DER PARANÁ	Código: MC-BR0000277-344-0.350-2-6C4-C04-101	REV. 00
	Emissão: 07/07/2015	Folha: 1/55

ecoCATARATAS ecoRODOVIAS

Resp. Técnico/Projetista:
Marcelo Montans Zamarian - CREA PR 60.055/D
Luiz Fernando Cirino Zocco – CREA PR 48.415/D

Resp. Técnico/Concessionária:

Lote:	Rodovia:	DE - DER:
03	BR-277/PR	

Trecho: GUARAPUAVA - km 344+000 a 350+200

Verificado - DER/PR:

Objeto: **Volume 3B.3 - Memorial de Cálculo da trincheira 02**

Aprovado - DER/PR:

Documentos de Referência:

Documentos Resultantes:

ZOCCO PROJETOS ESTRUTURAIS

00	07/07/2015	Luiz Fernando Cirino Zocco				
Rev.	Data	Resp. Téc/Proj.	Resp. Téc/Conces.	DE - DER	Verificado - DER/PR	Aprovado - DER/PR

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER

PROJETO EXECUTIVO PARA IMPLANTAÇÃO DA DUPLICAÇÃO DA BR-277 DO KM 344+000 AO KM 350+200 – TRECHO DE GUARAPUAVA

RODOVIA:	BR-277/PR
TRECHO:	km 344 (Guarapuava) ao km 731 (Foz do Iguaçu)
SUBTRECHO:	km 344+000m ao km 350+200m (Trecho Guarapuava)
EXTENSÃO:	6,20 km
LOTE:	03

VOLUME 3B.3

MEMORIAL DE CÁLCULO DA TRINCHEIRA 02

JULHO/2015

ÍNDICE

1. MAPA DE SITUAÇÃO 7
2. MEMORIAL DE CÁLCULO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS 9
2.1 Introdução 10
2.2 Descrição da Estrutura 10
2.2.1 Bibliografia 11
2.2.2 Objetivo 11
2.2.3 Método Construtivo 11
2.2.4 Materiais 11
2.2.5 Modelo Estrutural 12
2.2.6 Geometria da Estrutura 12
2.2.7 Geometria dos Elementos 13
2.3 Carregamentos Considerados 14
2.3.1 Cargas Permanentes 14
2.3.2 Cargas Acidentais 15
2.3.3 Cargas Horizontais 16
2.4 Combinações 17
2.5 Análise Estrutural 19
2.5.1 Análises da Estrutura 19
2.5.2 Esforços Permanentes 20
2.5.3 Esforços Acidentais 24
2.6 Esforços Concomitantes 28
2.6.1 Esforços de Momento Fletor 28
2.7 Dimensionamento das Lajes 38
2.7.1 Dimensionamento da Laje Superior 38
2.7.2 Dimensionamento das Paredes 40
2.7.3 Dimensionamento da Laje Inferior 43
2.7.4 Dimensionamento das Alas Laterais 45
2.7.5 Verificação dos deslocamentos 47
2.8 Dimensionamento da Fundação 48
2.8.1 Locação dos pontos de sondagem 48
2.8.2 Ensaio – SPT 04 49
2.8.3 Ensaio – SPT 05 50

2.8.4 Ensaio – SPT 06 51
2.8.5 Ensaio – SPT 07 52
2.8.6 Estudo dos coeficientes de mola 53
2.8.7 Verificação das tensões admissíveis do solo 54
2.9 Dimensionamento da Placa de Transição 55

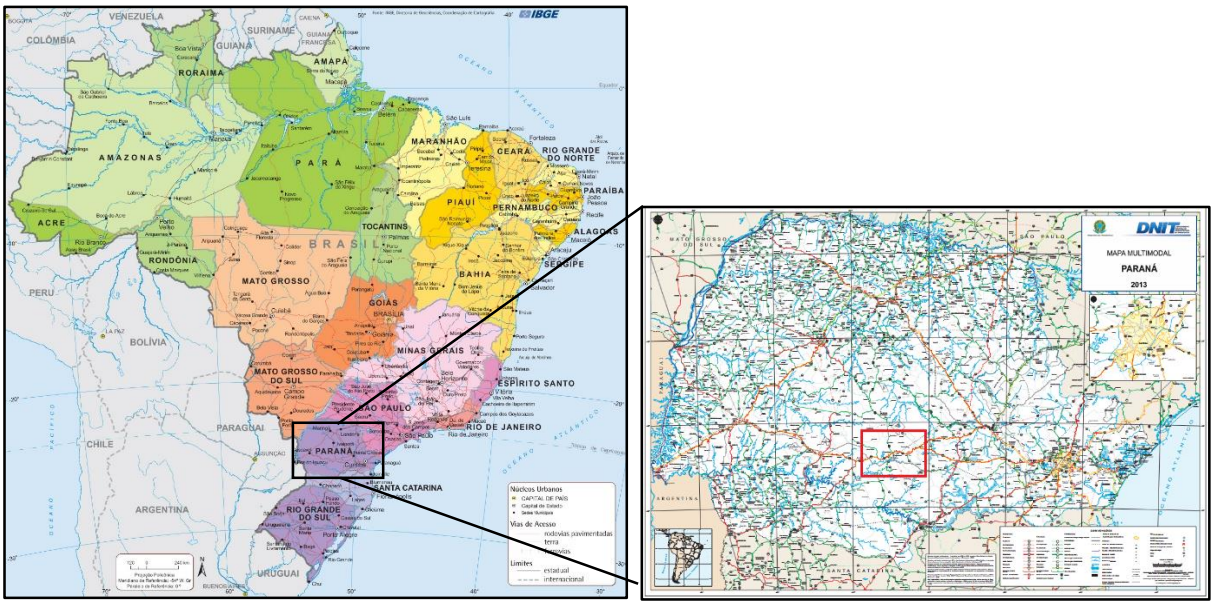
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de Localização da Obra 8
Figura 2 – Foto Aérea do Local – Fonte: Google Maps 8
Figura 3 - Imagem renderizada da trincheira 10
Figura 4 – Implantação da trincheira 12
Figura 5 – Vista superior da estrutura 13
Figura 6 – Seção transversal da trincheira 14
Figura 7 – Seção longitudinal da trincheira 14
Figura 8 – Modelo analítico 20
Figura 9 – Peso próprio da estrutura 21
Figura 10 – Revestimento devido inclinação da laje 21
Figura 11 – Carregamento de Recapa da superfície 22
Figura 12 – Barreira New Jersey 22
Figura 13 – Camada asfáltica de 7 cm 23
Figura 14 – Empuxo do solo 23
Figura 15 – Trem tipo 1 24
Figura 16 – Trem tipo 1 no meio do vão 24
Figura 17 – Trem tipo 2 25
Figura 18 – Trem tipo 2 no meio do vão 25
Figura 19 – Trem tipo 3 26
Figura 20 – Trem tipo 3 no meio do vão 26
Figura 21 – Trem tipo 4 27
Figura 22 – Trem tipo 4 no meio do vão 27
Figura 27 – Multidão 28
Figura 28 – Laje superior momento máximo direção x 29
Figura 29 – Laje superior momento máximo direção y 30
Figura 30 – Laje superior momento mínimo direção x 31
Figura 31 – Laje superior momento mínimo direção y 32
Figura 32 – Parede lateral momento na direção x 33
Figura 33 – Parede lateral momento na direção y 33
Figura 34 – Laje inferior momento na direção x 34
Figura 35 – Laje inferior momento na direção y 35
Figura 36 – Alas laterais momento na direção x 36

Figura 37 – Alas laterais momento na direção y 37
Figura 38 – Verificação do deslocamento da laje superior.....47
Figura 39 – Verificação do deslocamento da base das alas 47
Figura 40 – locação dos pontos de sondagem.....48

1. MAPA DE SITUAÇÃO

1. Mapa de Situação



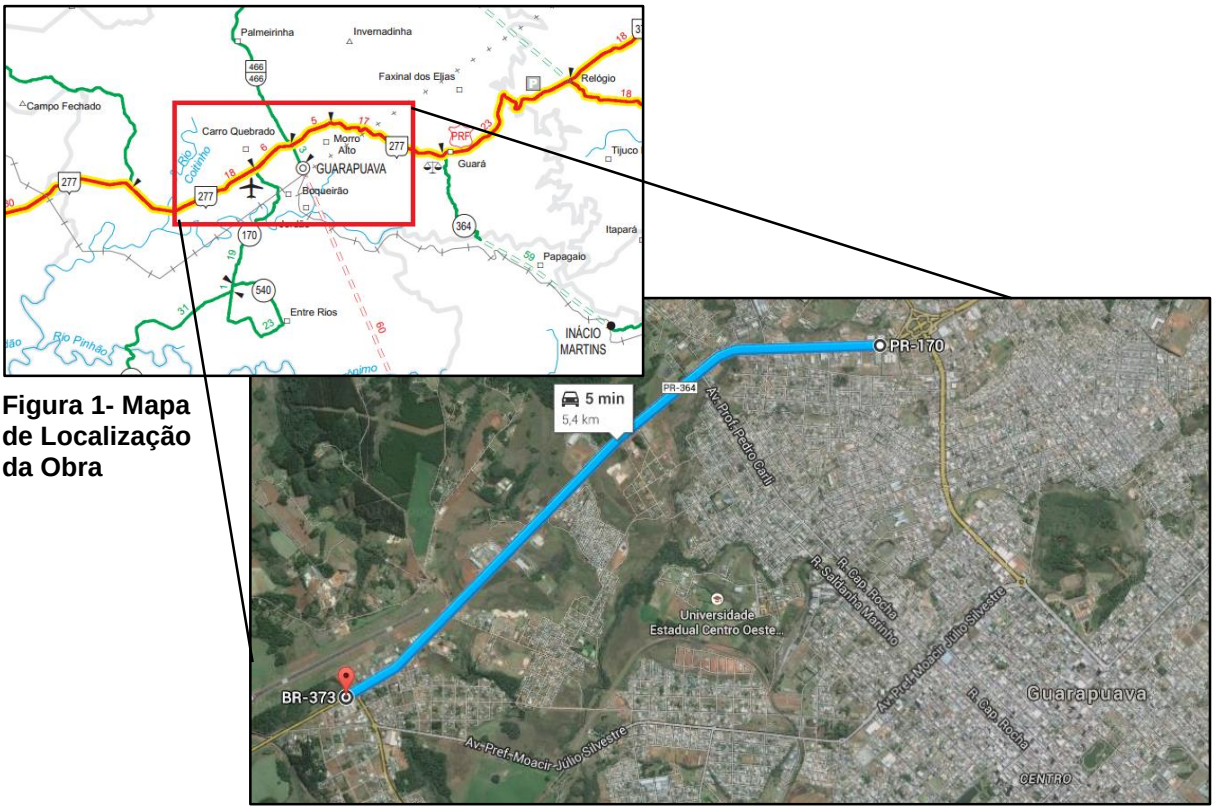


Figura 1- Mapa de Localização da Obra

Figura 2 – Foto Aérea do Local – Fonte: Google Maps

Rodovia: BR-277/PR **Trecho:** km 344 (Guarapuava) ao km 731 (Foz do Iguaçu) **Subtrecho:** km 344+000 m ao km 352+000 m **Segmento:** km 344+000 m ao km 350+200 m **Extensão**: 6,20 km	**MAPA DE SITUAÇÃO**

2. MEMORIAL DE CÁLCULO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

2. Memorial de cálculo de obras de arte especiais

2.1 Introdução

2.2 Descrição da Estrutura

Trata-se do projeto de uma trincheira a ser construída na cidade de Guarapuava localizada no estado do Paraná, para facilitar o tráfego de veículos sobre a BR-277 já existente. O Sistema de trincheira é projetado com lajes maciças em todo seu contorno. Possui vãos livres que vão de 16,45 metros e comprimento de 22,82 metros.

A fundação será feita apoiada sobre o solo respeitando as tensões limites impostos para o solo.

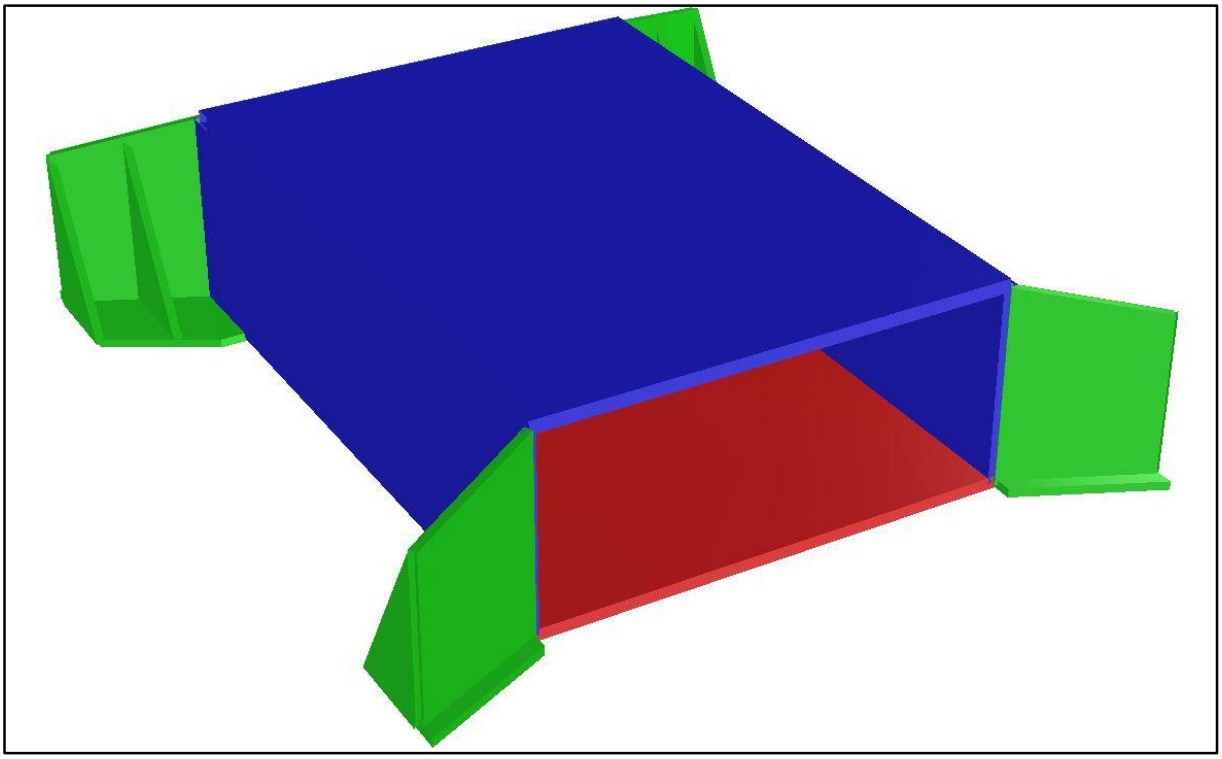


Figura 3 - Imagem renderizada da trincheira

2.2.1 Bibliografia

Foram obedecidas as normas técnicas da ABNT em vigor:

NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto – Procedimento;
NBR 6122 – Projeto e execução de Fundações;
NBR 6123 – Forças devido ao vento nas edificações;
NBR 7187 – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido;
NBR 7188 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
NBR 7189 – Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias;
NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;

2.2.2 Objetivo

Este memorial tem como objetivo apresentar os resultados técnicos obtidos durante o dimensionamento da trincheira em concreto descrito neste memorial, e as considerações feitas em tais dimensionamentos.

2.2.3 Método Construtivo

O projeto do presente viaduto foi desenvolvido considerando o seu método construtivo. Primeiramente executa-se o preparo da base a receber a estrutura da trincheira, onde o solo deve atender a uma tensão de 100 kPa, solo compactado a 100% do ensaio proctor normal, CBR 10%, e um preparo de 30 cm da sub-base com brita graduada. Após esta etapa executa-se a estrutura da trincheira que consiste em um sistema moldado em loco composto por paredes e alas de concreto, onde este sistema é todo moldado “in loco” garantido uma estrutura monolítica de alta rigidez.

2.2.4 Materiais

Concreto estrutural $\geq 30\ MPa$
Fator água/cimento $\leq 0{,}60$
Aço CA-50: $f_{yk} \geq 500\ MPa$
Classe de agressividade – IV

Cobrimento da armadura – 4,5 cm

Limite de Fissuração $Wk_{lim} = 0{,}2mm$

2.2.5 Modelo Estrutural

O processamento e modelagem da estrutura foram elaborados com software STRAP 2010, fazendo uso de métodos em analise em elementos finitos.

2.2.6 Geometria da Estrutura

Seguem desenhos mostrando a geometria da trincheira.

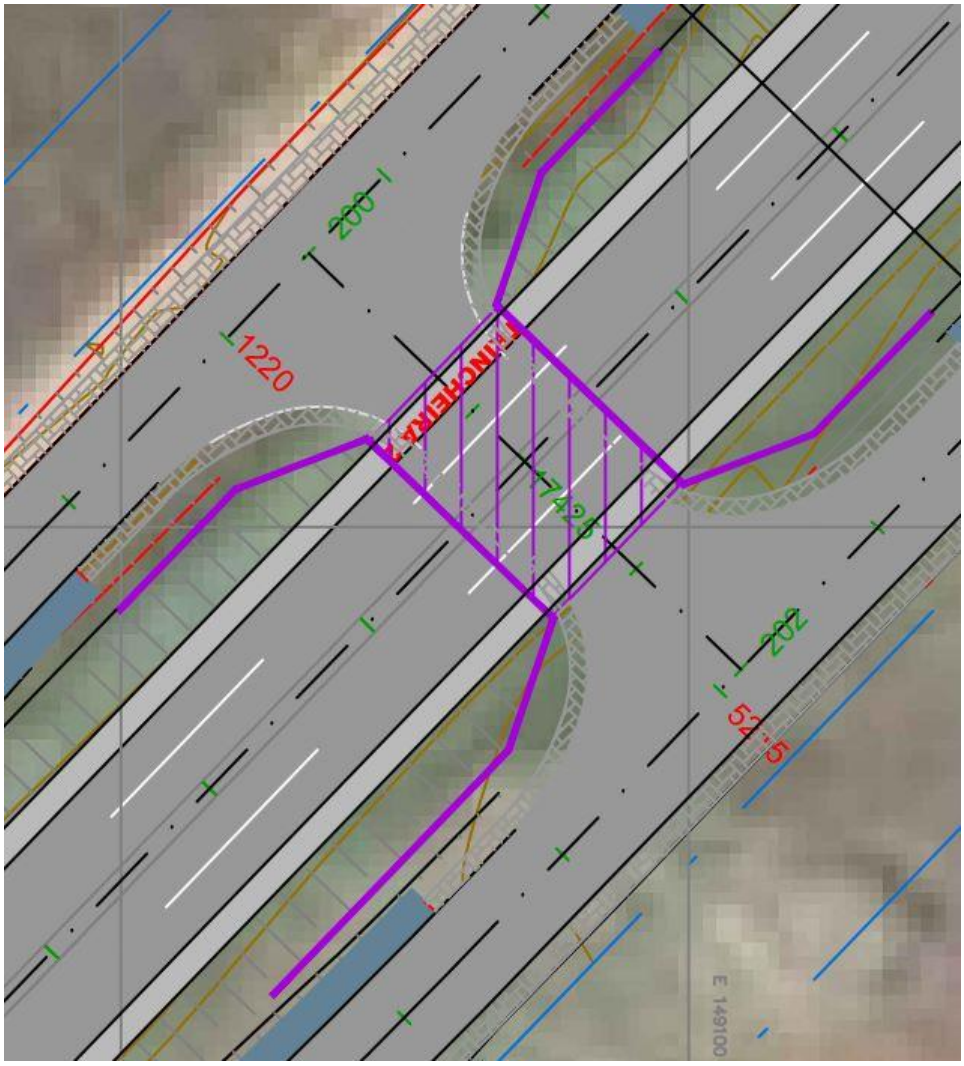


Figura 4 – Implantação da trincheira

2.2.7 Geometria dos Elementos

Seguem desenhos mostrando a geometria dos elementos que compõem a estrutura:

