

6

Análise – Método Clássico

No presente capítulo estão apresentados os resultados da análise (por equilíbrio limite) do problema geotécnico ilustrado no capítulo 5. Nos itens a seguir estão descritos o procedimento utilizado para a seleção dos parâmetros geotécnicos, bem como o dimensionamento detalhado dos elementos estruturais da cortina.

6.1 Investigação Geotécnica

Regionalmente, o perfil geotécnico e a seleção dos parâmetros geotécnicos geralmente são definidos com base apenas no ensaio SPT. Portanto, seguindo essa abordagem, as camadas foram definidas ao agrupar valores próximos de N_{SPT} , assim, foi possível dividir o subsolo do local estudado em 5 camadas (Figura 6.1). E, então, para a seleção dos parâmetros geotécnicos, foi tomado como referência o número de golpes (N_{SPT}) médio de cada camada e a descrição do material.

Os parâmetros necessários ao dimensionamento da estrutura de contenção pelo método clássico dependem das condições de drenagem (drenado/não drenado). Para análises em condições drenadas, os dados de entrada necessários são:

- Ângulo de atrito (ϕ');
- Coesão (c');
- Ângulo de atrito da interface solo-estrutura (δ - adotado $2/3$ de ϕ');
- Pesos específicos (γ - natural e saturado).

Esses parâmetros foram definidos para cada camada através da Tabela 4.4 e estão apresentados na Tabela 6.1.

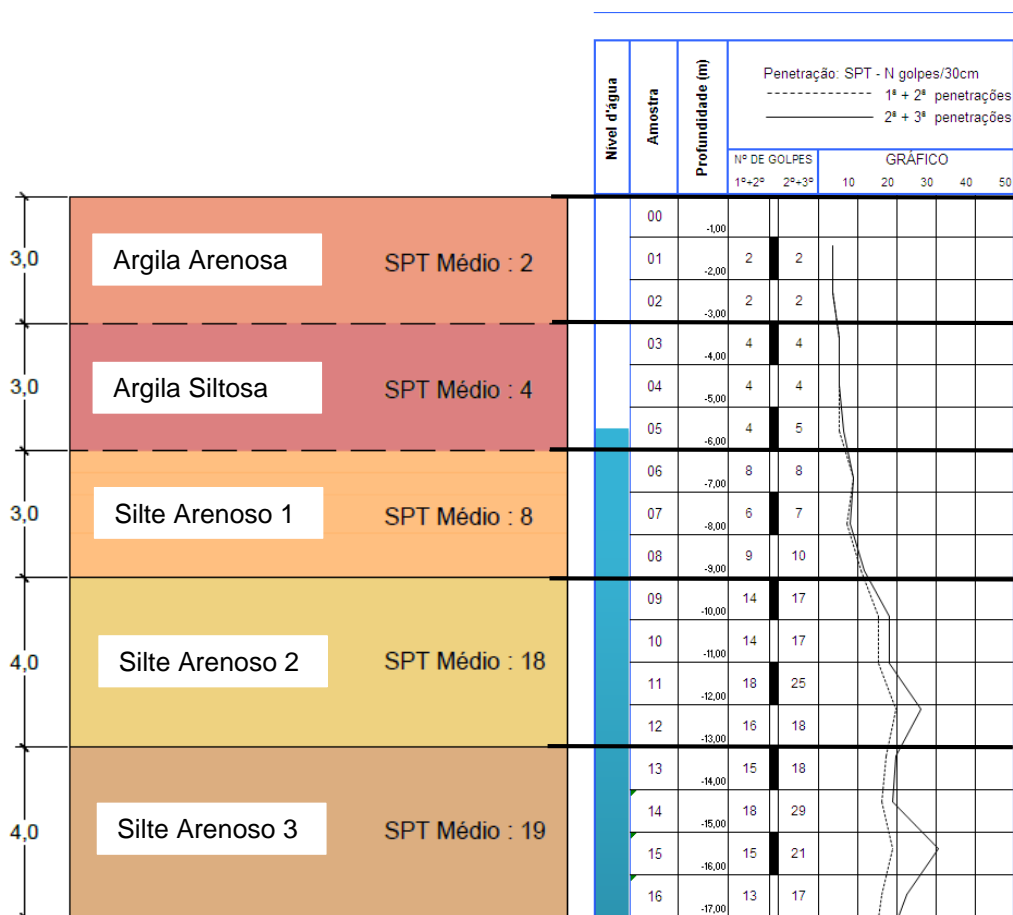


Figura 6.1 – Divisão das camadas do subsolo estudado.

