. A combinação resistente de menor módulo é a de:

$$N_r = 1750 \text{ kN}$$

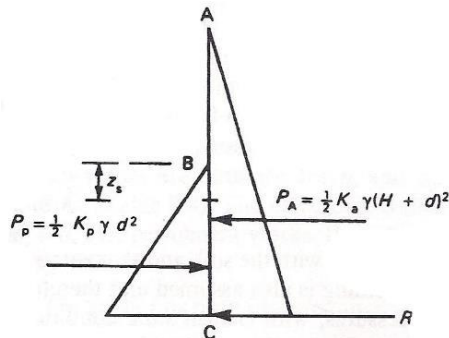
$$M_r = 531 \text{ kN.m}$$

$$N_d = 172,5 \text{ kN}$$

$$M_d = 480,2 \text{ kN.m}$$

Dimensionamento ok !

2.6.5.3 Cálculo do embutimento das estacas da contenção



Altura de escavação = 7m

Angulo de atrito do solo adotado = 26 graus

Peso específico do solo = 16 kN/m³

Fator de segurança para o embutimento = 1,5

Coefficiente de empuxo passivo Kp (Rankine) = 2,46

Coefficiente de empuxo ativo Ka (Rankine) = 0,406

Embutimento calculado = $7 / (2,46)^{2/3} - 1 = 12,75$ m

Altura total = 7,0 + 12,75 = 19,75 metros. Adotado 20 metros de escavação total para as estacas.

2.6.5.4 Pavimento sob a OAE

O pavimento de concreto sob a OAE deverá seguir as especificações do projeto de pavimentação para circulação do BRT. A laje em questão está estendida entre as cortinas dos encontros e dá segurança adicional por estroncamento da base das estacas, evitando processos erosivos nessas regiões. As barreiras de concreto instaladas imediatamente abaixo da cortina projetada sobre as estacas no lado interno da OAE protege os veículos de impactos diretamente contra as paredes, forçando o retorno ao leito carroçável.

SUMÁRIO

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Introdução..... | 2 |
| 2 | OAE 9D | 4 |
| 2.1 | Dados iniciais e considerações de projeto:..... | 4 |
| 2.2 | Materiais admitidos | 5 |
| 2.3 | Normas e Referências Bibliográficas..... | 5 |
| 2.4 | Ferramentas Computacionais..... | 6 |
| 2.5 | Esboço conceitual da OAE..... | 6 |
| 2.6 | Análise estrutural..... | 10 |
| 2.6.1 | Cargas permanentes | 10 |
| 2.6.2 | Sobrecargas..... | 10 |
| 2.6.3 | Vento | 10 |
| 2.6.4 | Empuxo de terras..... | 10 |
| 2.6.5 | Verificação da seção integrada tabuleiro x contenção..... | 10 |
| 2.6.5.1 | Pré Dimensionamento da laje do tabuleiro | 12 |
| 2.6.5.2 | Pré dimensionamento das estacas da contenção..... | 12 |
| 2.6.5.3 | Cálculo do embutimento das estacas da contenção..... | 12 |
| 2.6.5.4 | Pavimento sob a OAE | 13 |

Projeto conceitual do conjunto de obras de arte especiais EPNB x Riacho Fundo

1 INTRODUÇÃO

O complexo de obras de arte especiais do Riacho Fundo é composto por 4 intervenções diferentes, a saber:

- ✓ 9 A – Viaduto sobre a EPNB Retorno Samambaia;
- ✓ 9 B – Trincheira sob a Rod. Riacho Fundo I QN2 na EPNB;
- ✓ 9 C - Trincheira sob a Rod. Riacho Fundo I QN2 na EPNB
- ✓ 9 D – Trincheira sob a EPNB Retorno EPIA;

A OAE 9A está representada no projeto geométrico com seu alinhamento representado no perfil V51. Desenvolve-se desde a estaca E2+5,00 até à estaca E14+12,00, comprimento total de 247 metros lineares. Sobrelargura no trecho curvo de 13,60 metros. Área total aproximada de 3.359 m².

As OAE's 9B e 9C estão representadas no projeto geométrico com seus alinhamentos representados respectivamente nos perfis V19-F e V19-E. Desenvolvem-se desde a estaca E5+0,00 até à estaca E7+17,00, comprimento total de 64 metros lineares. Largura de 8,0 metros. Área total aproximada de 512,0 m² cada uma.

A OAE 9D está representada no projeto geométrico com seu alinhamento representado no perfil V50. Desenvolve-se desde a estaca E2+2,00 até à estaca E14+02,00, comprimento total de 240 metros lineares. Sobrelargura no trecho curvo de 13,60 metros. Área total aproximada de 2.865 m².

Sob as OAE's 9B e 9C, perpendicularmente, desenvolve-se ao longo dos eixos V01, V02 e V03 (corredor BRT e vias da EPNB) uma linha de contenção em ambos os lados da via para realizar o mergulho sob as obras de arte supra citadas.