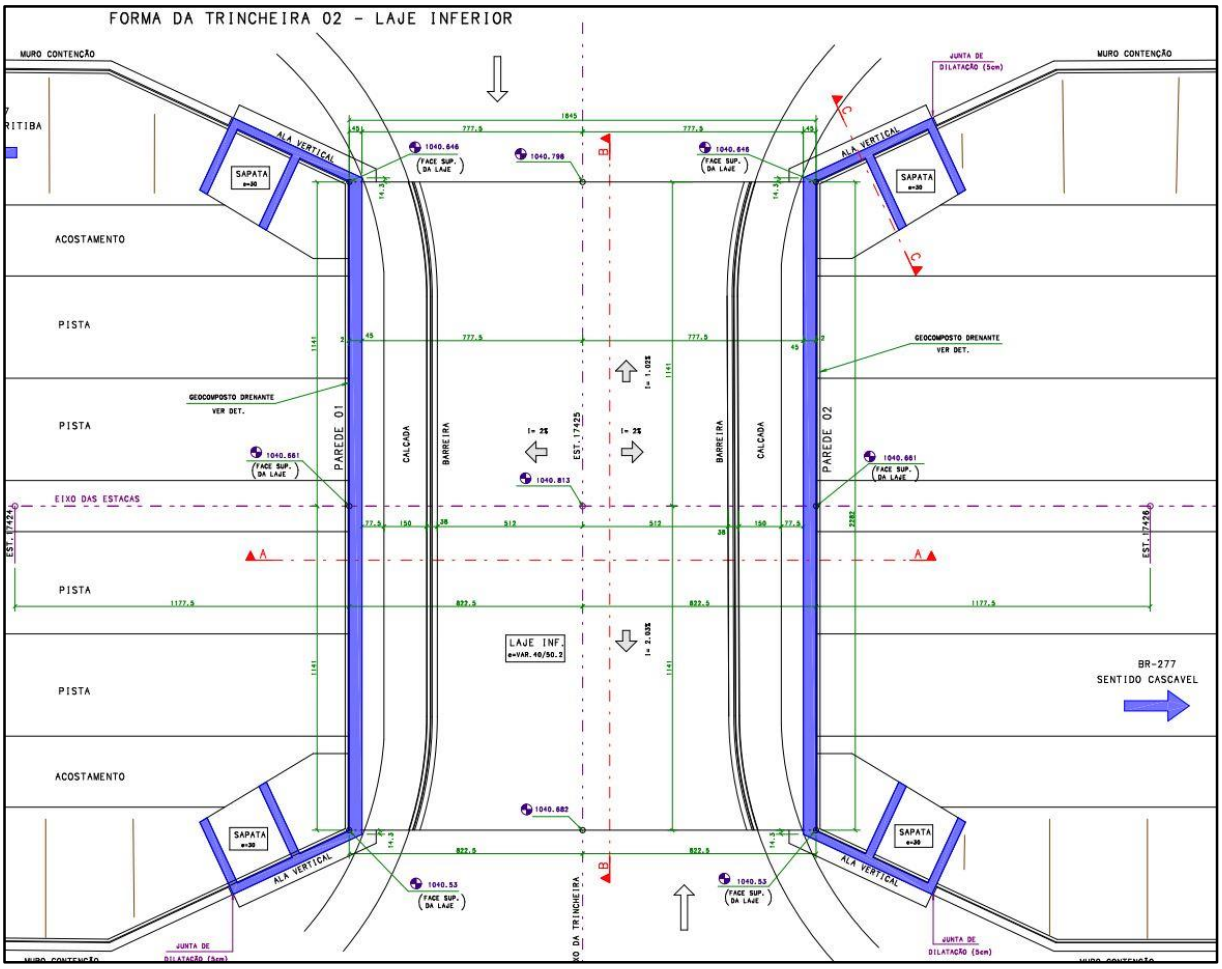


Figura 5 – Vista superior da estrutura

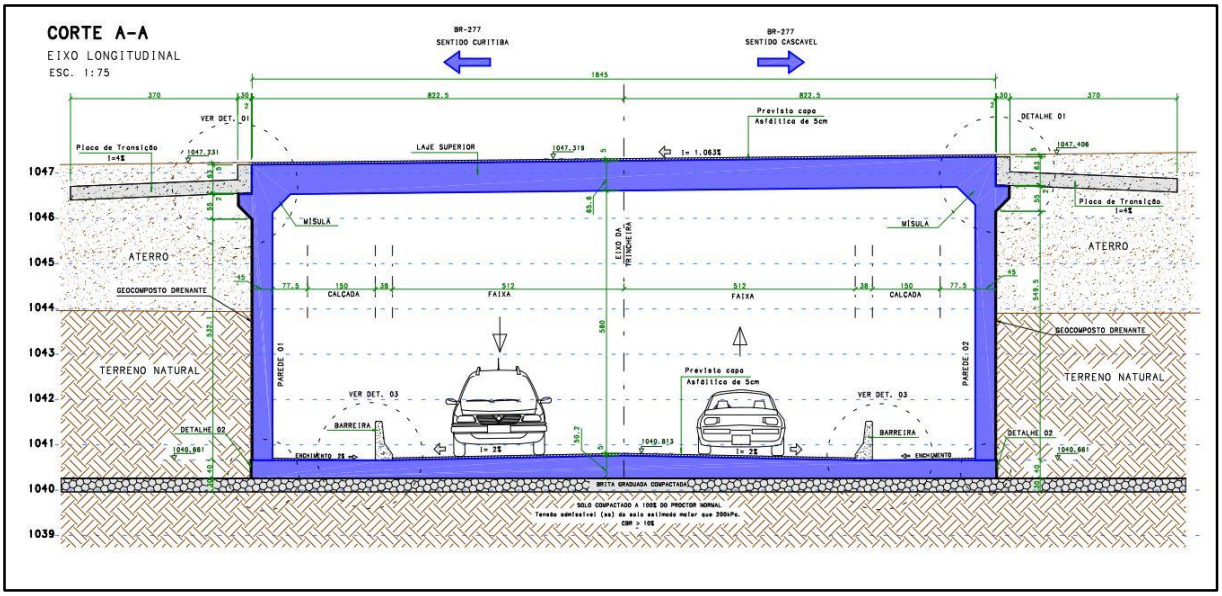


Figura 6 – Seção transversal da trincheira

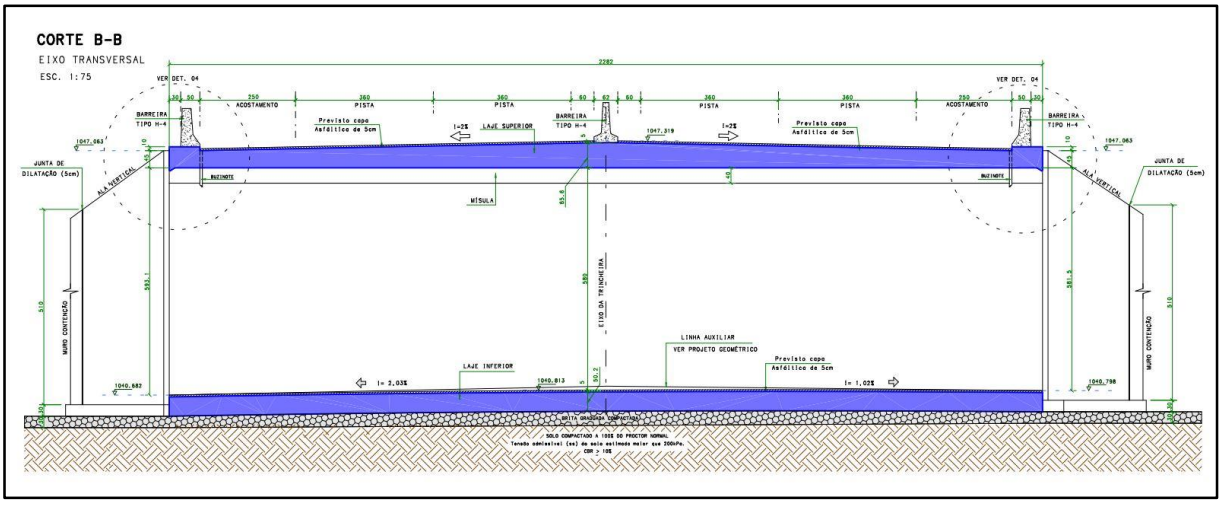


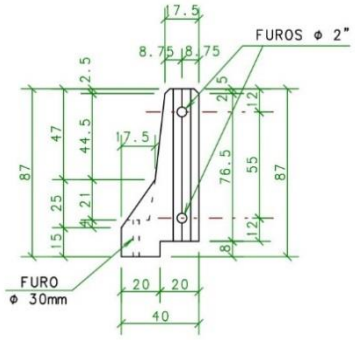
Figura 7 – Seção longitudinal da trincheira

2.3 Carregamentos Considerados

2.3.1 Cargas Permanentes

Segundo a norma NBR 6120/1980 – Cargas para o cálculo das estruturas de edificações, esse carregamento é constituído pelo peso de todo os elementos construtivos fixos e instalações permanentes junto com o peso próprio dos elementos que compõem a estrutura.

O peso próprio da estrutura é considerado pelo próprio programa de análise estrutural utilizado, adotando-se peso específico do concreto $2{,}50tf/m^3$. Além disso, foi adicionada a carga oriunda das barreiras New Jersey e das barreiras metálicas na faixa de circulação de pedestres.



Para esta foi considerado as New Jersey como tendo dimensões transversais $40cmx60cm$, que multiplicando pelo γ do concreto ($\gamma_c = 2{,}5\ tf/m^3$). $0{,}4x0{,}6x2{,}5 = 0{,}6tf/m$ distribuído ao longo do tabuleiro onde serão acoplados.

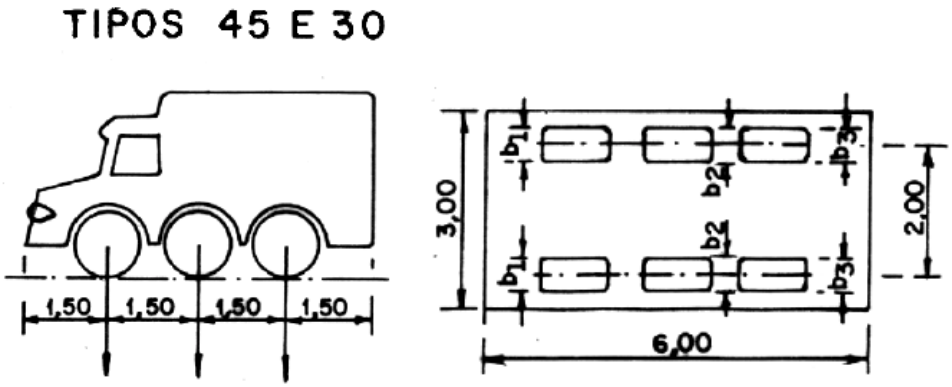
Para esta obra está prevista acabamento com camada asfáltica com espessura de $7cm$, gerando uma carga de $0{,}07x2{,}4\ tf/m^3\ =\ 0{,}17\ tf/m^2$.

Também foi prevista uma carga de $0{,}2\ tf/m^2$ para atender a um eventual recapeamento.

2.3.2 Cargas Acidentais

De acordo com a norma NBR 6120/1980, carga acidental é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura em função de seu uso.

Neste presente caso foi utilizada a norma NBR7188/1982 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. E, tratando-se de uma obra em que ocorrerá trafego pesado sobre a mesma (circulação de caminhões), foi adotado o TREM-TIPO CLASSE 45, no qual a base do sistema é um veículo-tipo de 45 toneladas peso total.



Neste caso, foi considerada uma carga de 7,5 toneladas provinda de cada roda, sendo $7{,}5x\ 6 = 45ton$, e um carregamento de $0{,}5\ ton/m^2$ por toda a pista de rolamento.

De acordo com o item 7.2.1.2 da NBR-7187/1987, o efeito dinâmico das cargas móveis deve ser analisado pela teoria da *Dinâmica das Estruturas*. É permitido, no entanto, considerar as cargas móveis às cargas estáticas através da multiplicação pelo coeficiente de impacto definido como:

$$\varphi = 1{,}4 - 0{,}007 \cdot l > 1{,}0$$

Para o valor de "l" no vão central do tabuleiro admitiu-se o comprimento igual a $15{,}35m$, resultando assim em φ:

$$\varphi = 1{,}4 - 0{,}007 \cdot 16{,}45 = 1{,}29$$

2.3.3 Cargas Horizontais

2.3.3.1 Fretagem e aceleração

Segundo a norma NBR 7187/1987, "Nas pontes rodoviárias, a força longitudinal devida a frenação ou à aceleração dos veículos deve ser considerada [...]". De acordo com o item 7.2.1.5 o valor da força horizontal corresponde a 30% do peso do trem-tipo ou 5% da carga da multidão P' presente em todo o leito carroçável. Em ambas as considerações não se deve majorar o carregamento com o coeficiente de impacto.

No primeiro caso tem-se 30% do peso do veículo tipo:

$$0{,}30 \cdot TT = 0{,}30 \cdot 45tf = 13{,}5tf$$

Já na segunda consideração, temos 5% da carga P':

$$0{,}05 \cdot P' = 0{,}05 \left[\frac{0{,}5tf}{m^2} \cdot (16{,}45m \cdot 22{,}82m)\right] = 9{,}38tf$$

Considerando a área da faixa de rolamento igual a $16{,}45m\ x\ 22{,}82m$.

Desse modo a carga devido a frenagem e aceleração considerada foi a de 30% do peso do trem tipo igual a $13{,}5tf$ e, portanto, $13{,}5\ tf/(16{,}45 \cdot 22{,}82\ m^2) = 0{,}036\ tf/m^2$ disposta por todo o leito carroçável.

2.3.3.2 Variação de temperatura

De acordo com o item 7.1.9.1. da NBR 7187/1987 deve ser considerada uma variação uniforme de temperatura de $15°C$.

Variação de temperatura a considerada:

$$\Delta_t = -15°C$$

2.3.3.3 Empuxo

Foi considerado um solo com as seguintes características:

$\gamma_{solo} = 1{,}80 ton/m^3$
$\phi_{solo} = 30° \longrightarrow K_{adotado} = 0{,}49$

2.4 Combinações

As combinações foram feitas no próprio *software* STRAP 2010, que se encarrega de verificar as piores situações e fornece como resultado uma envoltória desses carregamentos.

COD.	CARREGAMENTO	COMBINAÇÕES						
		1 (ELS)	2 (ELS)	3 (ELS)	4 (ELU)	5 (ELU)	6 (ELS)	7 (ELS)
500	*protensão*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	*peso-próprio*	1,00	1,00	1,00	1,35	1,35	1,00	1,00
200	*pavimento+guarda-roda*	1,00	1,00	1,00	1,35	1,35	1,00	1,00
600	*creep/shrinkage of substructure*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
700	*creep/shrinkage of whole structure*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traffic	*tráfego*	0,80	0,40	0,40	1,50	0,75		1,00
Brake	*frenagem*	0,40	0,80	0,40	0,75	1,50		1,00
Temp	*temperatura*	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00
Empuxo	*empuxo*	1,00	1,00	1,00	1,40	1,40	1,00	1,00

As combinações representadas com a sigla ELS (Estado Limite de Serviço), foram usadas para verificação das deformações, enquanto que, as combinações com a sigla ELU (Estado Limite Último) foram usadas no dimensionamento das peças estruturais.

As combinações foram feitas no próprio *software* RM Bridge, para determinar as combinações foi usada a NBR 8681/2003, Item 5.1.3.1 Combinações últimas especiais ou de construção.

$$F_d = \sum_{i=1}^{m} \gamma_{gi}\, F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1k} + \sum_{j=2}^{n} \psi_{0\ j}\, F_{Qj,k} \right]$$

Onde:

$F_{Gi,k}$: Valor característico das ações permanentes.

F_{Q1k}: Valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação.

γ_{gi}: Coeficiente de ponderação para ações permanentes.

γ_q: Coeficiente de ponderação para ações variáveis principais.

$\psi_{0\ j}$: Fator de combinação de ações variáveis.

F_d: Valor de cálculo da ação.

2.5 Análise Estrutural

A análise estrutural foi desenvolvida mediante o uso do *software* STRAP 2010 devido a sua capacidade de modelar estruturas em três dimensões. Esta ferramenta é capaz de analisar estruturas das mais variadas formas e graus de complexidade, simulando os carregamentos e seus respectivos efeitos.

Sua análise estrutural abrange os conceitos e procedimentos matemáticos, o que permite determinar deformações, deslocamentos e os esforços internos solicitantes para o auxílio do dimensionamento das peças que compõe a estrutura e seu detalhamento.

2.5.1 Análises da Estrutura

Foi montado um modelo solidarizado em toda estrutura composta por placas de lajes, onde as lajes superiores possuem espessura de $45\ cm$, lajes laterais com $45\ cm$, laje inferior com $40\ cm$ e alas com espessura de $25\ cm$. Todo este sistema apresenta uma alta rigidez e baixa deformação.