Tabela 6.1 – Parâmetros utilizados no dimensionamento.

Camada	Prof.		SPT Médio	Peso Específico		Ângulo de Atrito do Solo ϕ' (°)	Ângulo de Atrito da Interface* δ (°)	Coesão (c') kPa
	0	3		Natural	Saturado			
	(m)	(m)		kN/m³	kN/m³			
1 Argila Arenosa	0	3	2	15	17	15	10	10
2 Argila Siltosa	3	6	4	18	19	23	15	15
3 Silte Arenoso 1	6	9	8	18	19	25	17	15
4 Silte Arenoso 2	9	13	18	19	20	26	17	20
5 Silte Arenoso 3	13	17	19	20	20	27	18	30

* - Ângulo de atrito da interface solo-estrutura $\delta = 2/3 \cdot \phi'$

6.2 Empuxo Passivo Mobilizado – Estruturas Descontínuas

Como descrito no item 3.1.4, em estruturas descontínuas como é o caso da cortina de perfil metálico com pranchas pré-moldadas, deve-se aplicar o fator de redução do empuxo passivo (E_M).

Com base nas formulações do item 3.1.4, foram calculados os fatores de redução do empuxo passivo para cada camada (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Empuxo passivo mobilizado.

Camada	Prof.		Ângulo de Atrito	Cap. de Arqueamento	Largura do Perfil	Largura Ajustada	Empuxo passivo mobilizado (%)
	(m)	(m)	ϕ' (°)		(m)	(m)	
1 Argila Arenosa	0	3	15	1,2	0,171	0,205	13,7%
2 Argila Siltosa	3	6	23	1,8	0,171	0,315	21,0%
3 Silte Arenoso 1	6	9	25	2,0	0,171	0,342	22,8%
4 Silte Arenoso 2	9	13	26	2,1	0,171	0,356	23,7%
5 Silte Arenoso 3	13	17	27	2,2	0,171	0,369	24,6%

Portanto, a partir dos valores apresentados na Tabela 6.2, foi adotado $E_M = 0,21$ para os estágios 1, 2, 3 e 4; e $E_M = 0,23$ para o estágio 5 e o estágio definitivo.

6.3 Resultados do Software – Sheet Pile Design

As Figuras 6.2 a 6.5 mostram os resultados, isto é, a altura total, as forças nos apoios e os esforços na estrutura (momento fletor e força cisalhante) fornecidos pelo software GEO (módulo Sheet Pile Design).

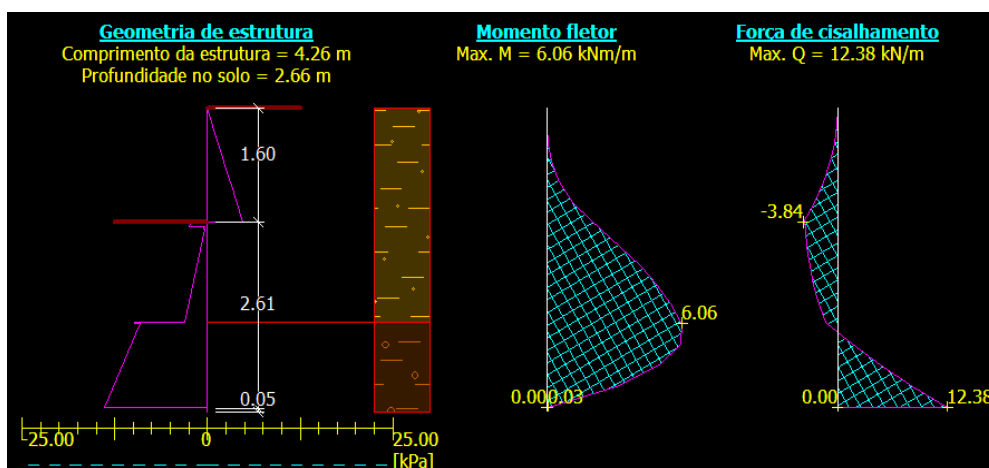


Figura 6.2 – Resultados do estágio 1.