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

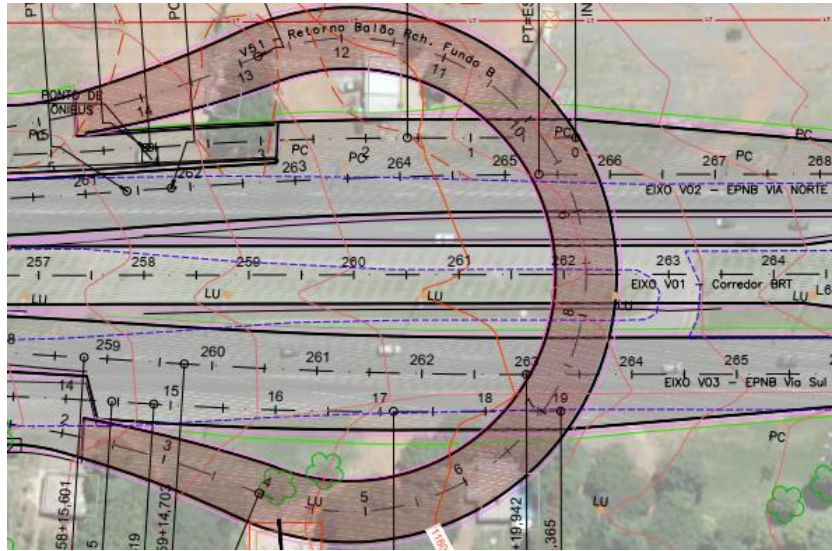


Figura 1 - OAE 9A – Viaduto retorno Samambaia

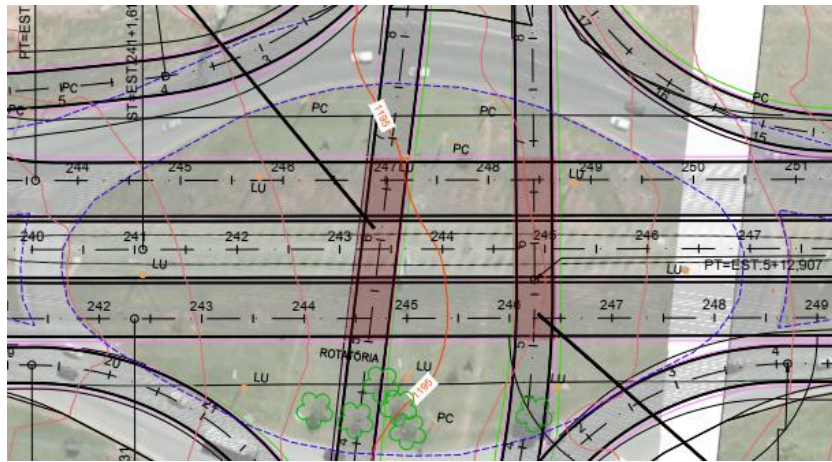


Figura 2 - OAE 9B e 9C. Viadutos

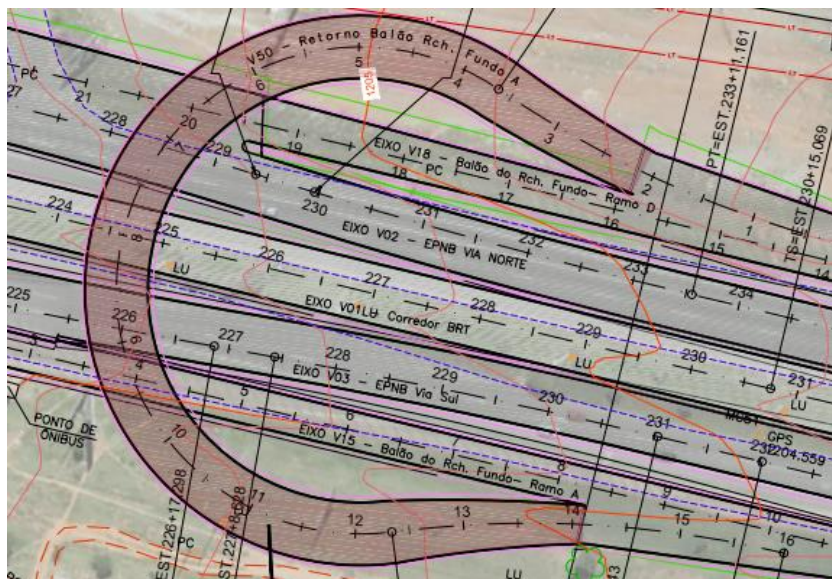


Figura 3 - OAE 9D. Trincheira sob EPNB

2 OAE 9D

Viadutos em trincheira sob a EPNB. Coordenadas de localização das OAE's:

9D: 819812 E / 8242270 S Sirgas 2000 Zona 22L. Distrito Federal.