2.5.2 Esforços Permanentes

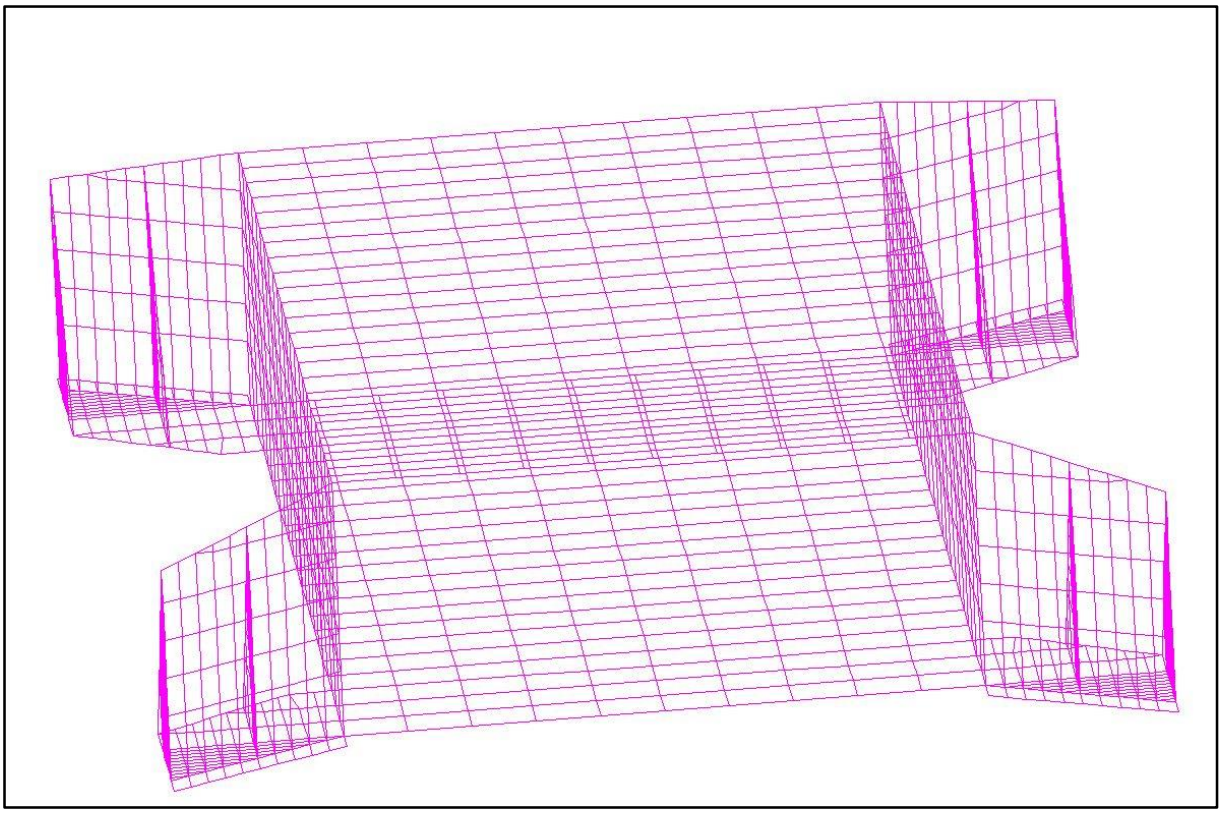


Figura 8 – Modelo analítico

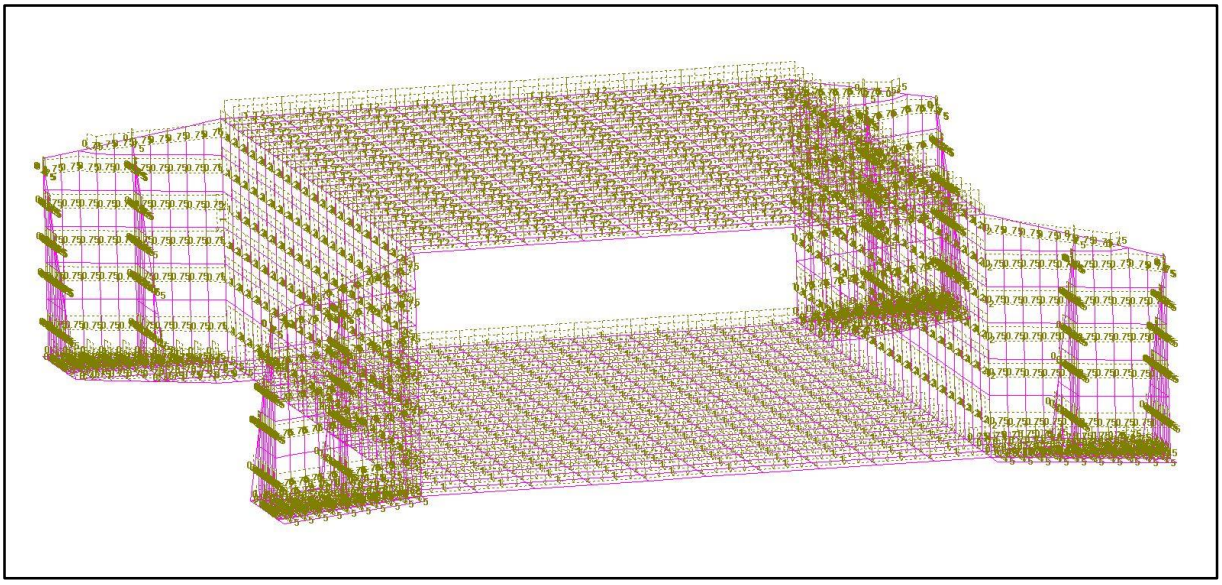


Figura 9 – Peso próprio da estrutura

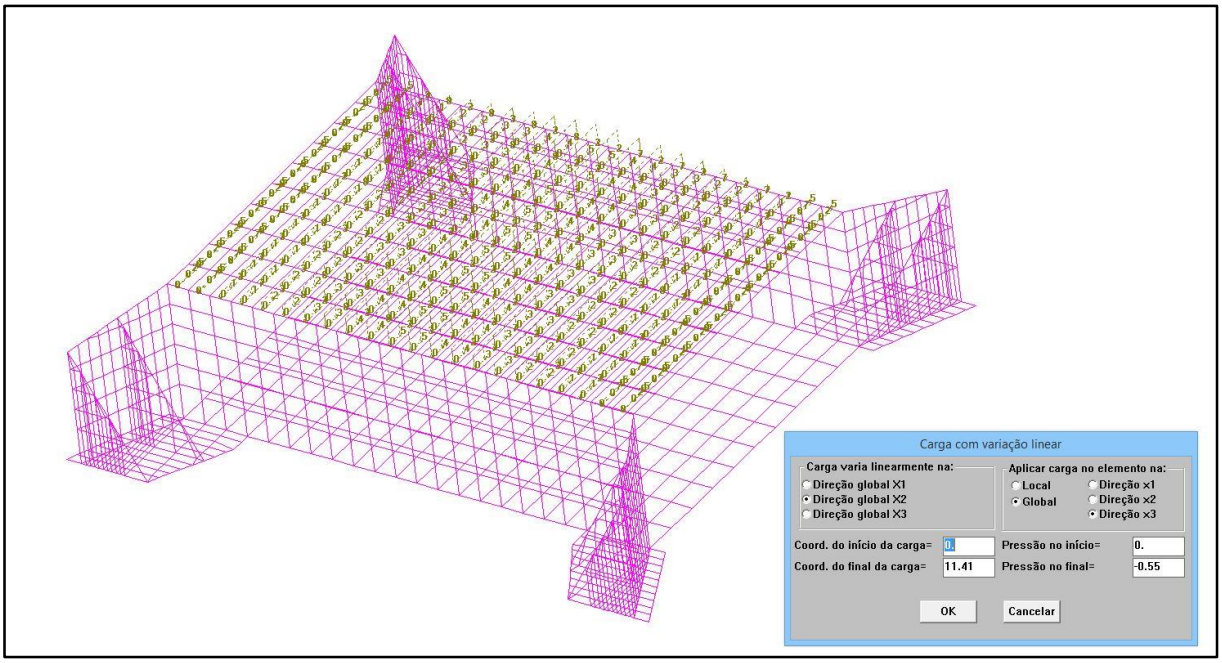


Figura 10 – Revestimento devido inclinação da laje

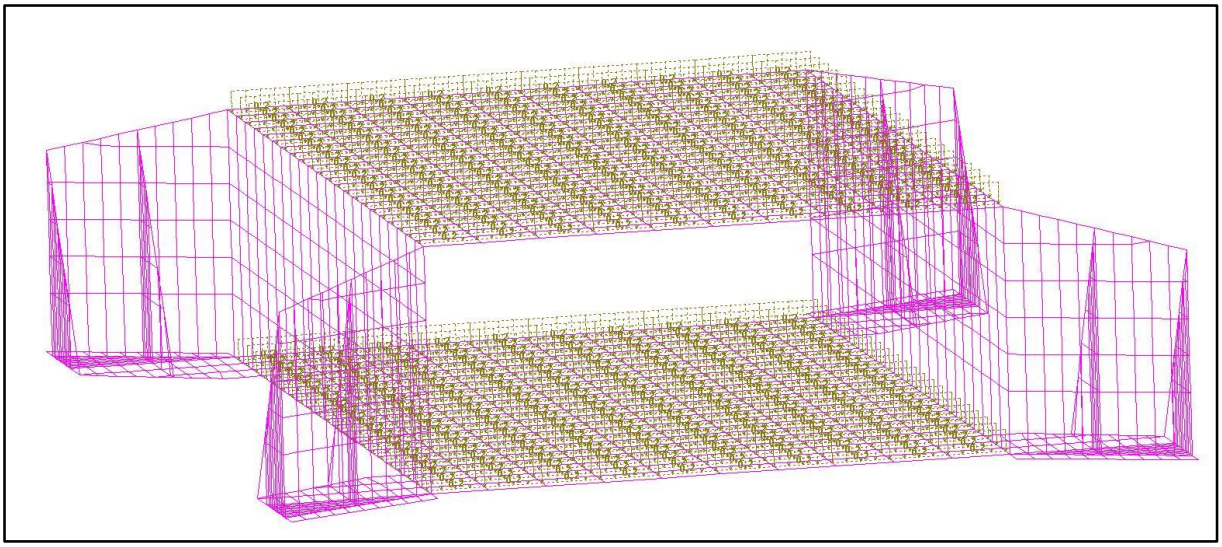


Figura 11 – Carregamento de Recapa da superfície

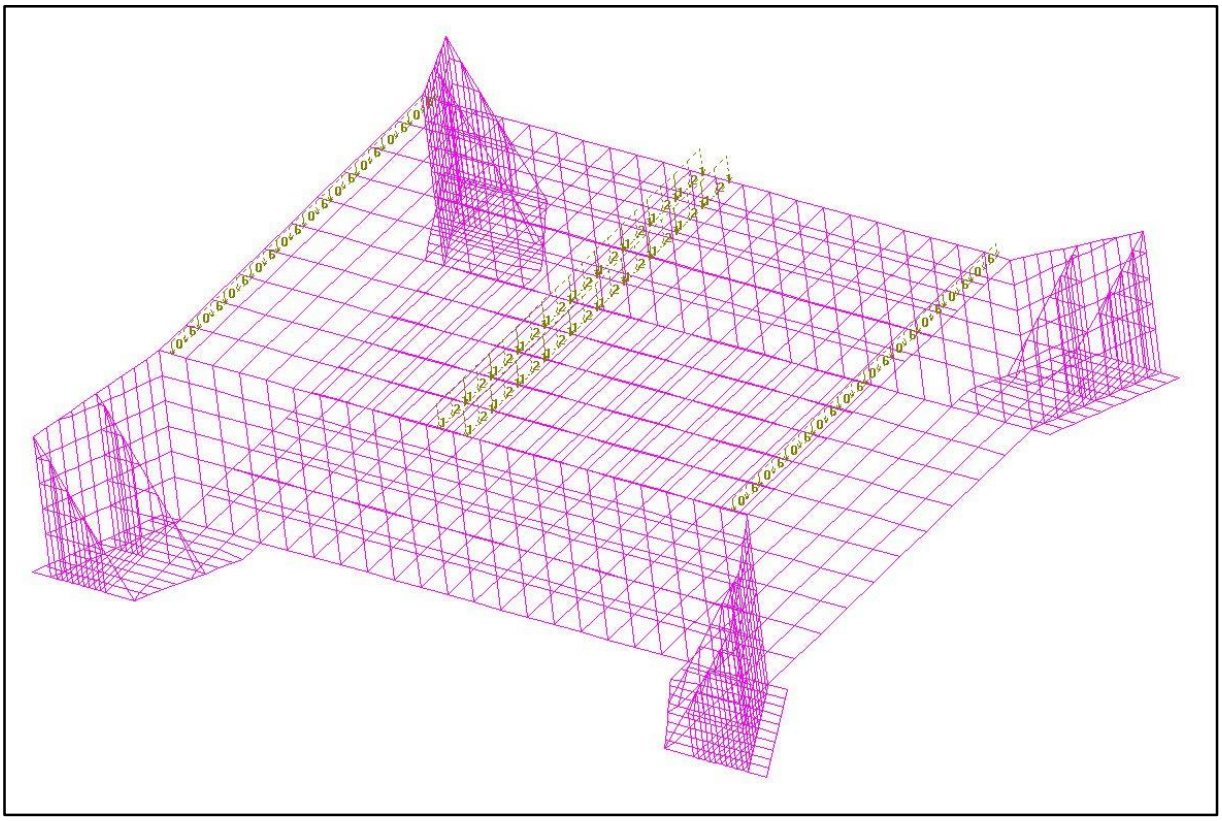


Figura 12 – Barreira New Jersey

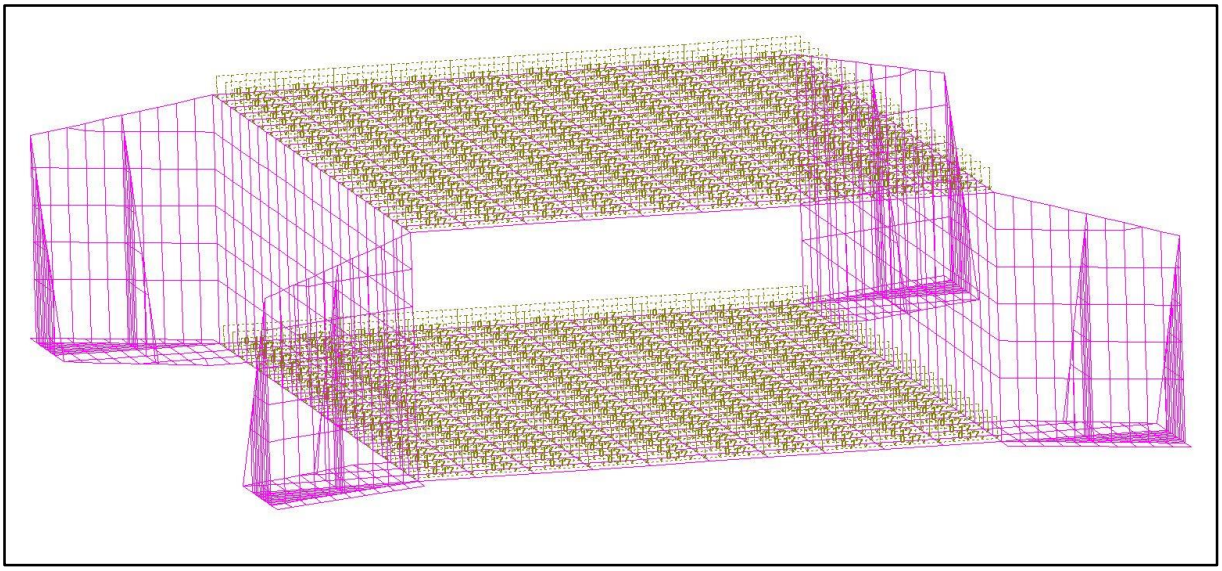


Figura 13 – Camada asfáltica de 7 cm

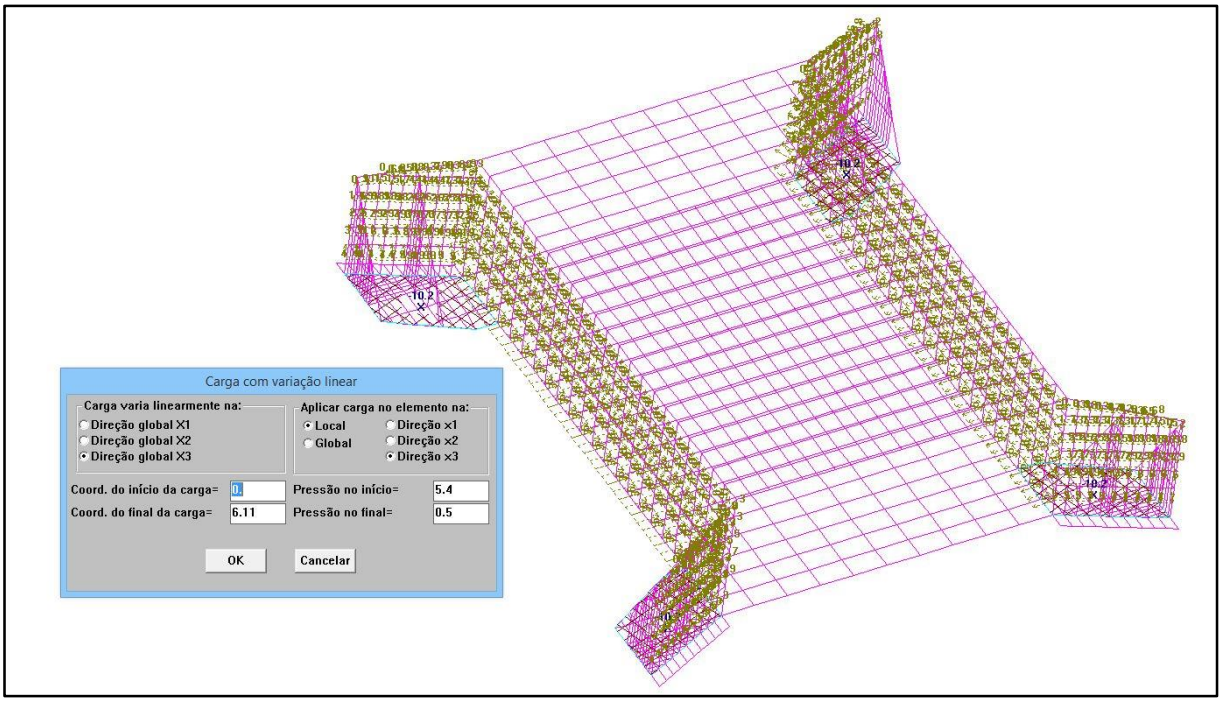


Figura 14 – Empuxo do solo

2.5.3 Esforços Acidentais

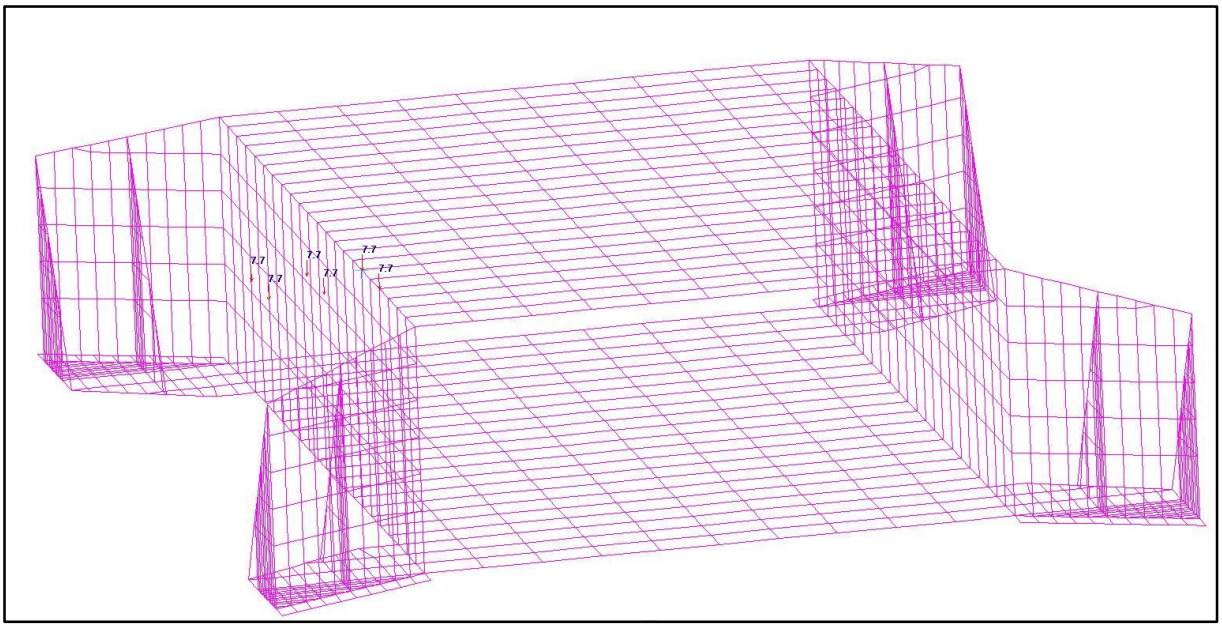


Figura 15 – Trem tipo 1

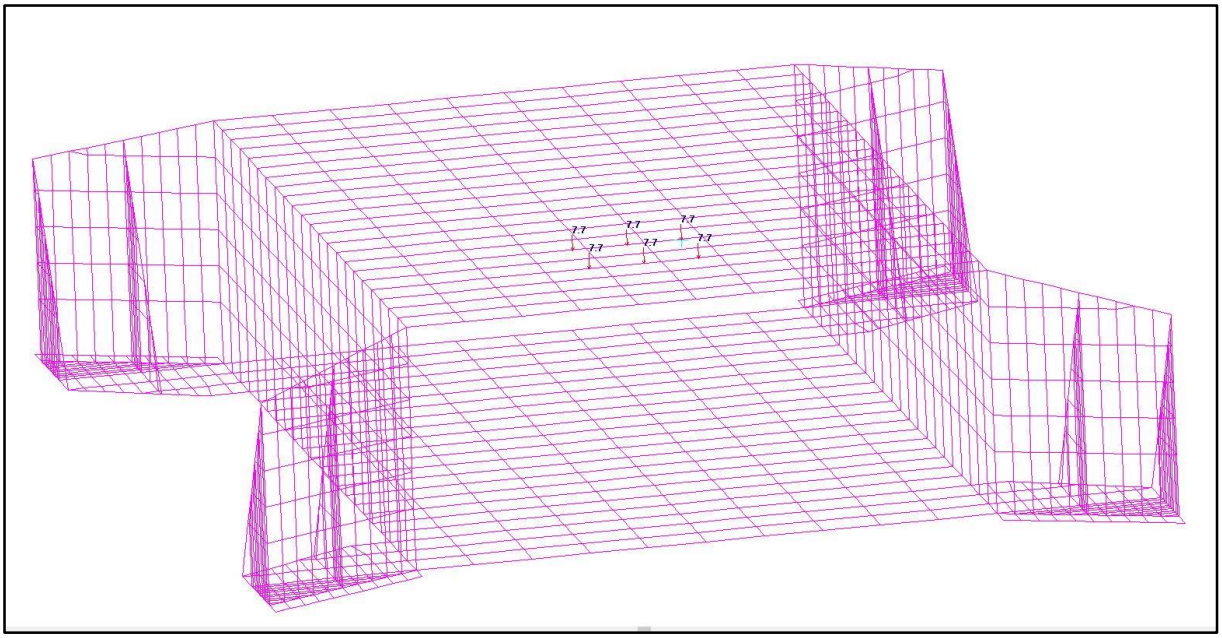