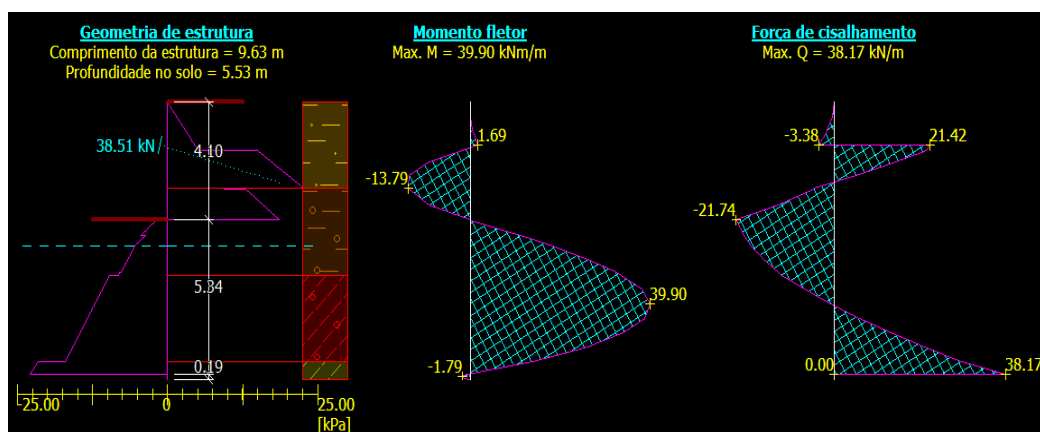


Figura 6.3 – Resultados do estágio 3.

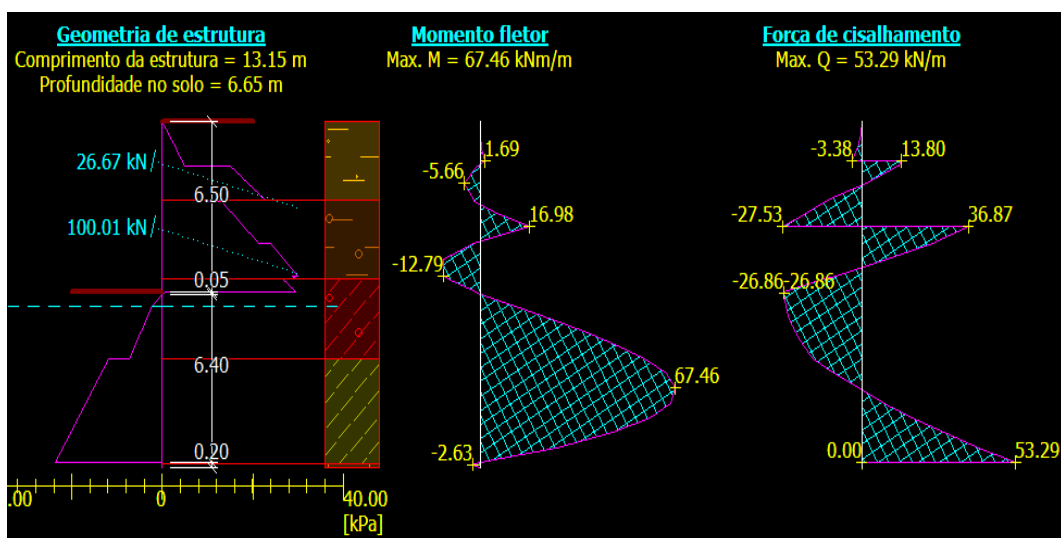


Figura 6.4 – Resultados do estágio 5.