O projeto segue as exigências do DER-DF observando atender às necessidades econômicas e de segurança.

A solução adotada para o sistema estrutural da OAE foi trincheira com escavação invertida com pré concretagem do tabuleiro, que por sua vez será maciço. Esta solução se justifica pelo fato de que a geometria adotada é a que apresenta melhor custo x benefício para o vão aproximado de 15 metros, com curvatura acompanhando o desenvolvimento do alinhamento inferior.

2.1 DADOS INICIAIS E CONSIDERAÇÕES DE PROJETO:

- Dimensões da OAE: 64,0 x 13,6 (comprimento x largura interna) metros;
- Ações devido ao peso próprio:
 - Densidade do concreto armado = 25 kN/m³;
- Ações permanentes:
 - Àquelas advindas do peso próprio da estrutura de outros elementos constituintes a considerar, tal como barreiras de concreto, lajes de passeio, tubulações de redes técnicas, etc.;
- Ações variáveis:
 - Sobrecarga de multidão sobre o tabuleiro = 5,0 kN/m²;
- Ações dinâmicas:
 - Trem-tipo de 450 kN – padrão ABNT;
 - Ação de frenagem = 30% do trem-tipo;
 - Impacto de veículos nos pilares = Não aplicável no caso;
 - Ação do vento – Pressão dinâmica considerada como carga horizontal no topo dos pilares a partir da respectiva área de influência. Carga de pressão dinâmica considerada = 0,70 kN/m²;
- Coeficiente de impacto:
 - CIV = 1,33 CIA = 1,25 CNF = 1,0
 - Para o cálculo de lajes no centro da OAE = 1,33;
 - Para o cálculo de lajes próximo aos apoios = 1,66;
 - Para o cálculo de seções à flexão no centro da OAE = 1,19;
 - Para o cálculo de seções à flexão próximo os apoios = 1,49;
- Força centrífuga: Não aplicável;
- Risco de penetração de cloretos: inexistente;
- Classe de agressividade admitida: II – moderada, urbana de clima seco com umidade média anual menor que 65%;
- Cobrimento mínimo das peças estruturais na armadura passiva = 3,0 cm;

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

| Dados climatológicos para Brasília | | | | | | | | | | | | | [Esconder] |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
| Temperatura máxima recorde (°C) | 32,6 | 31,4 | 32,1 | 31,6 | 30,2 | 31,6 | 30,8 | 33 | 35,8 | 36,4 | 34,5 | 33,7 | 36,4 |
| Temperatura máxima média (°C) | 26,5 | 27 | 26,7 | 26,6 | 25,9 | 25 | 25,3 | 26,9 | 28,4 | 28,2 | 26,7 | 26,3 | 26,6 |
| Temperatura média compensada (°C) | 21,6 | 21,7 | 21,6 | 21,3 | 20,2 | 19 | 19 | 20,6 | 22,2 | 22,4 | 21,5 | 21,4 | 21,4 |
| Temperatura mínima média (°C) | 18,1 | 18 | 18,1 | 17,5 | 15,6 | 13,9 | 13,7 | 15,2 | 17,2 | 18,1 | 18 | 18,1 | 16,8 |
| Temperatura mínima recorde (°C) | 12,2 | 11 | 14,5 | 10,7 | 3,2 | 3,3 | 1,6 | 5 | 9 | 10,2 | 11,4 | 13,5 | 1,6 |
| Precipitação (mm) | 209,4 | 183 | 211,8 | 133,4 | 29,7 | 4,9 | 6,3 | 24,1 | 46,6 | 159,8 | 226,6 | 241,5 | 1 477,4 |
| Dias com precipitação (≥ 1 mm) | 17 | 14 | 14 | 8 | 3 | 1 | 1 | 2 | 5 | 11 | 17 | 19 | 112 |
| Umidade relativa compensada (%) | 76,2 | 74,7 | 76,8 | 72,2 | 66,2 | 58,7 | 52,7 | 46,8 | 50,3 | 62,8 | 74,5 | 78 | 65,8 |
| Horas de sol | 150,9 | 158,9 | 166,5 | 204,6 | 239,5 | 254,3 | 268,9 | 264,4 | 210,5 | 183,1 | 139,9 | 126,8 | 2 368,3 |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (normal climatológica de 1981-2010);^[1] recordes de temperatura a partir de 21/08/1961.^{[2][3]}

Tabela 1 - Dados Climatológicos da Região do Distrito Federal

| Dados dos Materiais e Ambiente | | Resultados | |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| fck (MPa) | <input type="text" value="35"/> | k_{CO_2} (mm /ano ^{1/2}) | <input type="text" value="3,4"/> |
| Tipo de cimento | <input type="text" value="CP/II"/> | Tempo até a despassivação (anos) | <input type="text" value="138,8"/> |
| Cobrimento (cm) | <input type="text" value="4"/> | | |
| CO ₂ ambiente (%) | <input type="text" value="0,1"/> | | |

Tabela 2 - Avaliação determinística da durabilidade e tempo de despassivação das armaduras. Atendendo a NBR 15575 nível "Superior".