Figura 16 – Trem tipo 1 no meio do vão

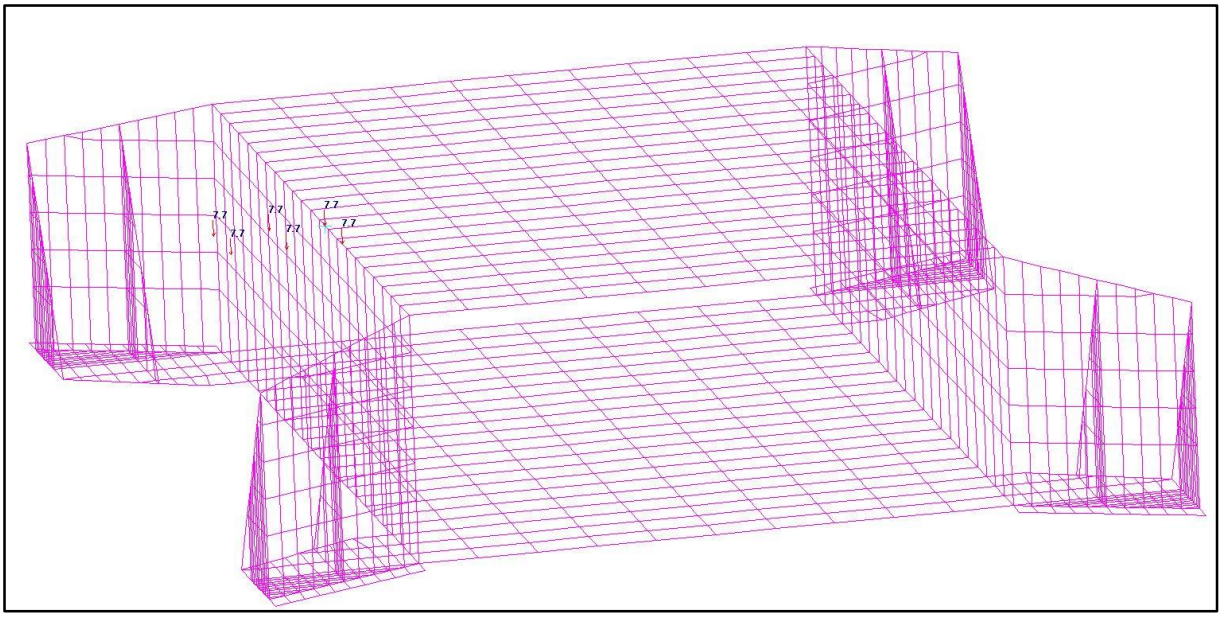


Figura 17 – Trem tipo 2

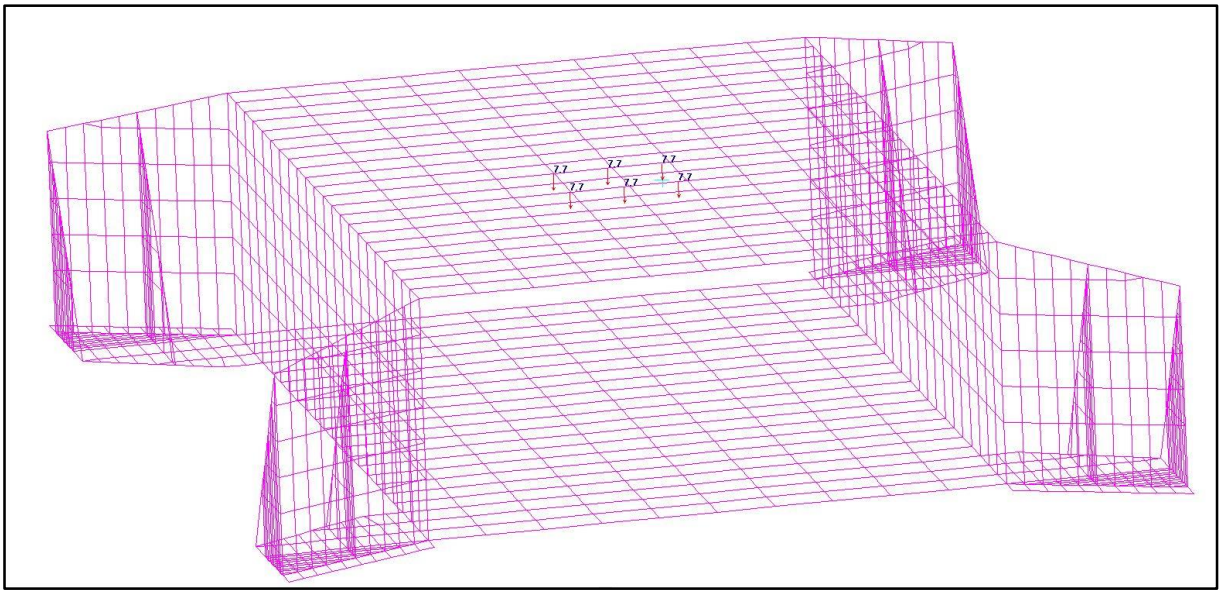


Figura 18 – Trem tipo 2 no meio do vão

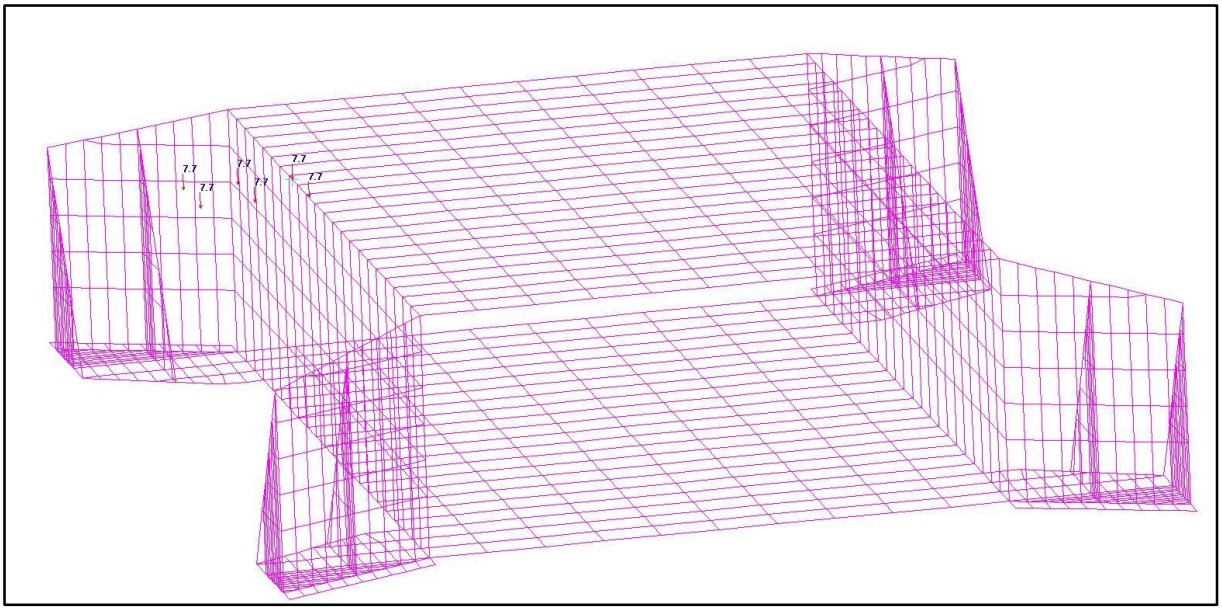


Figura 19 – Trem tipo 3

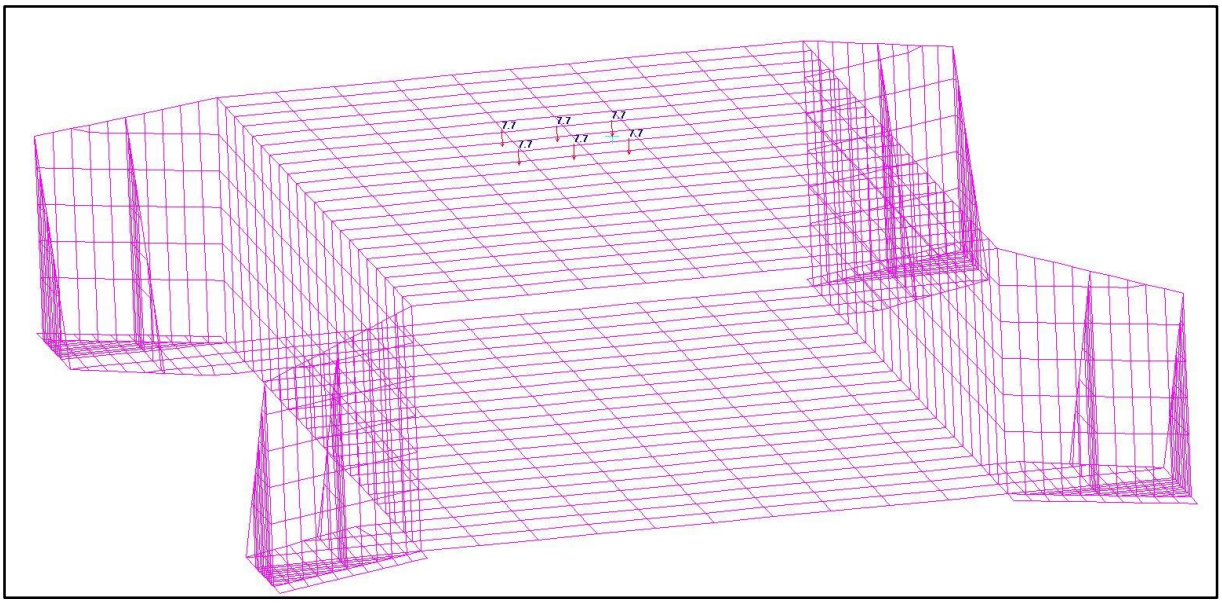


Figura 20 – Trem tipo 3 no meio do vão

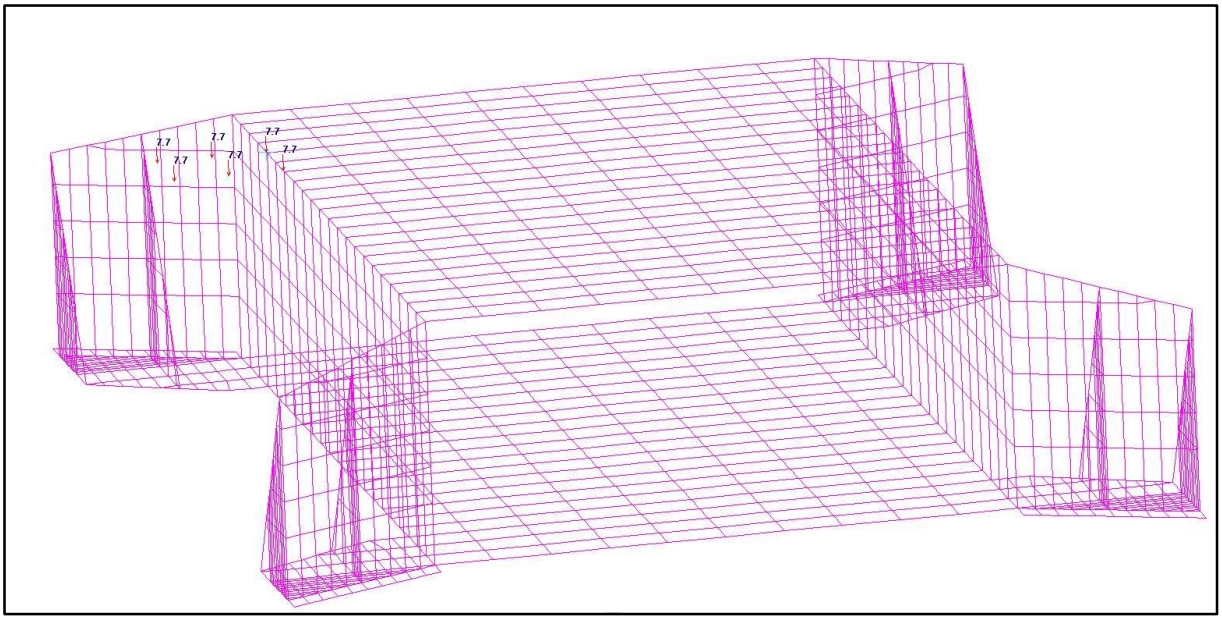


Figura 21 – Trem tipo 4

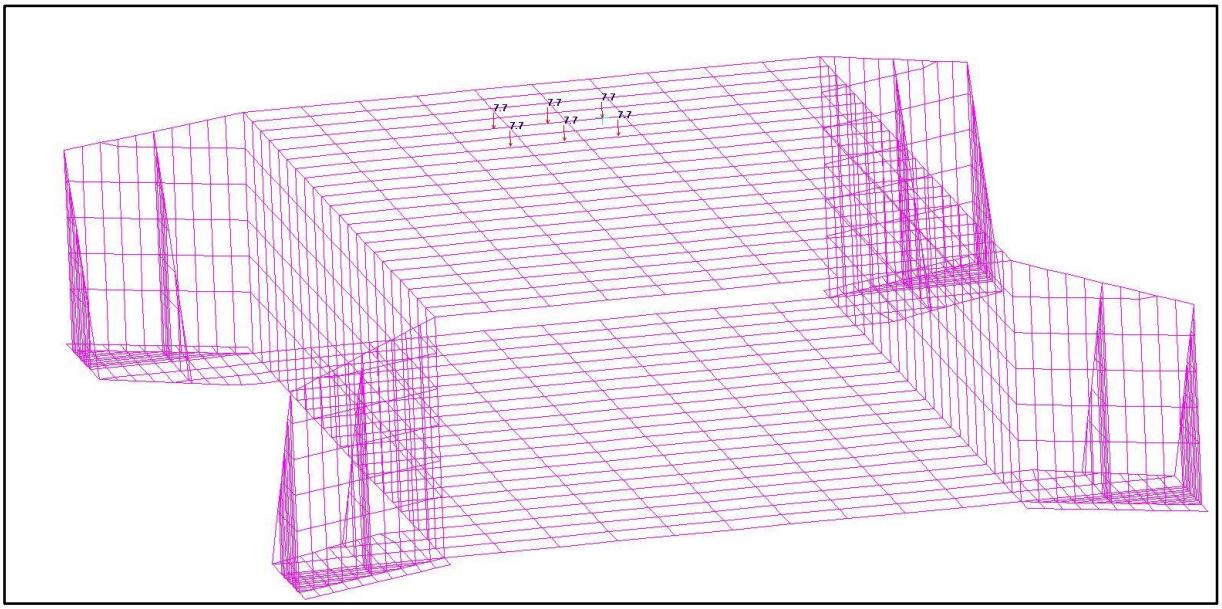


Figura 22 – Trem tipo 4 no meio do vão

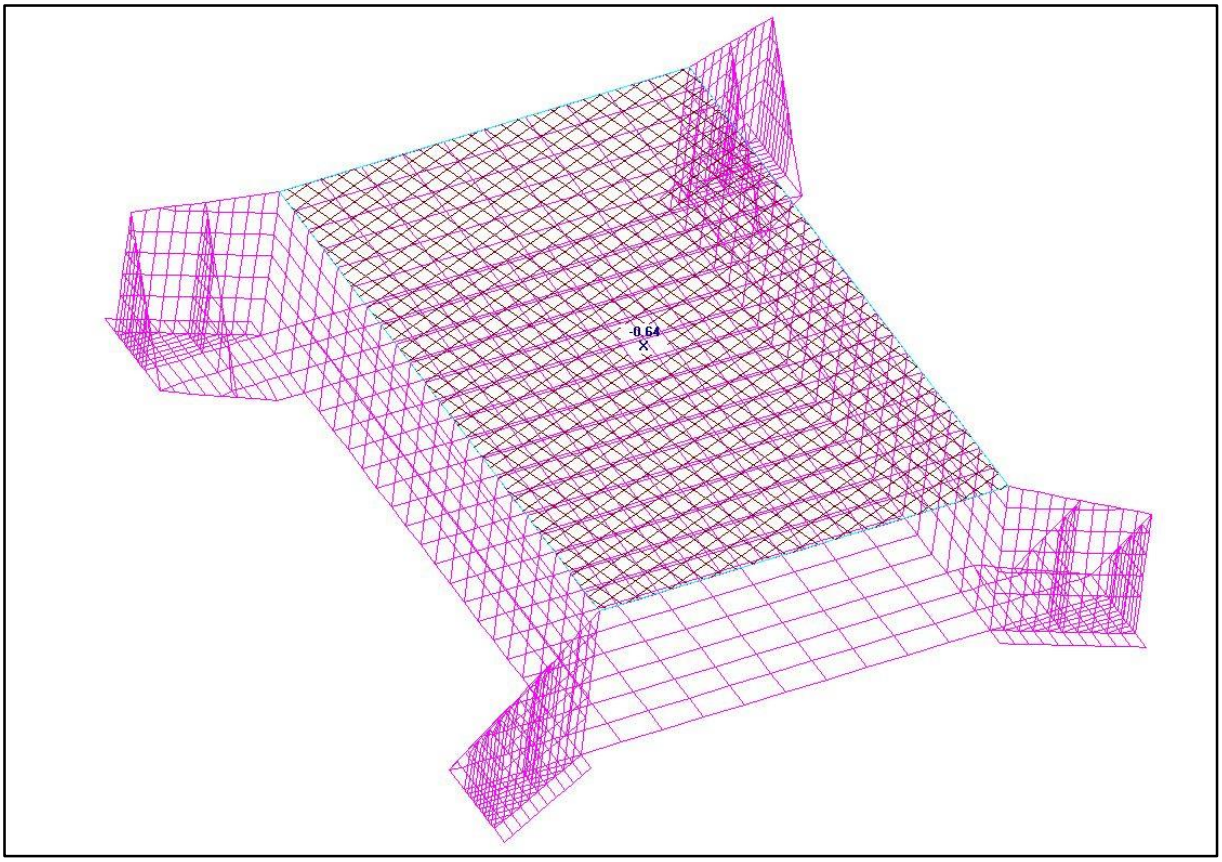


Figura 23 – Multidão

2.6 Esforços Concomitantes

A partir do modelo descrito foram encontrados os seguintes esforços para as lajes do tabuleiro de acordo com os carregamentos analisados.