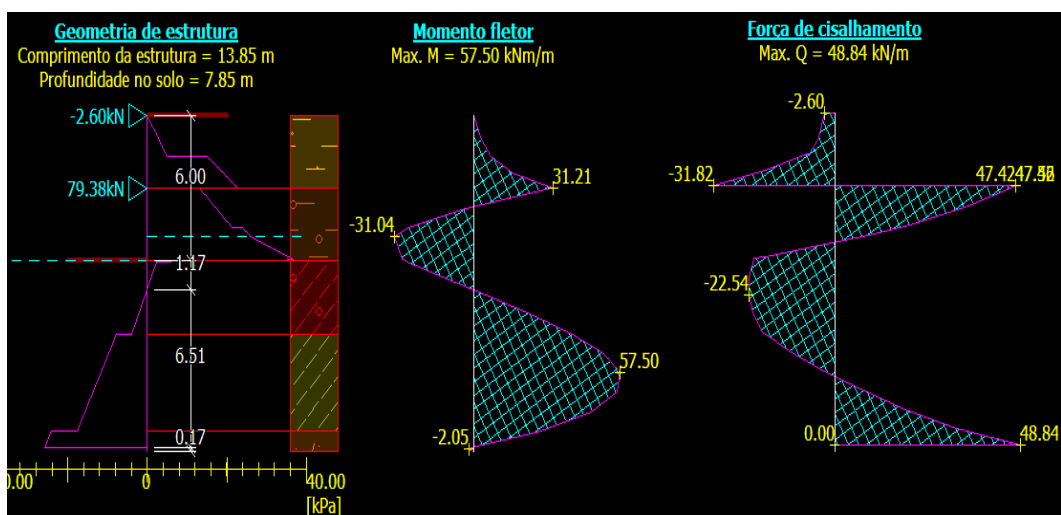


Figura 6.5 – Resultados do estágio definitivo.

O fator de segurança foi inserido na presente análise através da redução do empuxo passivo (empuxo resistente). Nos estágios 1 ao 5 o empuxo passivo foi reduzido em 40%, já para o estágio definitivo o empuxo passivo foi reduzido em 50%.

6.4 Dimensionamento Estrutural

Apesar de terem sido simuladas todas as etapas da sequência construtiva no software GEO 5, as análises realizadas pelo software são independentes, isto é, os dados dos estágios anteriores não são levados em consideração nos estágios seguintes (Figuras 6.2 a 6.5). Portanto, a altura total, as forças nos apoios

e os esforços na estrutura (momento fletor e força cisalhante) devem ser avaliadas caso a caso.

Por exemplo, a carga no tirante G1 (primeira linha de tirantes) é de 38,51 kN/m no estágio 3 (Figura 6.3), já no estágio 5, a carga é de 26,67 kN/m, essa redução ocorreu principalmente porque a profundidade enterrada da cortina passou de 5,53m para 6,65m, ou seja, houve uma redução na carga do tirante porque a estrutura passou a suportar mais carga. Portanto, caso seja adotada uma profundidade enterrada de 6,65m, a carga utilizada para o dimensionamento do tirante deve ser a do estágio 5 (26,67 kN/m).

Outro ponto que deve ser avaliado: a análise é realizada considerando o problema bidimensional, ou seja, é considerado que a cortina, os tirantes e as sobrecargas são contínuos. No entanto, na realidade há um certo espaçamento entre esses elementos.

Neste caso, na prática, considera-se que os elementos que compõem a cortina são contínuos e para o dimensionamento da estrutura de contenção são considerados os valores fornecidos pelo software (esforço por metro de cortina) multiplicados pelo espaçamento dos elementos no qual se deseja dimensionar. Por exemplo, para o dimensionamento dos tirantes as cargas são multiplicadas pelo espaçamento dos mesmos.

6.4.1 Prancha Pré-Moldada

Para o dimensionamento das pranchas pré-moldadas, a cortina foi dividida em dois trechos, sendo que o trecho 1 está entre as cotas +0,00 e -3,00 e o trecho 2 está entre as cotas -3,00 e -6,00 (ver Figura 6.6 (a)).

O carregamento que atua sobre a prancha pré-moldada foi calculado pelo programa GEO5 (módulo – Earth Pressure) Figura 6.6 (b) e esse carregamento é a soma do empuxo ativo do solo, do empuxo hidrostático e das tensões induzidas pelas fundações do edifício vizinho.

O procedimento adotado para o dimensionamento das pranchas pré-moldadas foi o seguinte:

- a estrutura de contenção foi dividida em trechos,
- o maior valor para cada trecho foi selecionado, e
- um coeficiente de majoração da carga de 1,4 foi aplicado sobre o valor selecionado no item II.