Para o cálculo de carbonatação foi utilizado o valor de cobrimento de 4 cm devido à protensão que as peças fletidas estarão submetidas. Assim, os pilares e cortinas terão cobrimento mínimo de 4,0 cm para atender o critério de durabilidade. Tabuleiros e longarinas poderão adotar cobrimento mínimo de 3,0 cm.

2.2 MATERIAIS ADMITIDOS

- Concreto estrutural para todos os fins:
 - C35: Fck ≥ 35 MPa, Ec ≥ 29.000 MPa;
 - Agregado considerado: Gnaisse/granito (Ae = 1,0);
- Aço estrutural para concreto armado - passivo:
 - CA50 A: (Fy = 500 MPa)

2.3 NORMAS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A elaboração do projeto de OAE obedeceu às condições gerais prescritas nas Normas Brasileiras em vigor, relacionadas a seguir, e por normas estrangeiras de confiabilidade notória quando não há similar nacional.

- NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto
- NBR-7187: Projeto Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido
- NBR-7188: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestres
- NBR-7191: Execução de Desenhos Para Obras de Concreto Simples ou Armado
- NBR-6123 – Versão corrigida 2013: Forças Devidas ao Vento em Edificações

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

- NBR-6497: Levantamento Geotécnico
- NBR-8681 – Versão corrigida 2004: Ações e Segurança nas Estruturas
- NBR-10839: Execução de Obras de arte Especiais em Concreto Armado e Concreto Protendido
- NBR-6122: Projeto e Execução de Fundações
- DIN 1073:1974-07 – Steel road bridges, design bases
- Manual de projeto de OAE – DNER: 1996

Todas as normas em suas versões mais recentes na ocasião da elaboração do projeto.

2.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A análise estrutural da OAE foi executada com o auxílio dos softwares:

- Ftool Versão 4.0 profissional – Análise estrutural;
- TQS versão 18.3 – Dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado e protendido.
- Planilhas eletrônicas elaboradas pelo Eng. Civil Fabio Poltronieri – CREA 7750 D ES.

2.5 ESBOÇO CONCEITUAL DA OAE

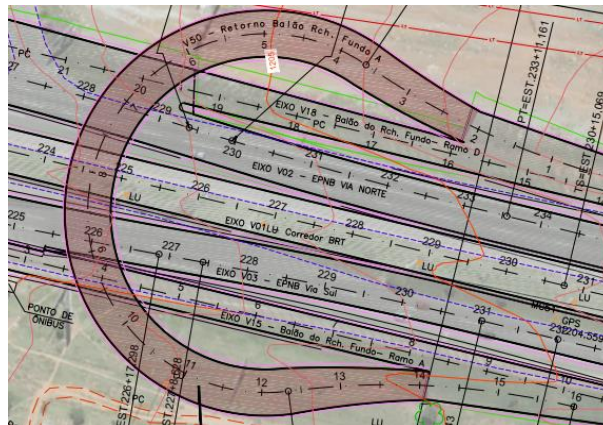


Figura 4 - Trincheira sob a EPNB - OAE 9D

Na superestrutura, o tabuleiro será composto por uma laje maciça em concreto armado, concretado em três etapas de 25 / 25 / 33 cm e com água gelada a 4º para redução da retração por secagem. Para apoiar as lajes do tabuleiro, serão executadas duas vigas de coroamento sobre as estacas dos encontros.

A OAE será projetada para receber 10 cm de pavimentação betuminosa tipo CBUQ, mais as cargas móveis previstas pela NBR 7188 – 2013. Trem tipo classe 450 kN e sobrecarga de 5 kN/m² de multidão.

Foi projetado para a área de projeção da OAE duas cortinas de estacas tipo escavadas a trado de grande diâmetro, com ou sem revestimento, nos encontros, com diâmetro de 80

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

cm. A geometria da implantação é em forma de leque com raios variáveis. A execução será feita com a laje do tabuleiro sendo concretada antes da remoção do solo inferior. Após a consolidação do tabuleiro e vigas do coroamento, será feito o avanço inferior com escavação invertida.