2.6.1 Esforços de Momento Fletor

2.6.1.1 Momentos Fletores na laje superior (ELS)

Envoltória de Combinações máximas.

Momentos na direção x

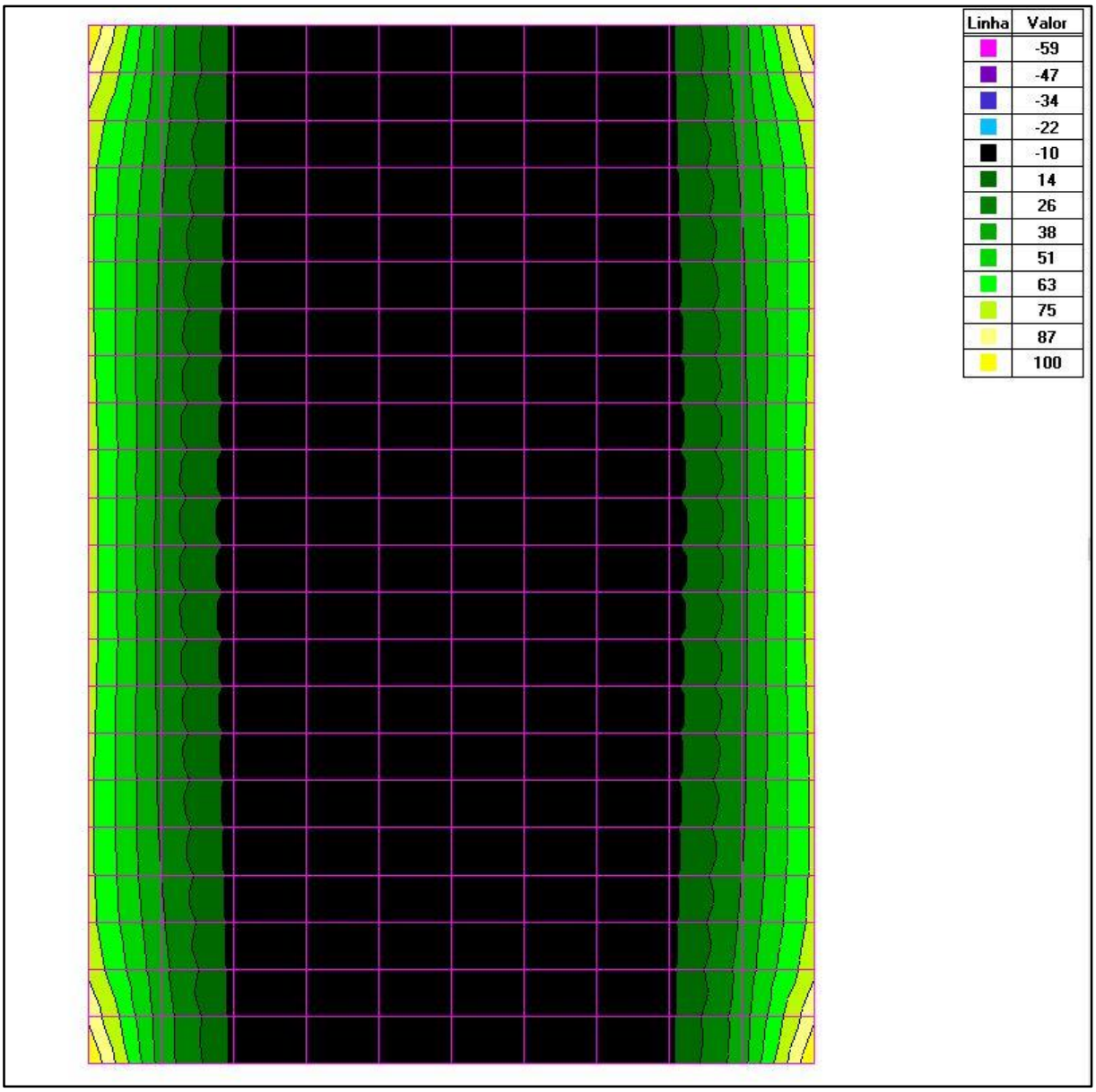


Figura 24 – Laje superior momento máximo direção x

Momento na direção y

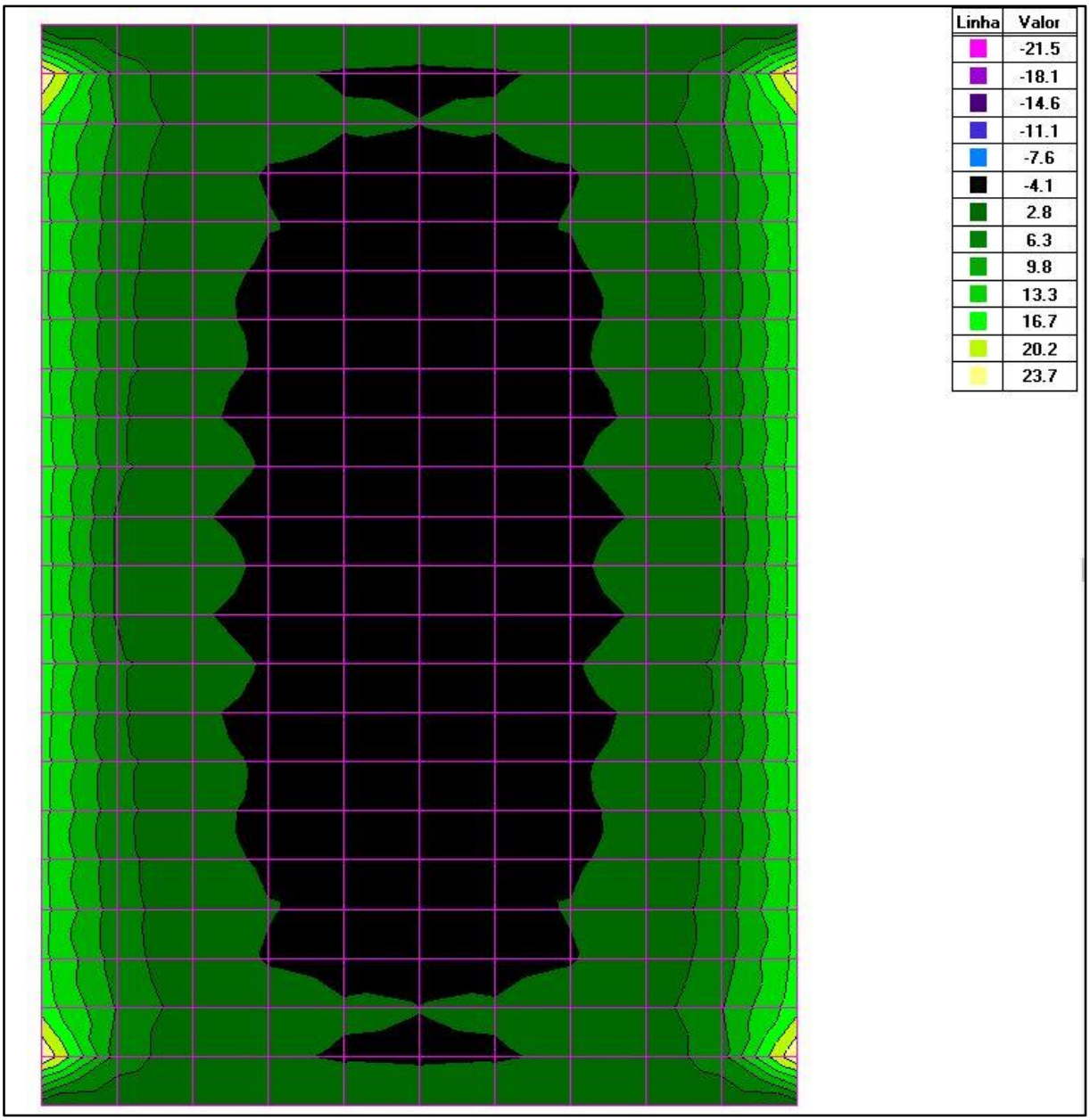


Figura 25 – Laje superior momento máximo direção y

Envoltória de Combinações mínimas.