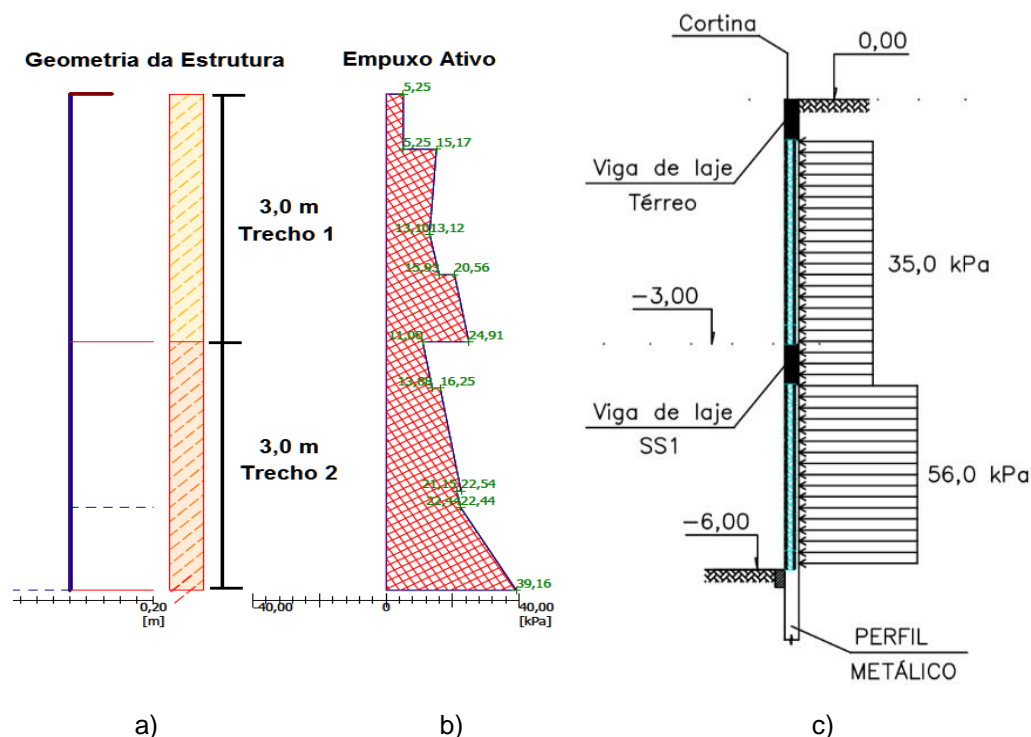


Figura 6.6 – Dimensionamento das pranchas pré-moldadas – a) Divisão da cortina em trechos – b) Empuxo calculado pelo software – c) Empuxo considerado para o dimensionamento do trecho.

Então, seguindo os procedimentos descritos acima, para o dimensionamento do trecho 1 foi considerado uma tensão de 35,0 kPa e, com base nessa tensão, foi determinado que a espessura da placa pré-moldada mais indicada para esse trecho é 12cm.

Já a tensão considerada para o dimensionamento do trecho 2 foi 56,0 kPa ($39,2 \times 1,4 = 56,0$ kPa) e, com base nessa tensão, foi determinado que a espessura da placa pré-moldada mais indicada para esse trecho é 15cm.

6.4.2 Tirantes

As cargas utilizadas para o dimensionamento dos tirantes foram os valores fornecidos pelo software no estágio 5 (Figura 6.4) multiplicados por 1,5, que corresponde ao espaçamento entre os tirantes.

Portanto, a carga utilizada para o dimensionamento da primeira linha tirante (G1) foi de 40,0 kN ($26,67 \times 1,5$) e para a segunda linha de tirantes (G2) foi de 150,0 kN ($100,0 \times 1,5$).

Já a resistência lateral unitária foi definida a partir de dados de ensaios de arrancamento de tirantes passivos, com diâmetro de 10cm de obras próxima ao local estudado e com condições semelhantes à analisada no presente trabalho

(Figura 6.7). Além disso, foi utilizado o método de Bustamante e Doix (1985) (Figura 3.44) como forma de verificação dos dados empíricos locais.