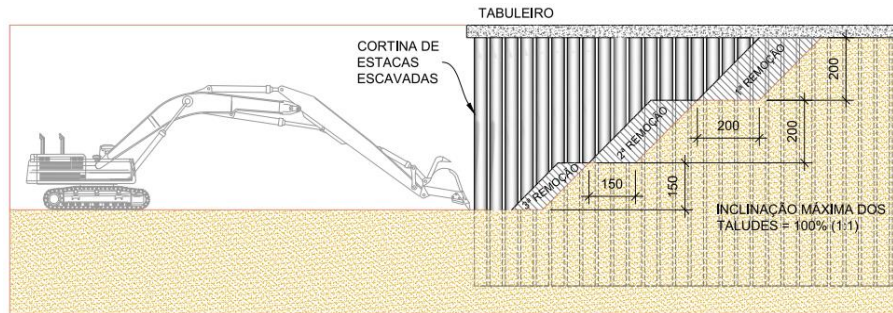


Figura 5 - Esquema de escavação invertida sob tabuleiro moldado in loco sobre solo

Volume 1- 1.2 Relatórios
1-2-5 Relatório Projeto de OAE

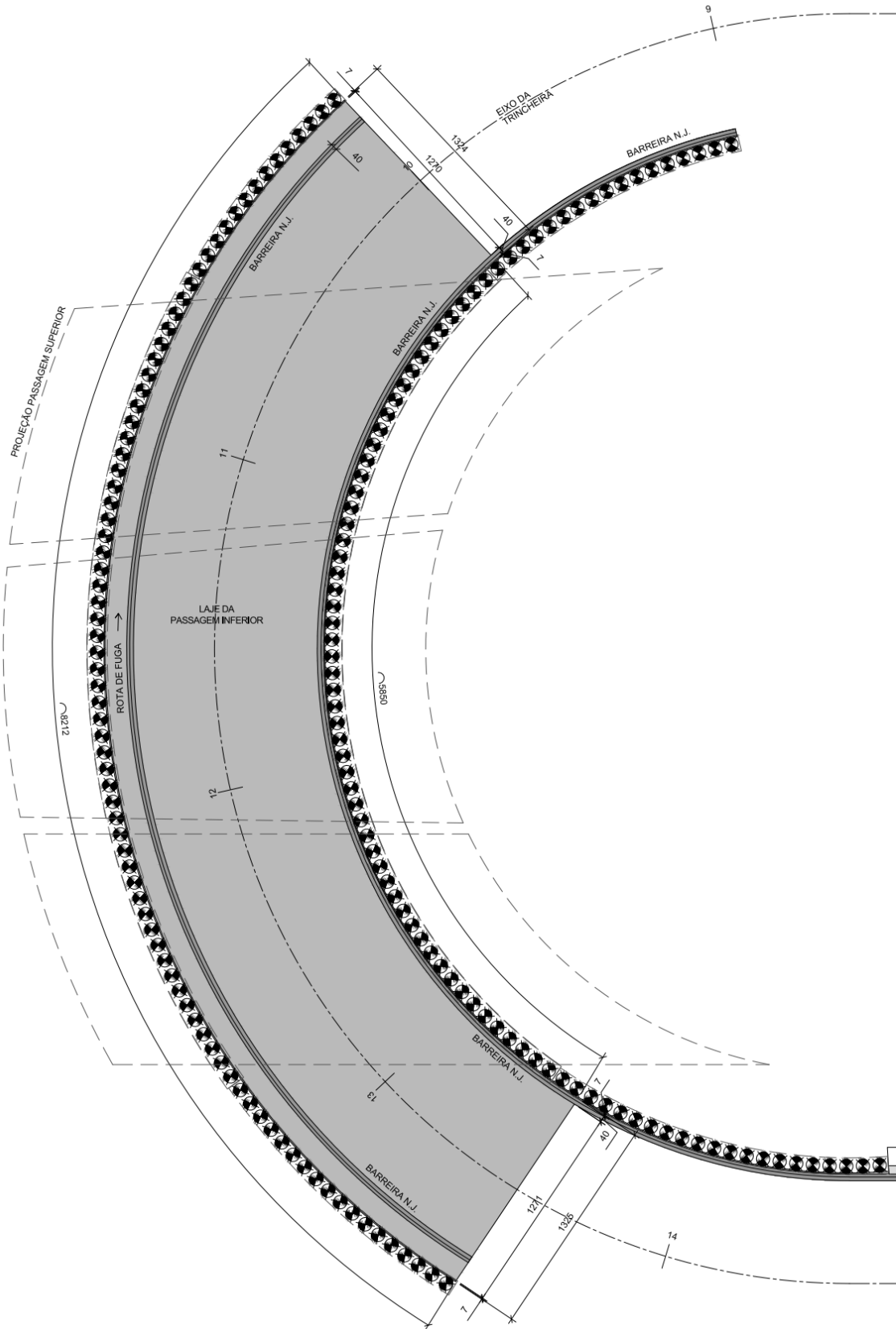


Figura 6 - Planta baixa da passagem inferior

JFM

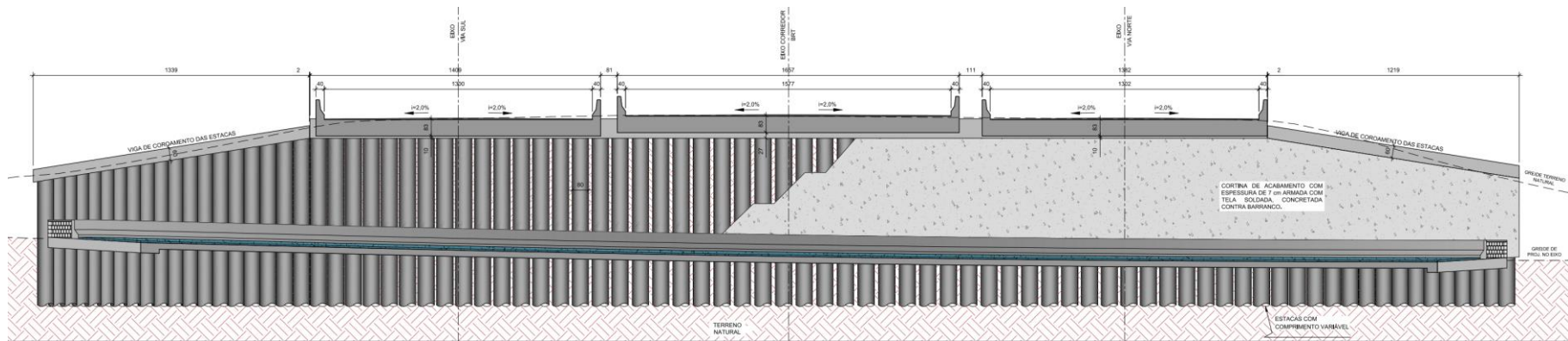


Figura 7 - Seção longitudinal pelo eixo do alinhamento inferior

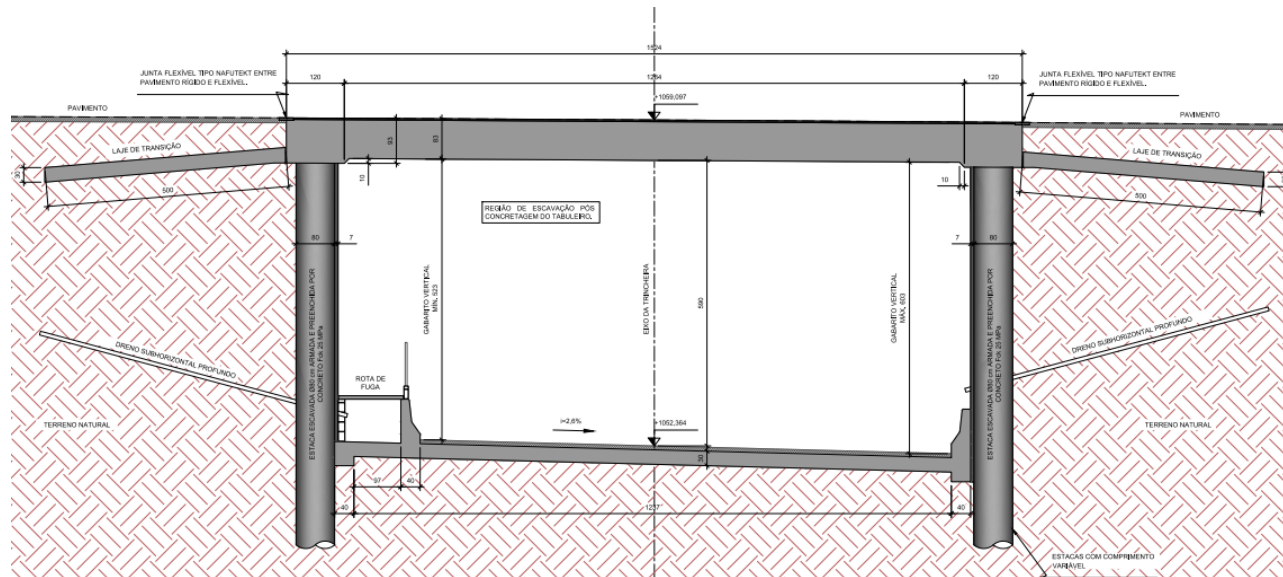


Figura 8 - Seção transversal da OAE 9D

JFM

2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL

2.6.1 Cargas permanentes

Peso próprio:

- Peso próprio da seção de tabuleiro por metro linear = 20,75 kN/m²;
- Peso próprio de barreiras tipo new Jersey = 6,3 kN/m;
- Peso próprio de revestimento = 2,2 kN/m²;

2.6.2 Sobrecargas

Sobrecarga de multidão: 5,0 kN/m²

Trem tipo: Classe 450 kN conforme NBR 7188/2013.

2.6.3 Vento

Desprezado devido à obra ser totalmente enterrada.