Momentos na direção x

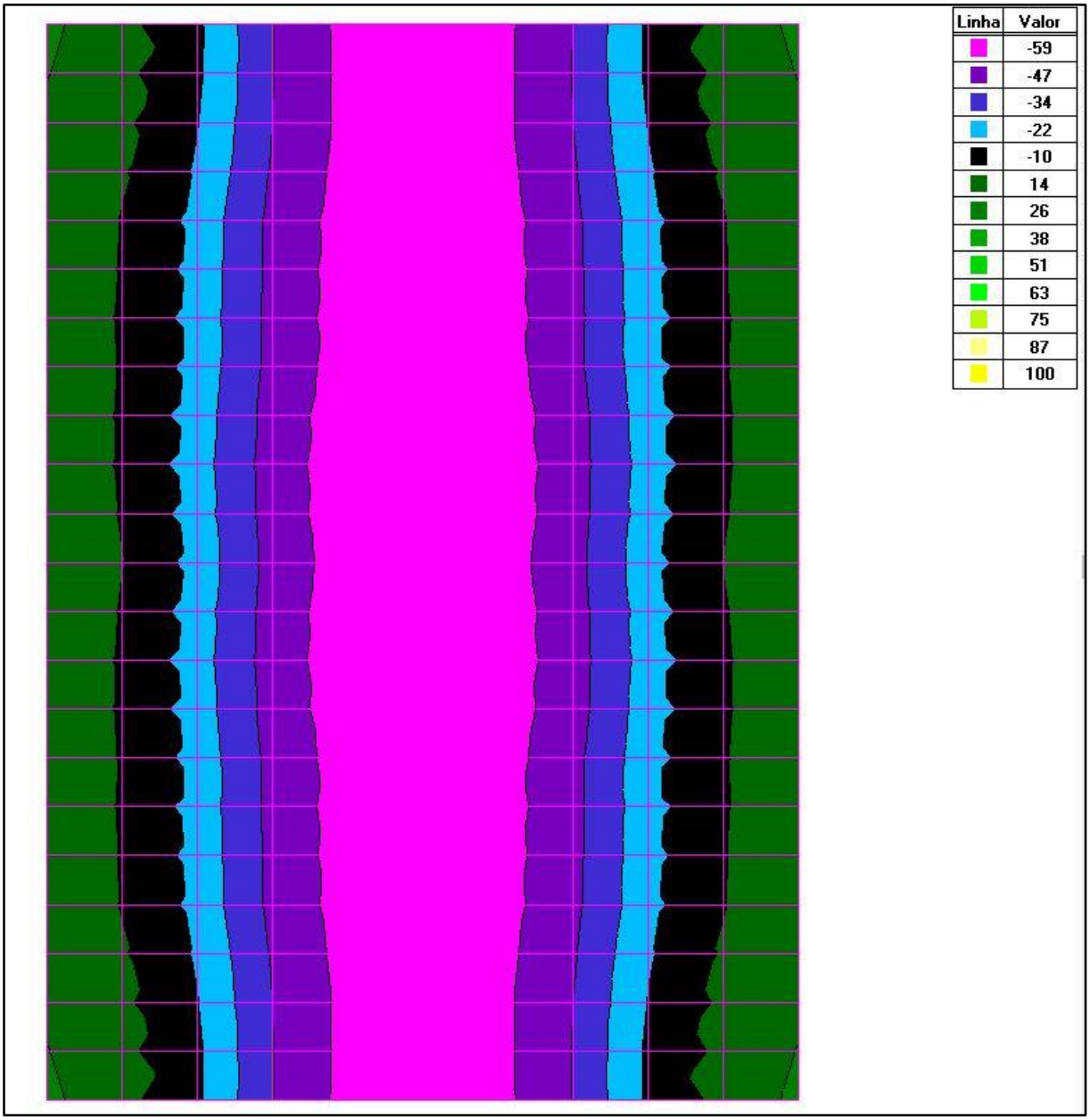


Figura 26 – Laje superior momento mínimo direção x

Momento na direção y

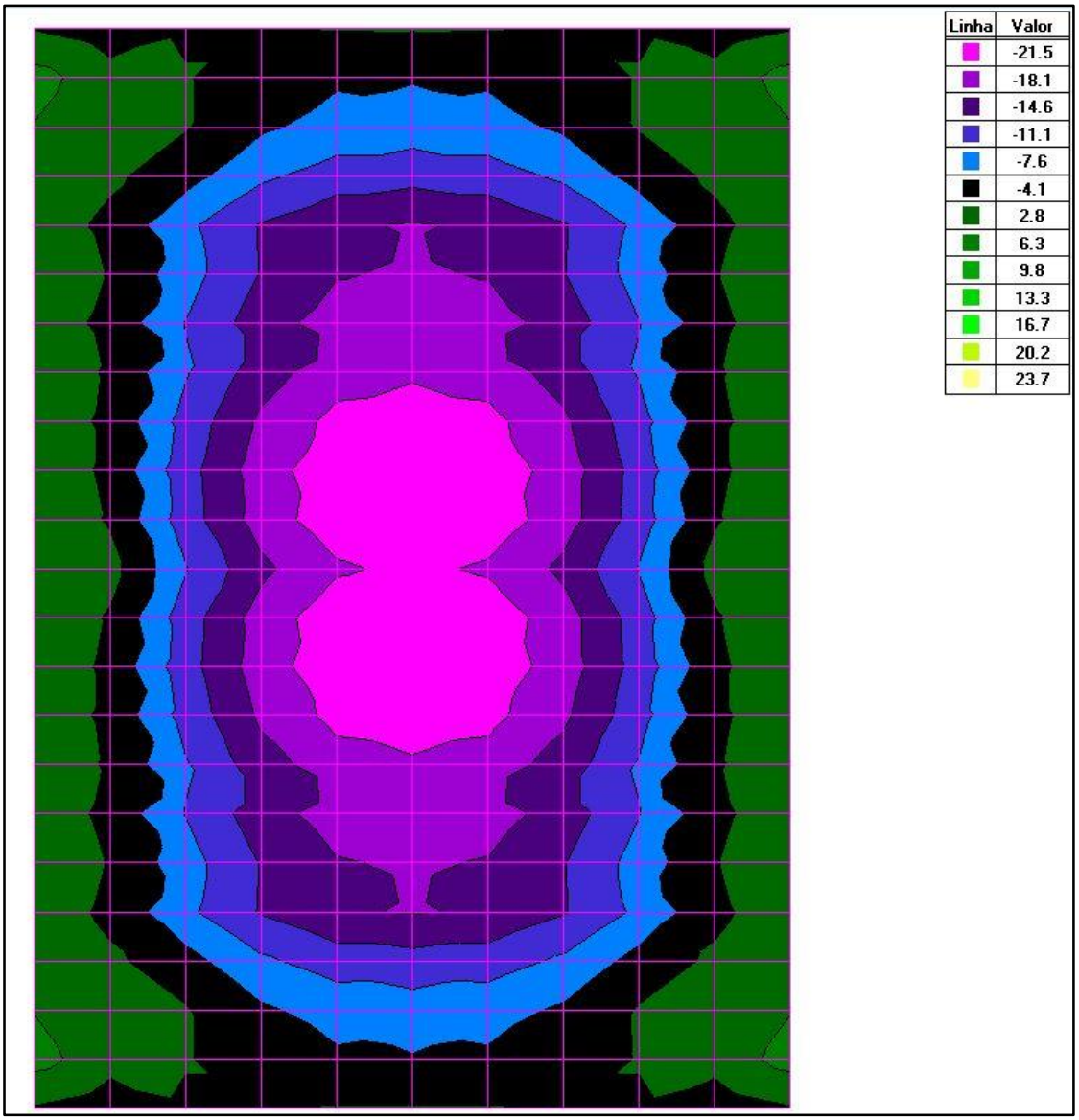


Figura 27 – Laje superior momento mínimo direção y

2.6.1.2 Momentos Fletores nas Paredes (ELS)

Momento Fletor na direção x

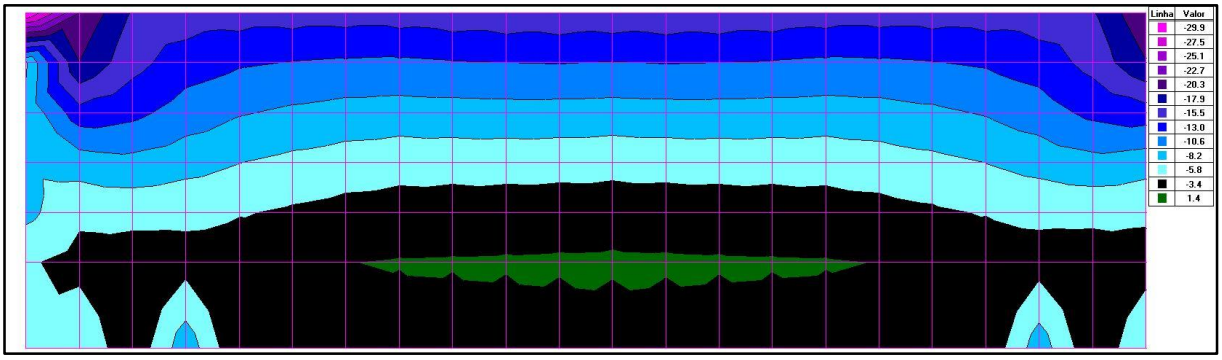


Figura 28 – Parede lateral momento na direção x

Momento Fletor na direção y

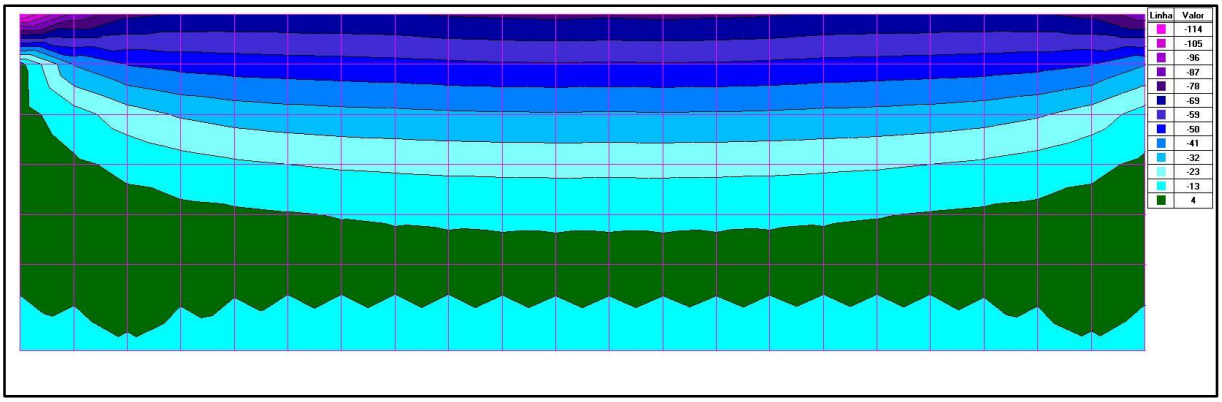


Figura 29 – Parede lateral momento na direção y

2.6.1.3 Momentos Fletores na Laje Inferior (ELS)

Momento Fletor na direção x

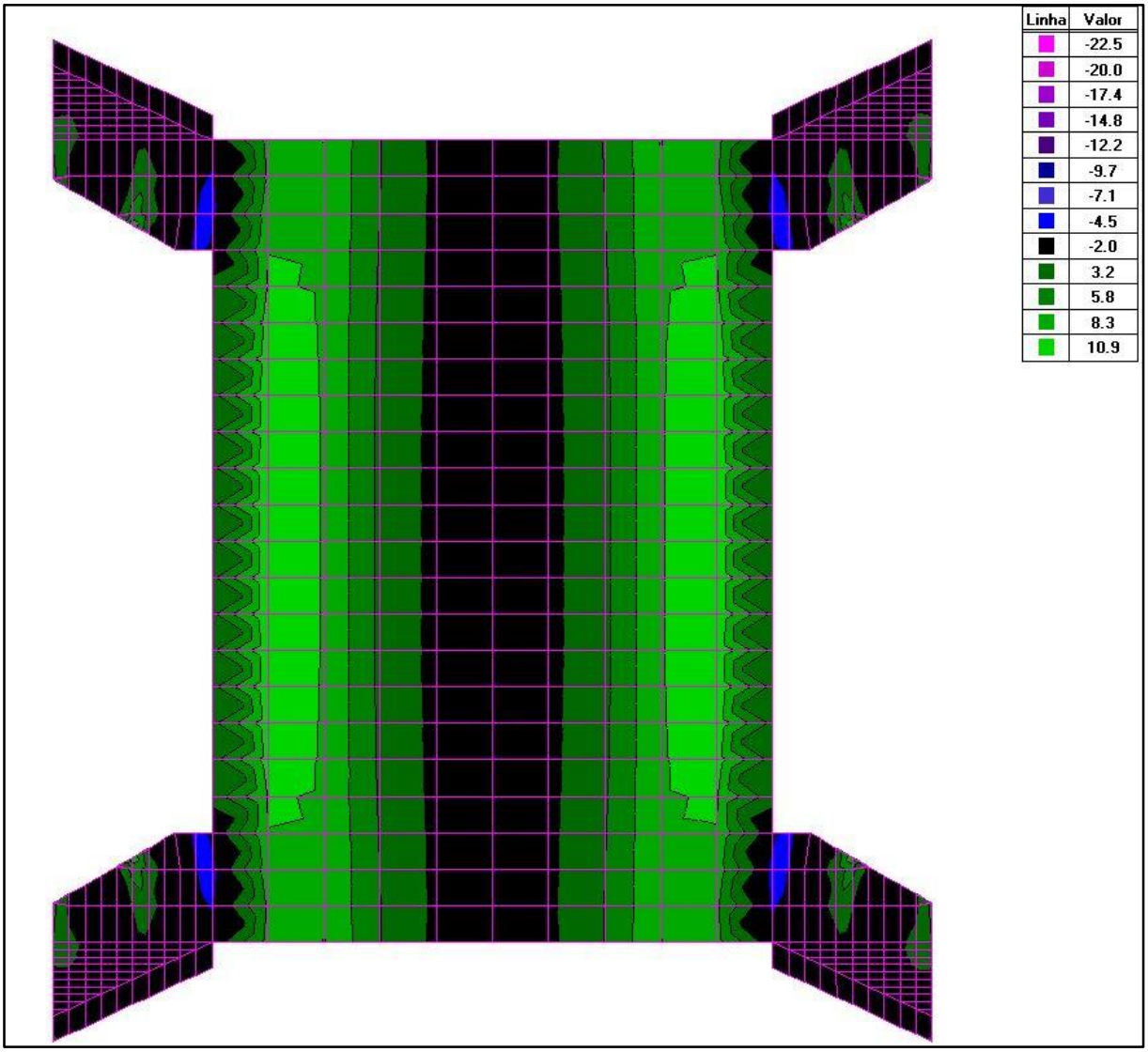


Figura 30 – Laje inferior momento na direção x

Momento Fletor na direção y

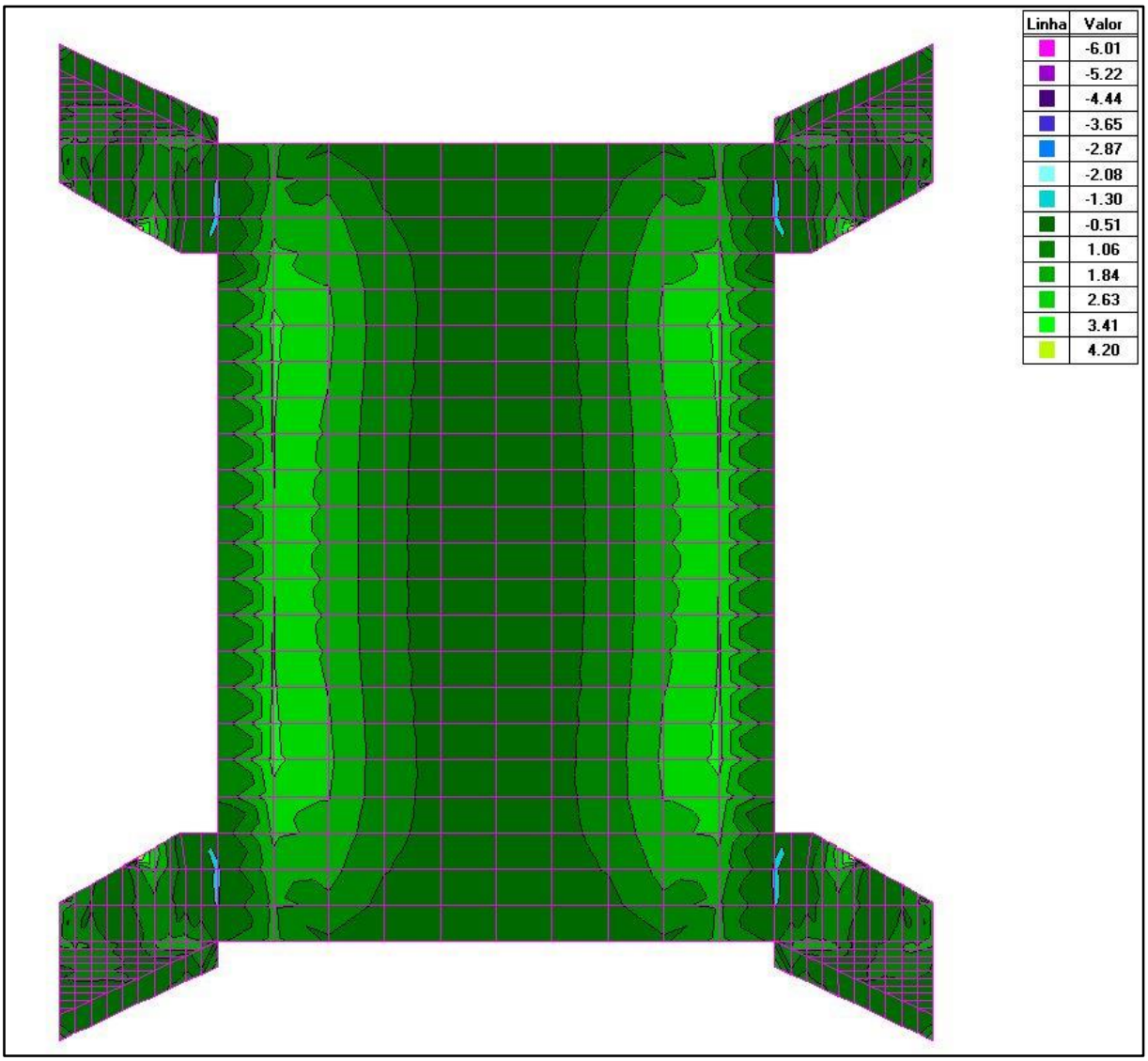


Figura 31 – Laje inferior momento na direção y

2.6.1.4 Momentos Fletores nas Alas (ELS)

Momentos Fletores na direção x

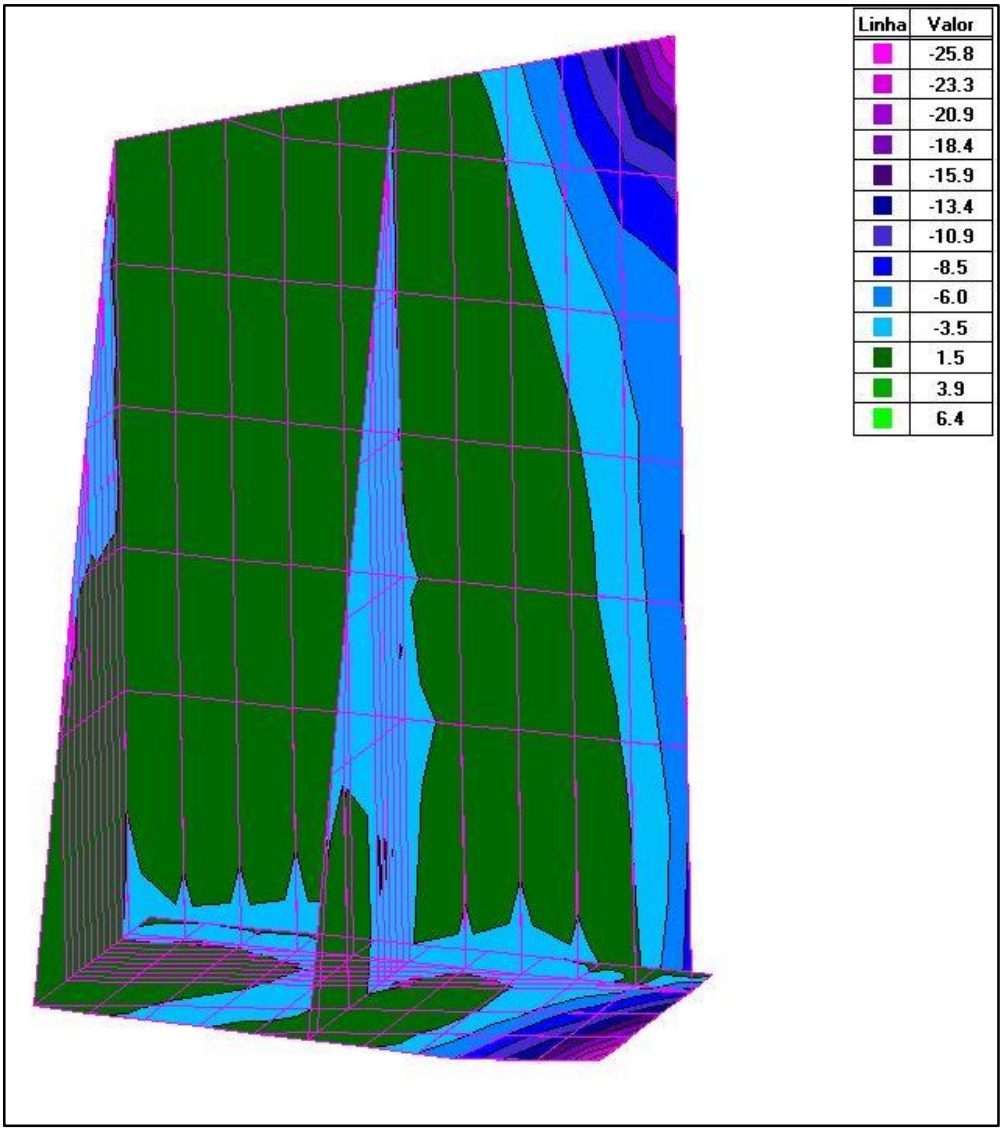


Figura 32 – Alas laterais momento na direção x

Momentos Fletores na direção y

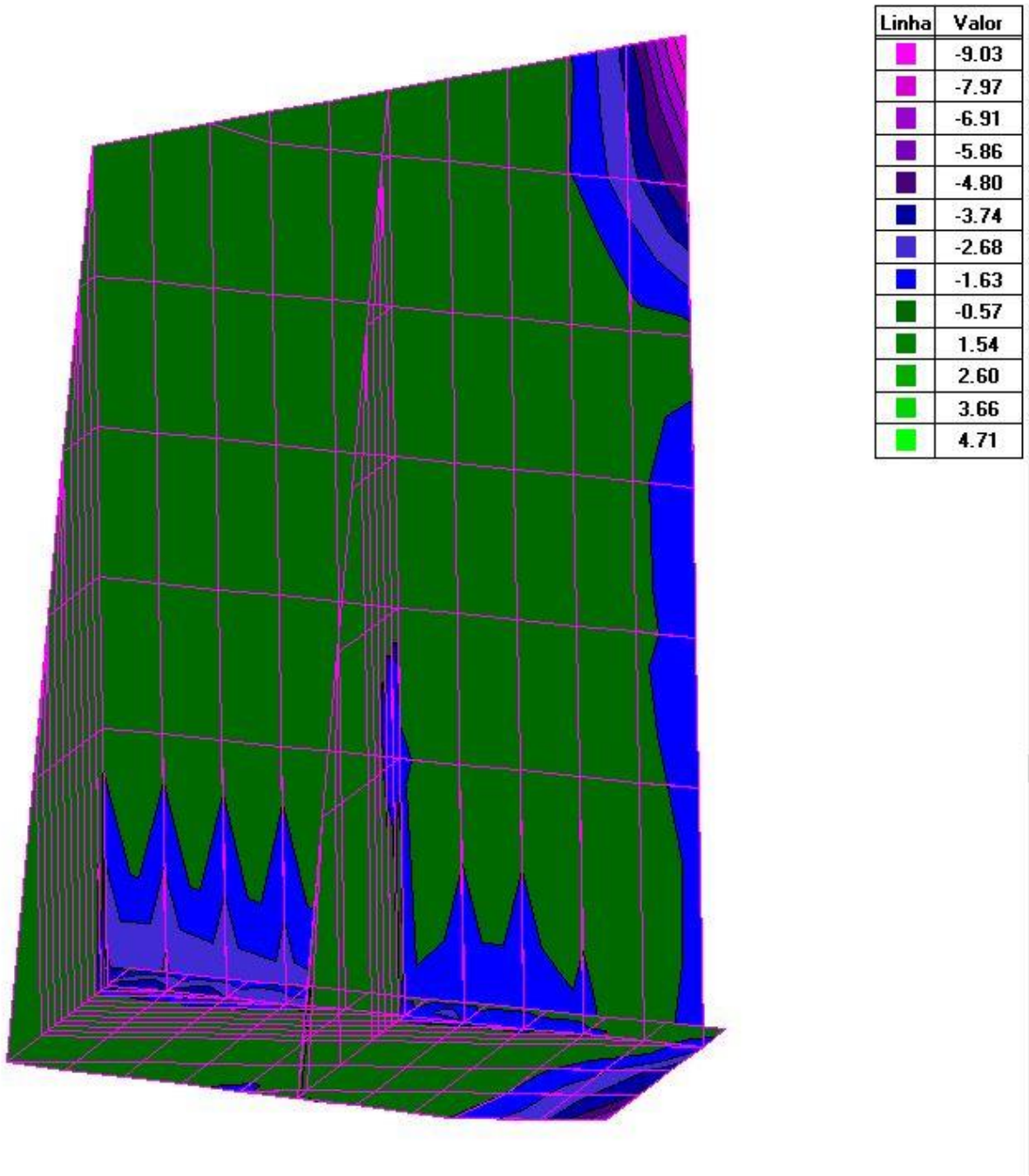


Figura 33 – Alas laterais momento na direção y

2.7 Dimensionamento das Lajes

2.7.1 Dimensionamento da Laje Superior

Armadura inferior no meio do vão – 16,45 metros (direção x)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura calculada:

$\boldsymbol{M_k = 43,0tfm/m}$

$$\boldsymbol{A_{s,calc} = 39,20\ cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 20mm\ C/\ 7,5cm\ (A_s = 41,89cm^2/m)}$

Fissuras:

$$\boldsymbol{\omega_2 = 0,293mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!}$$

Fadiga p/ $\boldsymbol{\phi\ 20mm\ C/\ 7,5cm}$:

$\boldsymbol{M_{d,máx} = 41,60tfm/m}$

$\boldsymbol{M_{d,mín} = 35,60tfm/m}$

$\boldsymbol{\Delta\sigma_{c,máx} = 1,90\ MPa - OK}$!!

$\boldsymbol{\Delta\sigma_{c,mín} = 32,62\ MPa - OK}$!!