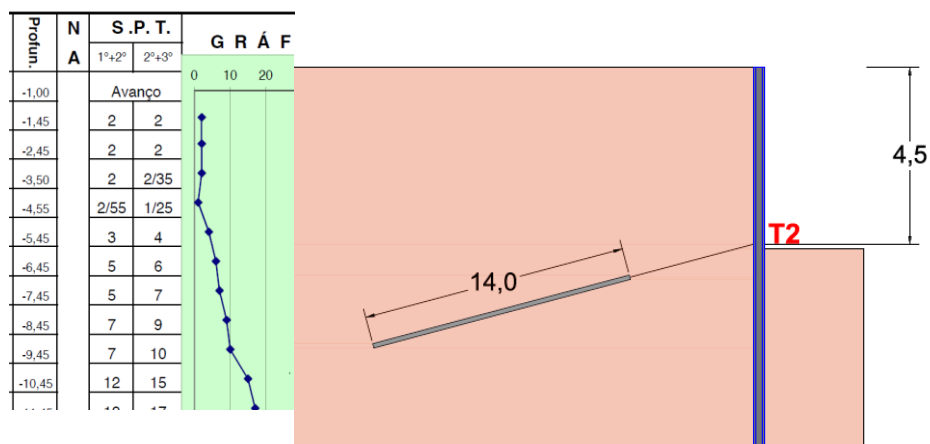


Figura 6.7 – SPT e esquema do grampo (obra próxima ao local estudado).

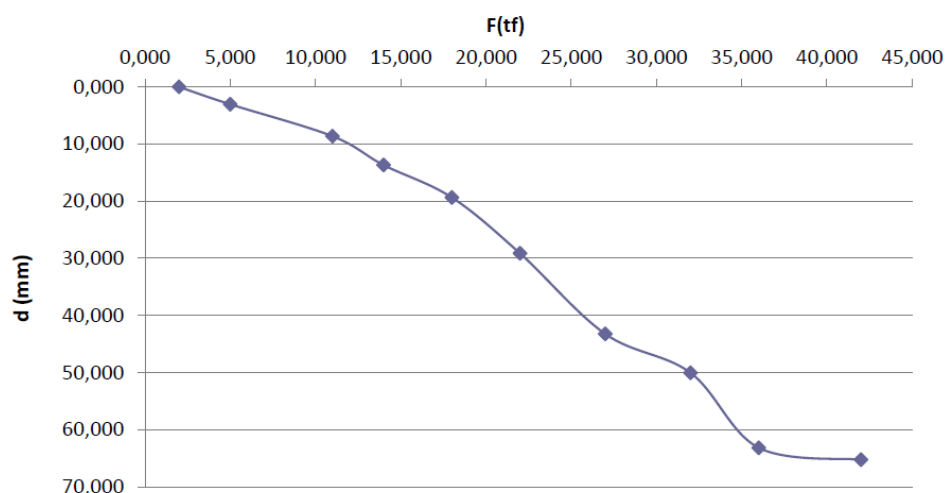


Figura 6.8 – Tensão- Deslocamento do ensaio de arrancamento do tirante T2 (solo no estado natural).

Após uma análise criteriosa dos dados disponíveis, foi admitido que a resistência lateral última do tirante G1 é $q_s = 60 \text{ kPa}$ e $q_s = 65 \text{ kPa}$ para o tirante G2 (Tabela 6.3). Utilizando-se as Equações 3.30 e 3.31, foram determinados os comprimentos dos trechos ancorados (Tabela 6.3 e Figura 6.10).

Tabela 6.3 – Dados utilizados no dimensionamento do tirante.

Tirante	NSPT	NSPT, 60	Comprimento do Trecho Ancorado	Resistência Lateral Unitária	Capacidade de Carga Última	Carga Admissível	Carga Atuante
			Ls (m)	q_s (kPa)	Q_u (kN)	Q_{ADM} (kN)	Q_d (kN)
G1	3	4	5,0	60,0	94,2	54	40
G2	6	7	13,0	65,0	265,5	152	150

Assim, o projeto dos tirantes ficou como mostrado na Figura 6.9, ou seja, o tirante G1 ficou com um comprimento total de 9,6 m (5,0m ancorado) e o G2 ficou com um comprimento total de 16,0m (13,0m ancorado).