2.6.4 Empuxo de terras

| | | |
|---|--------|-------------------|
| Método de entrada da inclinação do terraplino (β) = | ângulo | |
| Inclinação do terraplino (β) = | 0 | graus |
| Ângulo de atrito interno (φ) = | 26 | graus |
| Coesão do solo (c) = | 10 | kPa |
| Peso específico do solo (γ) = | 16 | kN/m ³ |
| Altura do muro (H) = | 7 | m |

| | | |
|---|---------------|---------------|
| Ka - Coeficiente de empuxo ativo - Mazindrani (1997) = | 0,2789 | (em H) |
| Kp - Coeficiente de empuxo passivo - Mazindrani (1997) = | 2,8468 | (em H) |

| | | |
|--|--------------|-----------|
| Empuxo ativo (P_a) = | 78,1 | kN |
| Posição do empuxo (γ) = | 1,667 | m |

2.6.5 Verificação da seção integrada tabuleiro x contenção

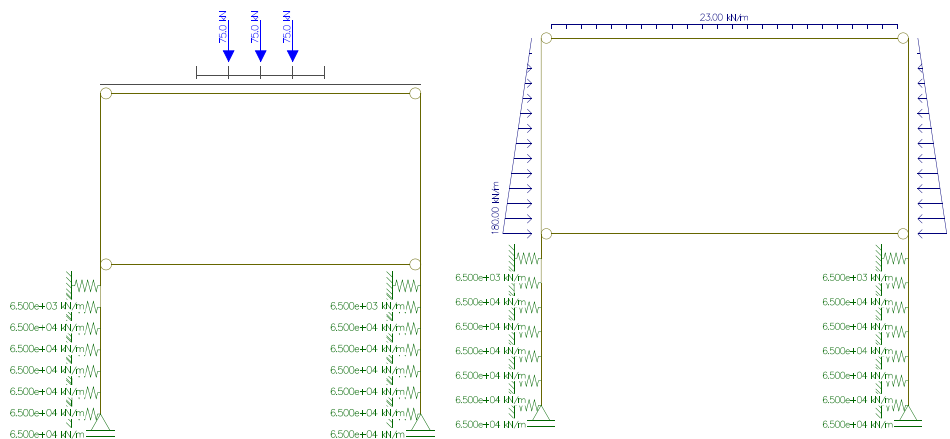


Figura 9 - Esquema estrutural – Carregamento do trem tipo e Cargas permanentes

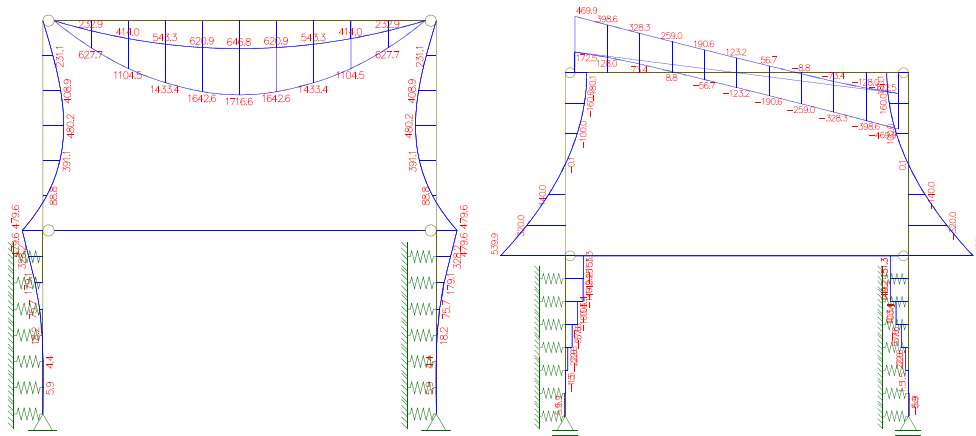


Figura 10 - Envoltória de Momentos e cortantes

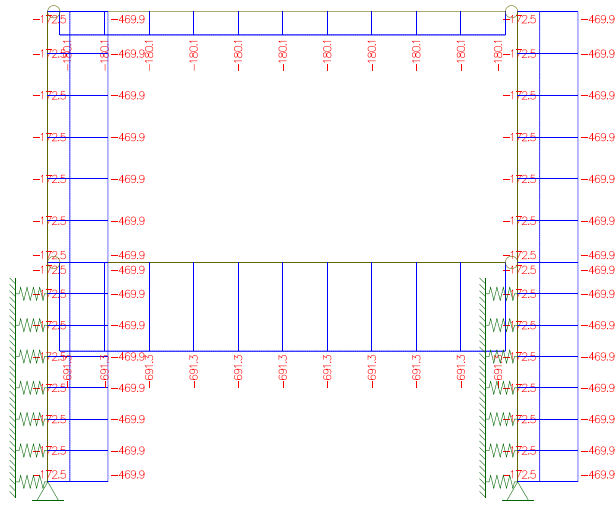


Figura 11 - Envoltória de esforços normais

Os coeficientes de mola laterais do solo corresponde à resposta para deformação unitária considerando a área de contato de 80 cm das estacas, para 1 metro de contribuição de empuxo.