Armadura inferior nos apoios (direção x)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/15cm\ (A_s = 8,18cm^2/m)}$

Armadura superior nos apoios (direção x)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura calculada:

$\boldsymbol{M_k = 45tfm/m}$

$$\boldsymbol{A_{s,calc} = 41,89cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 20mm\ c/7,5cm\ (A_s = 41,89cm^2/m)}$

Fissuras:

$$\boldsymbol{\omega_1 = 0,232mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!}$$

Armadura superior no meio do vão (direção x)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/15cm\ (A_s = 8,18cm^2/m)}$

Armadura inferior vão (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 9,52cm^2/m}$$

Armadura calculada:

$\boldsymbol{M_k = 13,5tfm/m}$

$$A_{s,calc} = 8,79\ cm^2/m$$

Armadura adotada $\phi\ 12,5mm\ c/12,5cm\ (A_s = 9,82cm^2/m)$

Fissuras:

$$\omega_1 = 0,182mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!$$

Armadura superior - 15,35 metros próximo às paredes (direção y)

$h = 55\ cm$;

$f_{ck} = 30MPa$;

$d' = 5,0cm$;

Armadura mínima:

$$A_{s,mín} = 9,52cm^2/m$$

Armadura calculada:

$M_k = 30tfm/m$

$$A_{s,calc} = 20,08\ cm^2/m$$

Armadura adotada $\phi\ 16mm\ c/10cm\ (A_s = 20,11cm^2/m)$

Fissuras:

$$\omega_1 = 0,286mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!$$

Armadura superior (direção y)

$h = 55\ cm$;

$f_{ck} = 30MPa$;

$d' = 5,0cm$;

Armadura mínima:

$$A_{s,mín} = 9,52cm^2/m$$

Armadura adotada $\phi\ 12,5mm\ c/12,5cm\ (A_s = 9,82cm^2/m)$

2.7.2 Dimensionamento das Paredes

Armadura na face do aterro no topo da parede (direção y)

$h = 45\ cm$;

$f_{ck} = 30MPa$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura calculada:

$\boldsymbol{M_k = 45,0tfm/m}$

$$\boldsymbol{A_{s,calc} = 40,65cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 20mm\ c/7,5cm\ (A_s = 41,89cm^2/m)}$

Fissuras:

$$\boldsymbol{\omega_1 = 0,234mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!}$$

Armadura na face do aterro na base da parede (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura calculada:

$\boldsymbol{M_k = 15,0tfm/m}$

$$\boldsymbol{A_{s,calc} = 14,29cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/8cm\ (A_s = 15,34cm^2/m)}$

Fissuras:

$$\boldsymbol{\omega_1 = 0,195mm < \omega_{lim} = 0,2mm \quad \rightarrow ok!}$$

Armadura na face do aterro na região central da parede (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/10cm}$ $(\boldsymbol{A_s = 12,27cm^2/m})$

Armadura na face do aterro ao longo da parede (direção x)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/15cm}$ $(\boldsymbol{A_s = 8,18cm^2/m})$

Armadura na face oposta ao aterro no topo da parede (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/15cm}$ $(\boldsymbol{A_s = 8,18cm^2/m})$

Armadura na face oposta ao aterro na base da parede (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm}$ $(\boldsymbol{A_s = 7,85cm^2/m})$

Armadura na face oposta ao aterro na região central da parede (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$A_{s,mín} = 7,79cm^2/m$$

Armadura calculada:

$M_k = 10,0tfm/m$

$$A_{s,calc} = 8,04cm^2/m$$

Armadura adotada $\phi\ 12,5mm\ c/10cm\ (A_s = 12,27cm^2/m)$

Fissuras:

$$\omega_1 = 0,099mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!$$

Armadura na face oposta ao aterro na região central da parede (direção x)

$h = 45\ cm$;

$f_{ck} = 30MPa$;

$d' = 5,0cm$;

Armadura mínima:

$$A_{s,mín} = 7,79cm^2/m$$

Armadura adotada $\phi\ 12,5mm\ c/15cm\ (A_s = 8,18cm^2/m)$

2.7.3 Dimensionamento da Laje Inferior

Armadura na face inferior nos cantos (direção x)

$h = 40\ cm$;

$f_{ck} = 30MPa$;

$d' = 5,0cm$;

Armadura mínima:

$$A_{s,mín} = 6,92cm^2/m$$

Armadura calculada:

$M_k = 15,0tfm/m$

$$A_{s,calc} = 14,07cm^2/m$$

Armadura adotada $\phi\ 12,5mm\ c/8cm\ (A_s = 15,34cm^2/m)$

Fissuras:

$$\omega_1 = 0,190mm < \omega_{lim} = 0,2mm \quad \rightarrow ok!$$

Armadura na face inferior região central (direção x)

$\boldsymbol{h = 40\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm}$ ($\boldsymbol{A_s = 7,85cm^2/m}$)

Armadura na face inferior (direção y)

$\boldsymbol{h = 40\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm}$ ($\boldsymbol{A_s = 7,85cm^2/m}$)

Armadura na face superior nos cantos (direção x)

$\boldsymbol{h = 40\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm}$ ($\boldsymbol{A_s = 7,85cm^2/m}$)

Armadura na face superior na região central da laje (direção x)

$\boldsymbol{h = 40\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm\ (A_s = 7,85cm^2/m)}$

Armadura na face superior da laje (direção y)

$\boldsymbol{h = 45\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 7,79cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm\ (A_s = 7,85cm^2/m)}$

2.7.4 Dimensionamento das Alas Laterais

Armadura na face do aterro na ligação com a parede (direção x)

$\boldsymbol{h = 30\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 4,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 5,19cm^2/m}$$

Armadura calculada:

$\boldsymbol{M_k = 6,0tfm/m}$

$$\boldsymbol{A_{s,calc} = 7,70cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12,5mm\ c/15cm\ (A_s = 8,18cm^2/m)}$

Fissuras:

$$\boldsymbol{\omega_1 = 0,200mm < \omega_{lim} = 0,3mm \quad \rightarrow ok!}$$

Armadura na face do aterro na ligação com a base (direção y)

$\boldsymbol{h = 25\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 4,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 5,19cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm\ (A_s = 7,85cm^2/m)}$

Armadura na face do aterro superior nos cantos (direção y)

$\boldsymbol{h = 30\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 5,19cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm\ (A_s = 7,85cm^2/m)}$

Armadura na face oposta ao aterro (direção y)

$\boldsymbol{h = 30\ cm}$;

$\boldsymbol{f_{ck} = 30MPa}$;

$\boldsymbol{d' = 5,0cm}$;

Armadura mínima:

$$\boldsymbol{A_{s,mín} = 5,19cm^2/m}$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 10mm\ c/10cm\ (A_s = 7,70cm^2/m)}$

2.7.5 Verificação dos deslocamentos

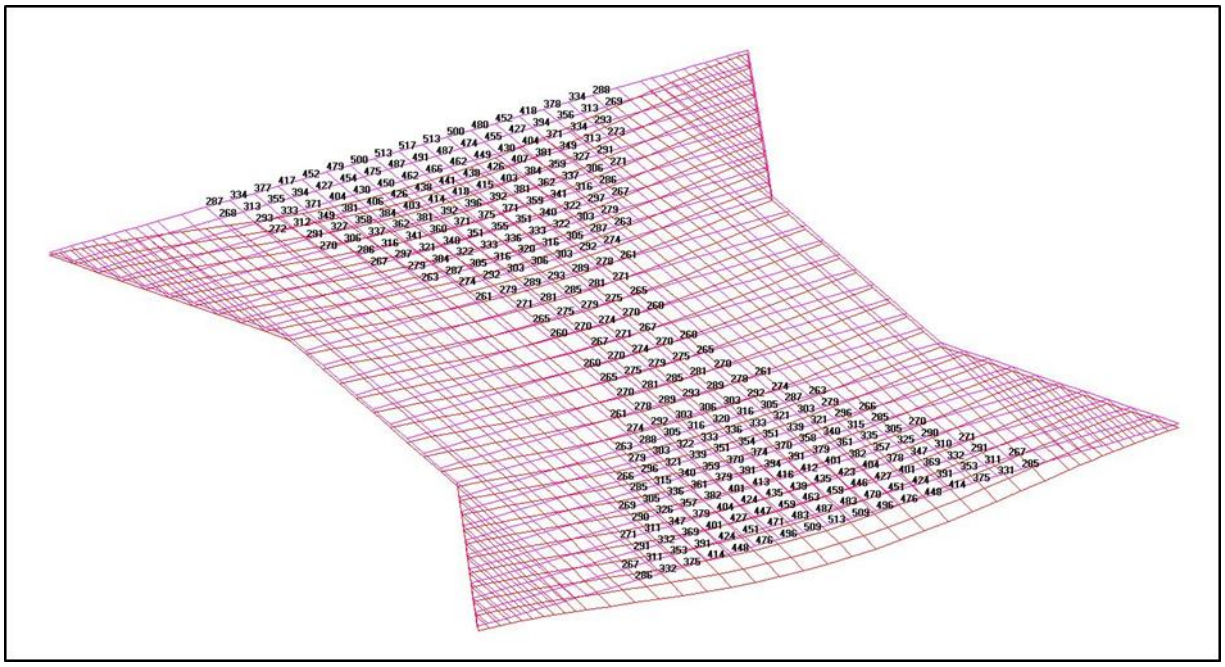
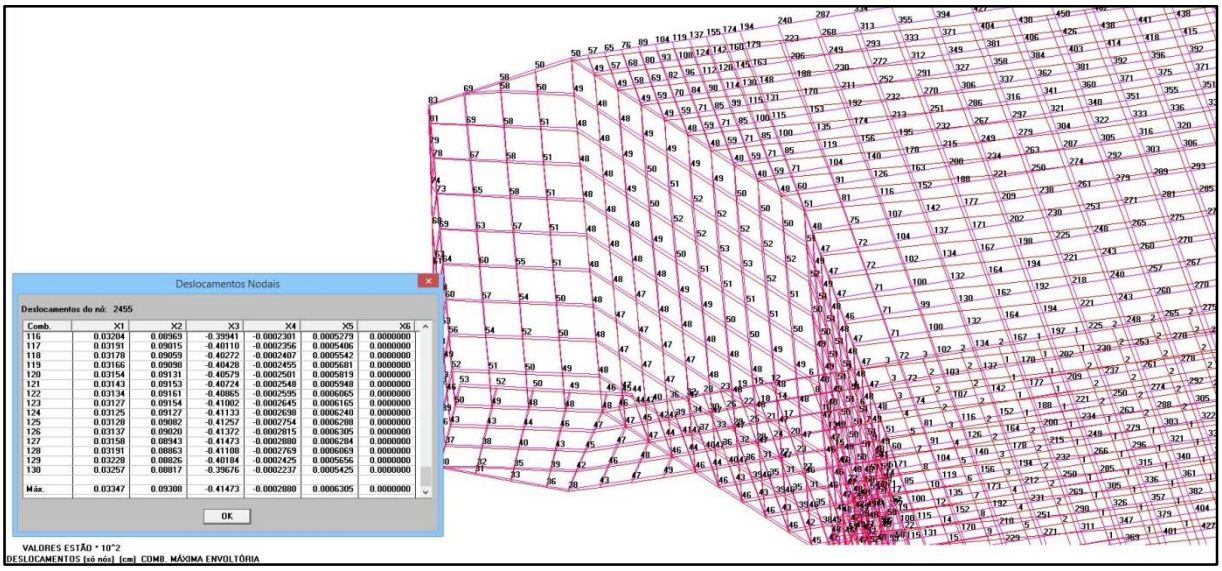


Figura 34 – Verificação do deslocamento da laje superior



Comb.	X1	X2	X3	X4	X5	X6
116	0.03204	0.08969	-0.39941	-0.0002301	0.0005279	0.0000000
117	0.03191	0.09015	-0.40110	-0.0002356	0.0005406	0.0000000
118	0.03178	0.09059	-0.40272	-0.0002407	0.0005542	0.0000000
119	0.03166	0.09098	-0.40428	-0.0002455	0.0005681	0.0000000
120	0.03154	0.09131	-0.40579	-0.0002501	0.0005819	0.0000000
121	0.03143	0.09153	-0.40724	-0.0002548	0.0005948	0.0000000
122	0.03134	0.09161	-0.40865	-0.0002595	0.0006065	0.0000000
123	0.03127	0.09154	-0.41002	-0.0002645	0.0006165	0.0000000
124	0.03125	0.09127	-0.41133	-0.0002698	0.0006240	0.0000000
125	0.03128	0.09082	-0.41257	-0.0002754	0.0006288	0.0000000
126	0.03137	0.09020	-0.41372	-0.0002815	0.0006305	0.0000000
127	0.03158	0.08943	-0.41473	-0.0002880	0.0006284	0.0000000
128	0.03191	0.08863	-0.41108	-0.0002769	0.0006069	0.0000000
129	0.03228	0.08826	-0.40184	-0.0002425	0.0005656	0.0000000
130	0.03257	0.08817	-0.39676	-0.0002237	0.0005425	0.0000000
Máx.	0.03347	0.09308	-0.41473	-0.0002880	0.0006305	0.0000000

Figura 35 – Verificação do deslocamento da base das alas

2.8 Dimensionamento da Fundação

2.8.1 Locação dos pontos de sondagem

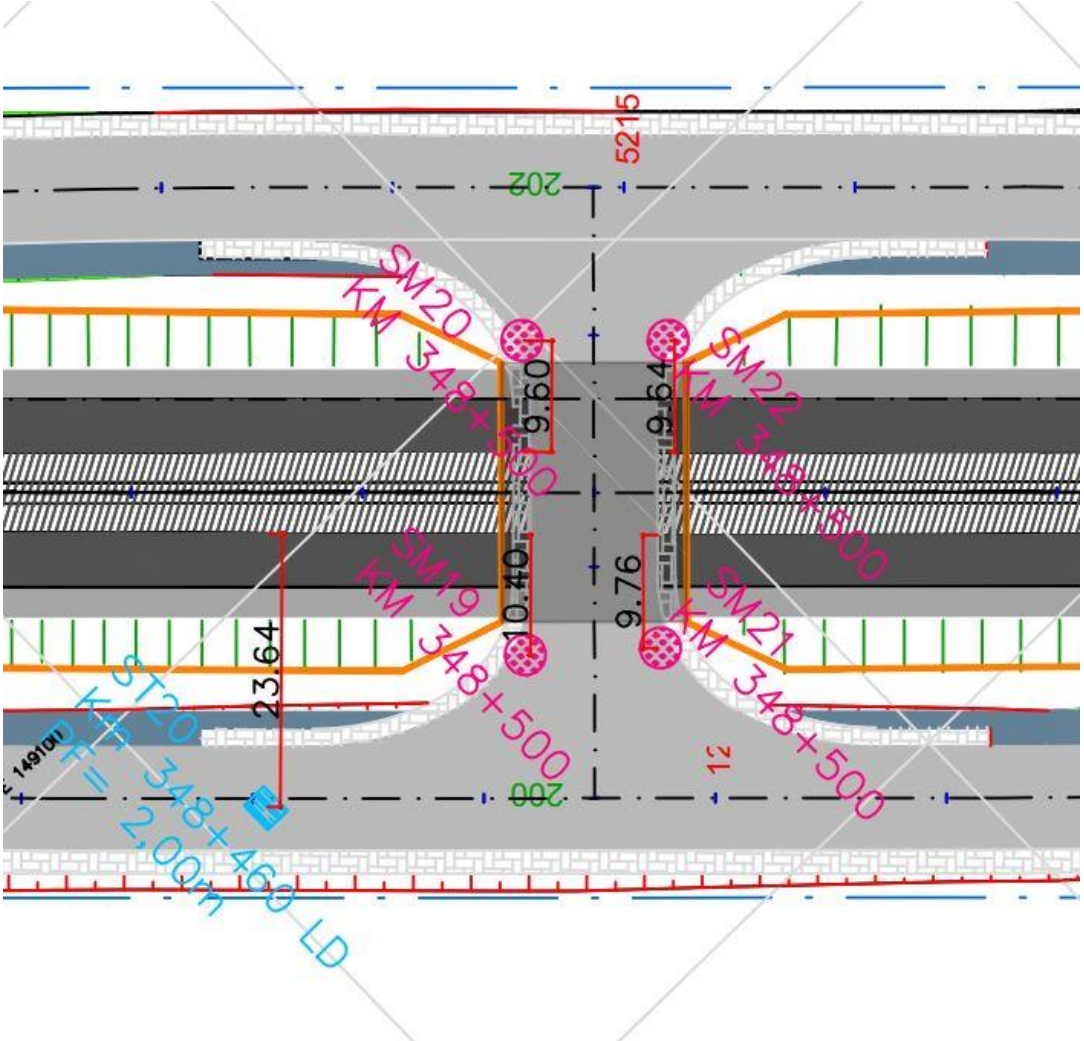
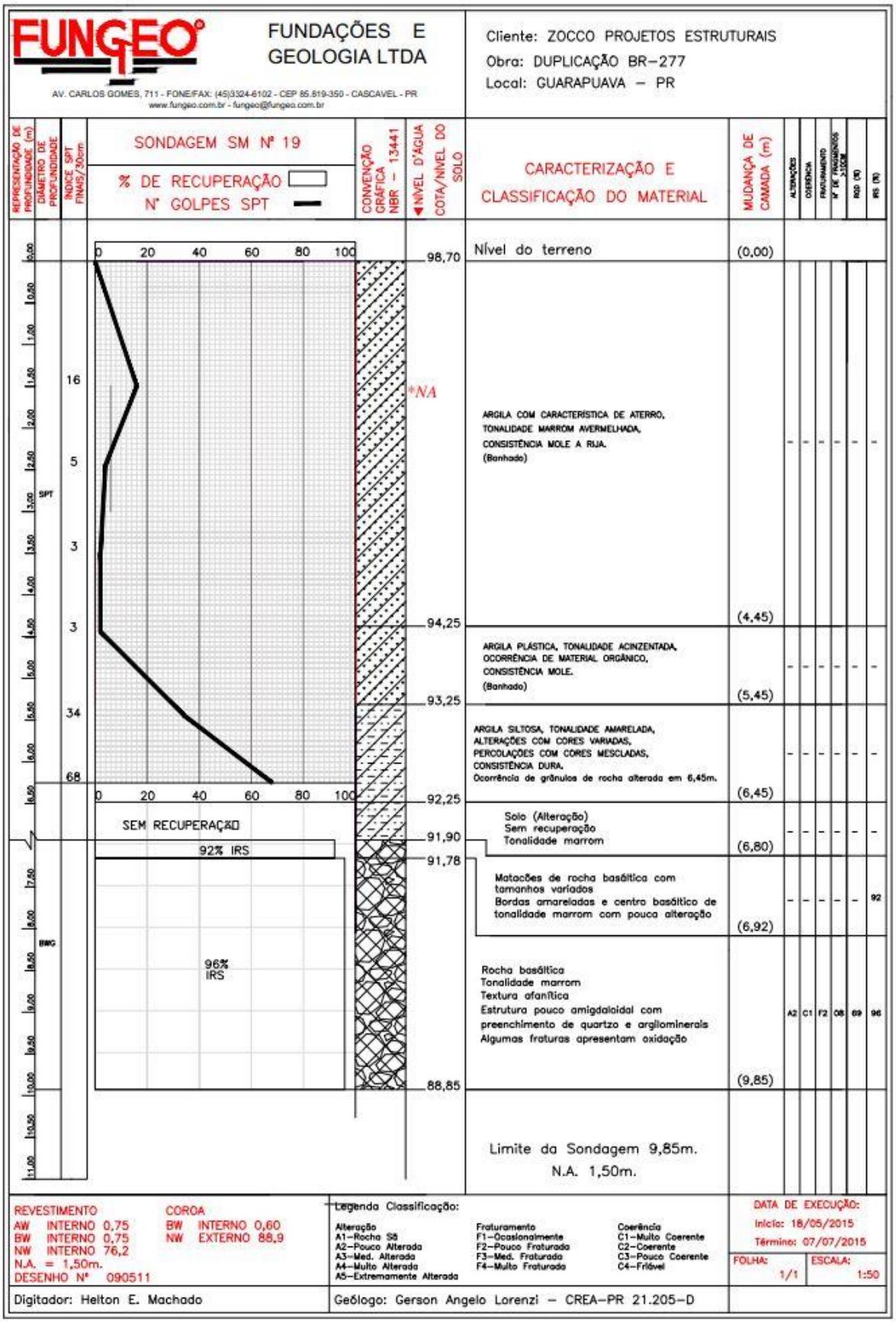
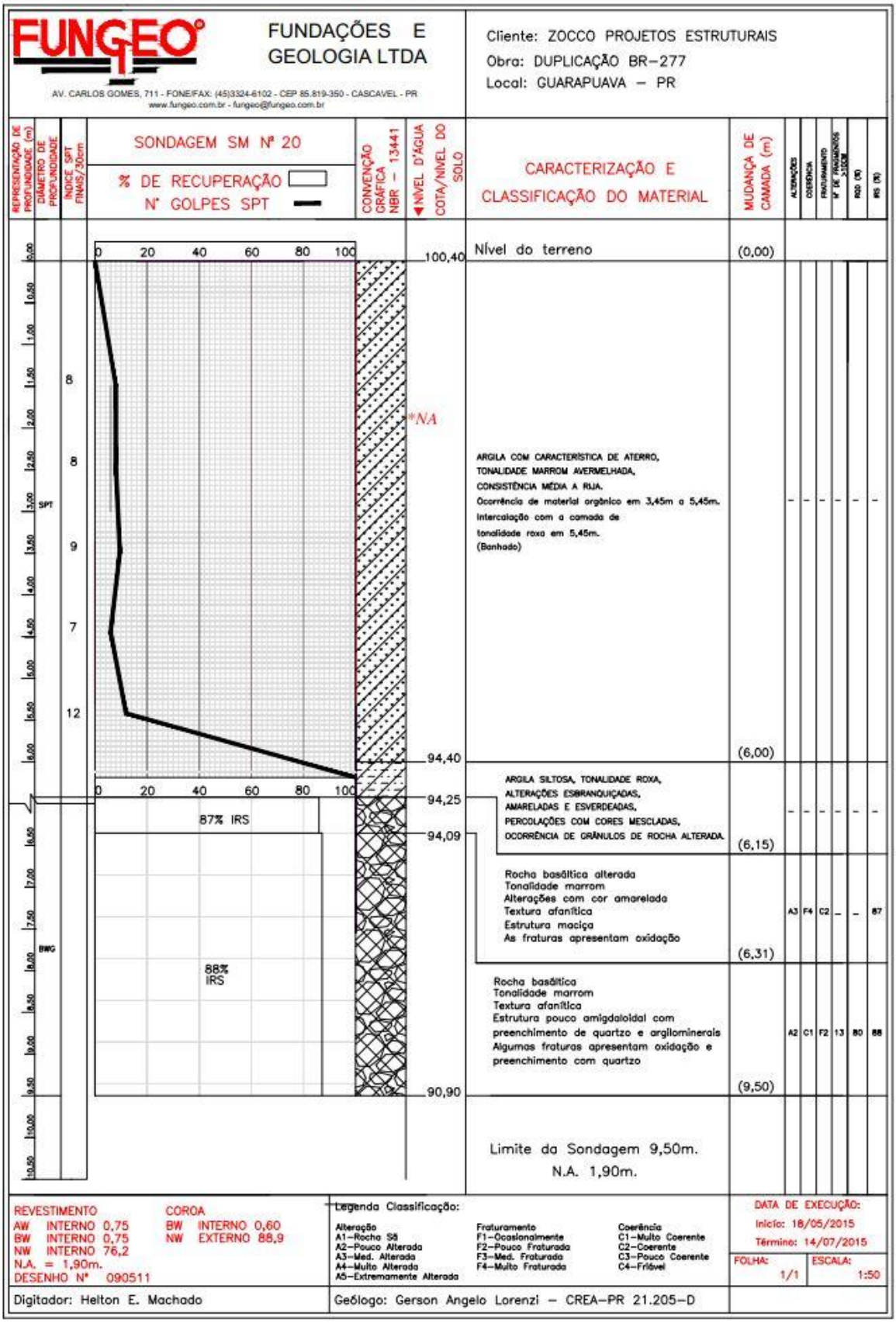