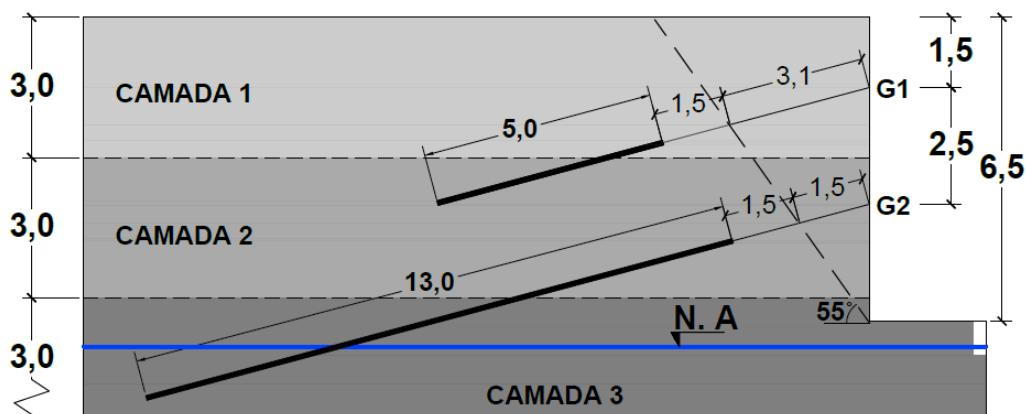


Figura 6.9 – Esboço dos tirantes.

6.4.3 Perfil Metálico

Os perfis metálicos foram dimensionados a partir do software Visual Metal®, este programa segue as especificações da norma NBR 8800:2008 (dimensionamento de estruturas metálicas). As cargas de projeto consideradas para o dimensionamento foram obtidas depois que os esforços máximos no perfil (Figura 6.4) foram multiplicados por 1,5 (corresponde ao espaçamento entre os perfis) e por um fator de segurança (FS=1,4 Norma de estruturas metálicas).

Tabela 6.4 – Esforços máximos calculados pelo software GEO5.

Fator de Segurança	ESFORÇOS			
	Carga Vertical	Força Cisalhante	Momento Fletor	
			X	Y
	N	V	Mx	My
(kN)	(kN)	(kN.cm)	(kN.cm)	
Não	30	80	10119	420
Sim	42	112	14167	588

Utilizando-se os dados da Tabela 6.4, foi determinado que o perfil indicado para a obra em questão é o W 360 x 51 (Figura 6.10) com 14m de comprimento.

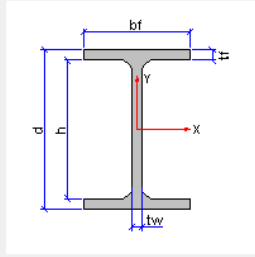
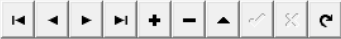
Identificação				
Perfil W 360 x 51				
Dimensões				
d	355 mm	Ag 64,8 cm ² Wx 801,2 cm ³		
tw	7,2 mm	P 51 kgf/m Wy 113,3 cm ³		
bf	171 mm	Ix 14222 cm ⁴ Zx 899,5 cm ³		
tf	11,6 mm	Iy 968 cm ⁴ Zy 174,7 cm ³		
		IT 24,65 cm ⁴		
				
Perfil indicado para elementos sujeitos à flexão composta (Ex.: vigas)				
				
Compr. Flambagem	Solicitações		Resultados	
Lflx 310,00 cm	Nd 42,00 kN	Rd(Nd) 1458,00 kN	OK!	
Lfly 60,00 cm	Vd 112,00 kN	Rd(Vd) 316,31 kN	OK!	
Lb 300,00 cm	Mdx 14167,00 kN.cm	Rd(Mdx) 18103,50 kN.cm	OK!	
	Mdy 588,00 kN.cm	Rd(Mdy) 3186,56 kN.cm	OK!	
		Rd(Md+Nd) 1,00 <= 1	OK!	

Figura 6.10 – Dimensionamento do perfil metálico pelo software Visual Metal.