Apesar de a laje do tabuleiro ter sido admitida como rotuladas nos apoios e a responsabilidade estrutural à flexão estar delegada à armadura positiva, deverá ser usada armação negativa mínima nos apoios conforme NBR 6118.

2.6.5.1 Pré Dimensionamento da laje do tabuleiro

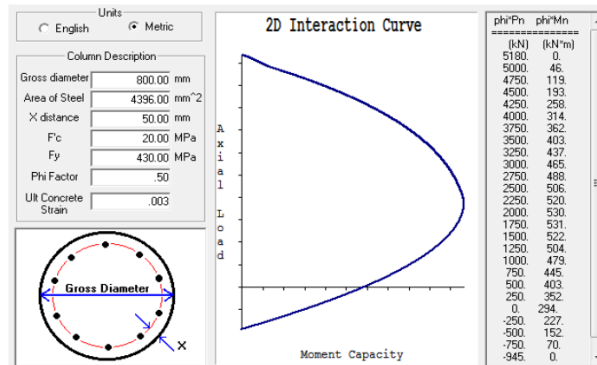
| | | | | | |
|---------|----------|--------|--------|----------|--------|
| bw | 100 | cm | Ec | 309037 | kg/cm2 |
| h | 83 | cm | fcd | 269 | kg/cm2 |
| Mk | 17160000 | kg.cm | fyd | 4348 | kg/cm2 |
| fck | 350 | kg/cm2 | Md | 23166000 | kg.cm |
| fyk | 5000 | kg/cm2 | kxlim | 0,50 | |
| cobrim. | 4 | cm | kzlim | 0,80 | |
| d" | 0 | cm | kmdlím | 0,272 | |
| gama c | 1,3 | | kmd | 0,1379 | |
| gama s | 1,15 | | kx | 0,223 | |
| gama f | 1,35 | | kz | 0,91 | |
| Es | 2100000 | kg/cm2 | Vd | 2857,95 | kg |
| Vk | 2117 | kg | d | 79 | cm |
| | | | X | 49,64 | cm |
| | | | x/d | 0,45 | |

Verificação 01 - Armadura simples ou dupla

Armadura simples

Área de aço de armadura simples $As = 74,04 \text{ cm}^2$

2.6.5.2 Pré dimensionamento das estacas da contenção



Foi considerada uma estaca de 80 cm de diâmetro e com afastamento entre eixos de 100 cm. A armação longitudinal considerada para suportar a flexo compressão é de 44 cm^2 , onde foi adotada a armação no trecho superior do elemento, de $12 \times 25 \text{ mm}$. A combinação resistente de menor módulo é a de:

$$N_r = 1750 \text{ kN}$$

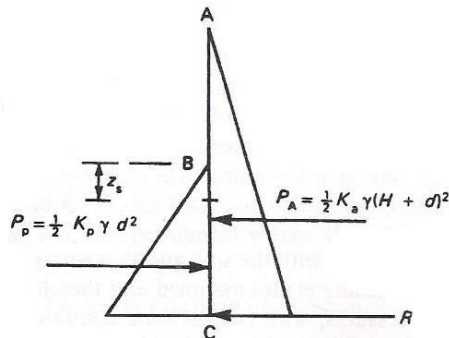
$$M_r = 531 \text{ kN.m}$$

$$N_d = 172,5 \text{ kN}$$

$$M_d = 480,2 \text{ kN.m}$$

Dimensionamento ok !

2.6.5.3 Cálculo do embutimento das estacas da contenção



Altura de escavação = 7m

Angulo de atrito do solo adotado = 26 graus

Peso específico do solo = 16 kN/m³

Fator de segurança para o embutimento = 1,5

Coefficiente de empuxo passivo Kp (Rankine) = 2,46

Coefficiente de empuxo ativo Ka (Rankine) = 0,406

Embutimento calculado = $7 / (2,46)^{2/3} - 1 = 12,75$ m

Altura total = 7,0 + 12,75 = 19,75 metros. Adotado 20 metros de escavação total para as estacas.

2.6.5.4 Pavimento sob a OAE

O pavimento de concreto sob a OAE deverá seguir as especificações do projeto de pavimentação para circulação do BRT. A laje em questão está estendida entre as cortinas dos encontros e dá segurança adicional por estroncamento da base das estacas, evitando processos erosivos nessas regiões. As barreiras de concreto instaladas imediatamente abaixo da cortina projetada sobre as estacas no lado interno da OAE protege os veículos de impactos diretamente contra as paredes, forçando o retorno ao leito carroçável.