Figura 36 – locação dos pontos de sondagem

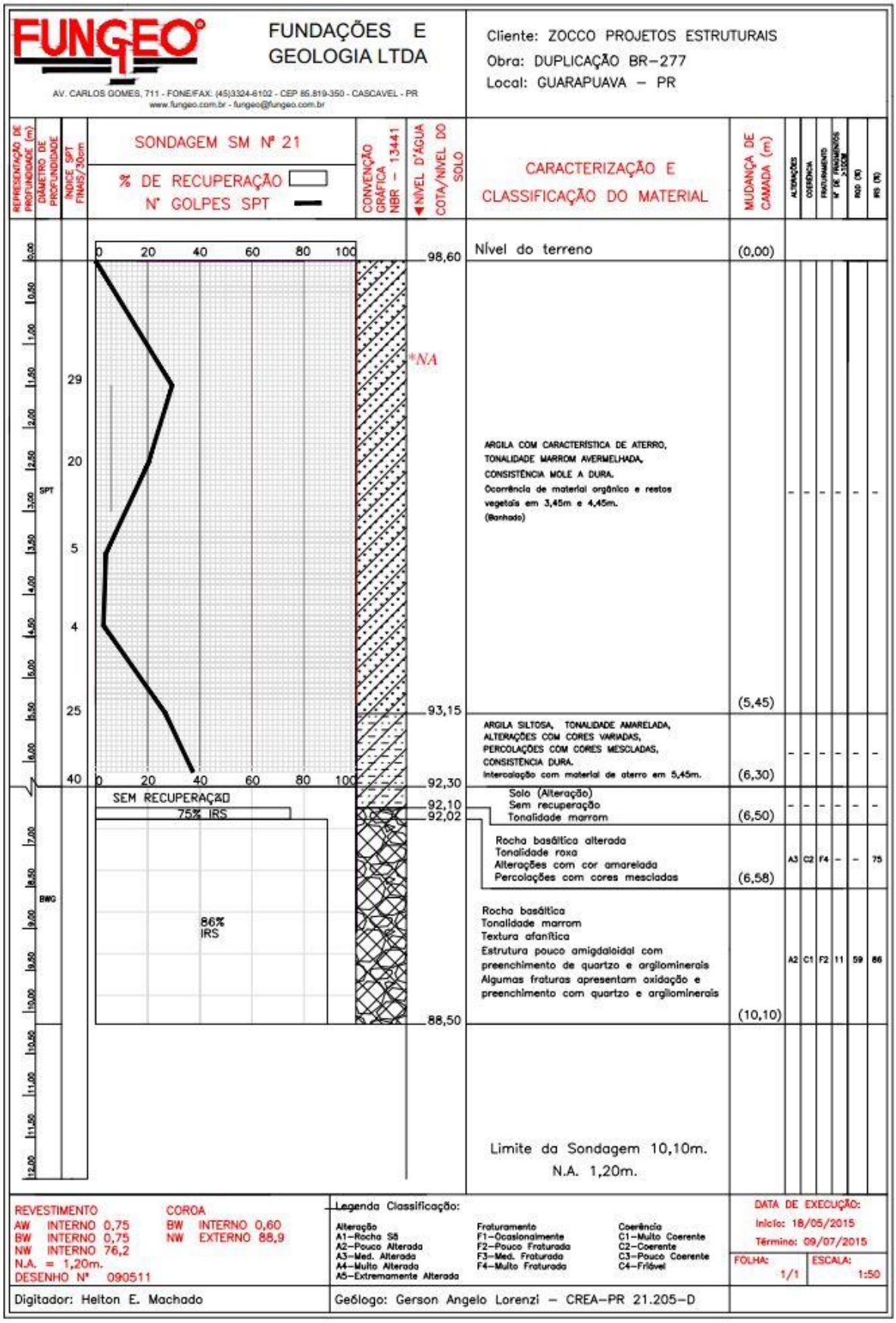
2.8.2 Ensaio – SPT 19



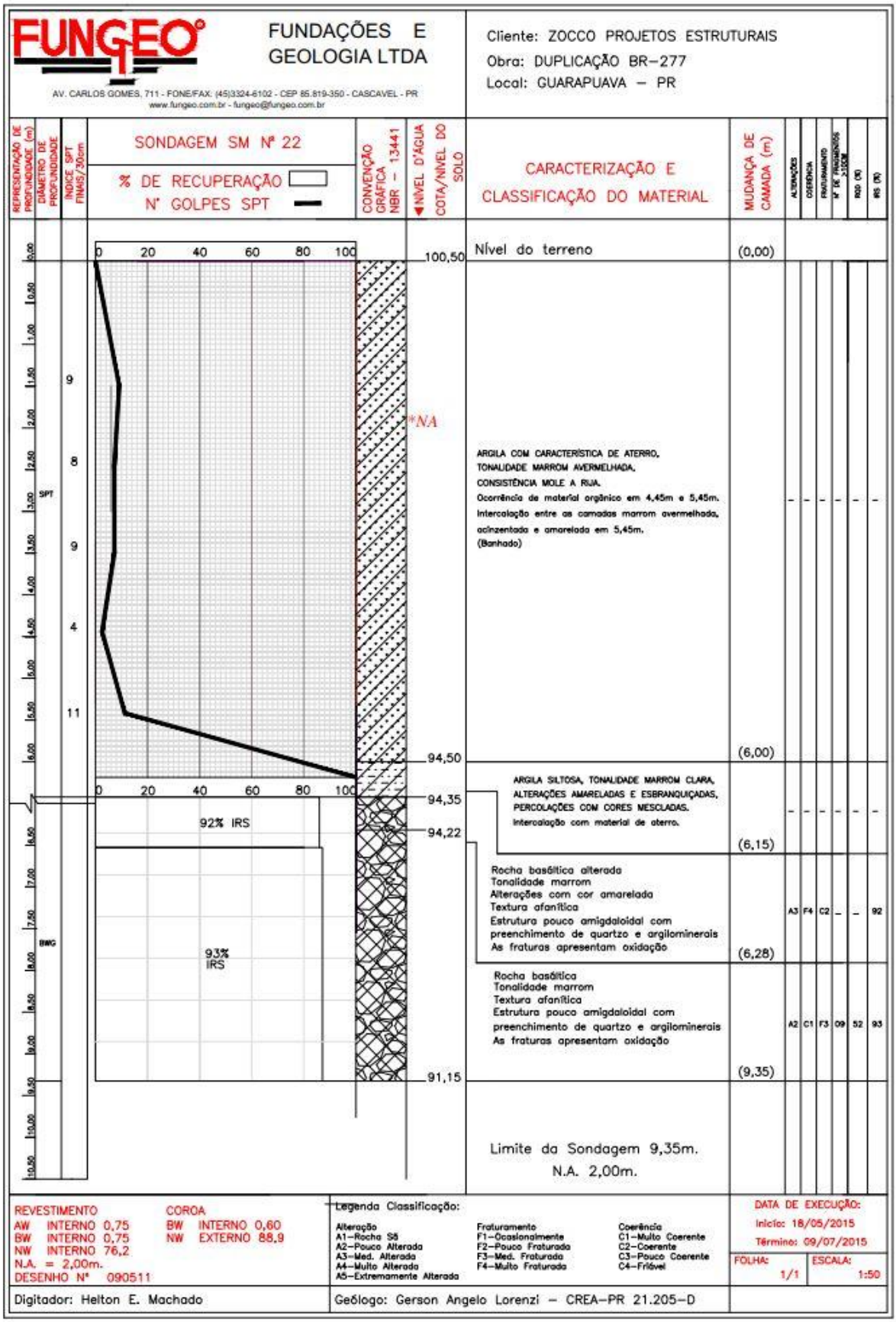
2.8.3 Ensaio – SPT 20



2.8.4 Ensaio – SPT 21



2.8.5 Ensaio – SPT 22



2.8.6 Estudo dos coeficientes de mola

Para os coeficientes de mola foi utilizado um CBR de 10%.

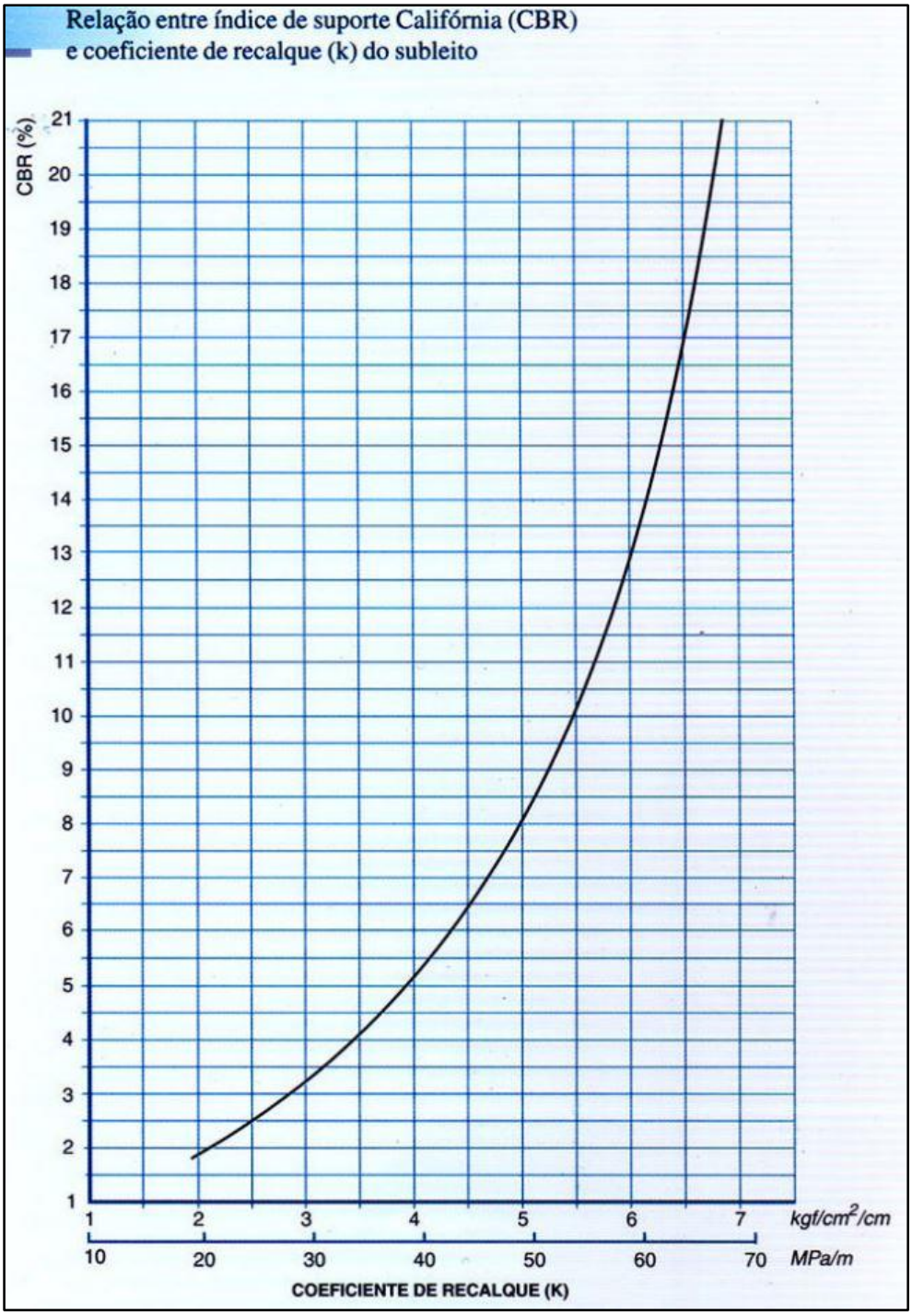


Figura 41 – Índice de suporte Califórnia

2.8.7 Verificação das tensões admissíveis do solo

A tensão admissível do solo foi obtida através do valor N, este valor é obtido a partira da resistência à penetração (SPT) média com o amostrador Raymond-Terzaghi, desse modo pode se estimar a tensão admissível como sendo:

$$\boldsymbol{\sigma_a = 0,02.N\ (MPa)}$$

Este valor é valido para qualquer tipo de solo natural no intervalo de $\mathbf{5 \leq N \leq 20}$. Com os valores apresentados em sondagem.

Sondagem SPT-19

$$\boldsymbol{N_{médio} = \frac{16+5+3}{3} = 8,0}$$

$$\boldsymbol{\sigma_a = 0,02x8,0 = \ 0,16\ (MPa) = 160\ (kPa)}$$

Sondagem SPT-20

$$\boldsymbol{N_{médio} = \frac{8+8+9}{3} = 8,33}$$

$$\boldsymbol{\sigma_a = 0,02x8,33 = \ 0,17\ (MPa) = 170\ (kPa)}$$

Sondagem SPT-21

$$\boldsymbol{N_{médio} = \frac{29+20+5}{3} = 18}$$

$$\boldsymbol{\sigma_a = 0,02x18 = \ 0,36\ (MPa) = 360\ (kPa)}$$

Sondagem SPT-22

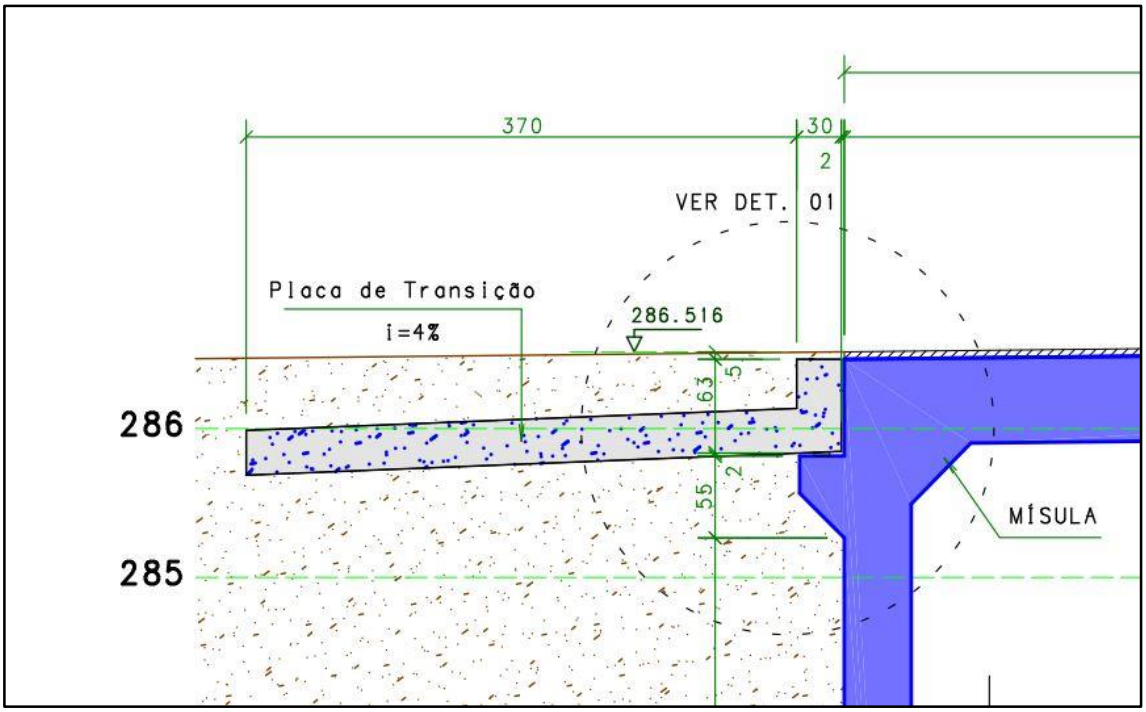
$$\boldsymbol{N_{médio} = \frac{9+8+9}{3} = 8,70}$$

$$\boldsymbol{\sigma_a = 0,02x8,70 = \ 0,17\ (MPa) = 170\ (kPa)}$$

Com estes valores foi adotado como tensão admissível do solo o valor de $150kPa$.

Com a verificação das tensões na base da trincheira foi encontrado o maior valor de tensão $1{,}00Kgf/cm^2 \ = \ 100\ kPa$.

2.9 Dimensionamento da Placa de Transição



- espessura da laje $= 20\ cm$
- comprimento da laje $= 415\ cm$
- aba da laje $= 63\ cm$
- espessura média do aterro $= (48{,}0 + 55{,}0)/2 = 52cm$

Carga permanente:

Peso próprio $= (0{,}20 \cdot 3{,}70 + 0{,}20 \cdot 0{,}69) \cdot 2{,}50 = 2{,}20\ t/m$

Aterro $= 0{,}52 \cdot 1{,}80/(2 \cdot 1{,}00) = 0{,}47\ t/m$

Carga permanente total	$= 2{,}70 ton/m$

Momento máximo:

$$M_{máx} = \frac{ql^2}{8} = \frac{2{,}70 \cdot 4{,}15^2}{8} = 5{,}81\ ton \cdot m$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot 0{,}85 \cdot f_{cd}} = \frac{5{,}81 \cdot 1{,}4}{1 \cdot 0{,}16^2 \cdot 0{,}85 \cdot 2143} = 0{,}148$$

$$\omega_d = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_d} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0{,}153} = 0{,}167$$

$$A_s = \frac{\omega_d \cdot b \cdot d \cdot 0{,}85 \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0{,}167 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 0{,}85 \cdot 21{,}43}{435} = 11{,}19cm^2$$

Armadura adotada $\boldsymbol{\phi\ 12{,}5mm\ c/10cm\ (A_s = 12{,}27cm^2/m)}$