

Análise da Estabilidade Externa de um muro de gabião próximo ao viaduto marginal botafogo

Analysis of the External Stability of a gabion wall near the botafogo marginal viaduct

JÚNIO, André Martins Matos

Eng° civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
Email: andreterabyte@gmail.com

VIANA, Paulo Márcio Fernandes.

Professor Dr., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
Email: paulo@ltec.eng.br

RESUMO

Com o aumento do tráfego de veículos na região sul de Goiânia, um novo viaduto foi construído para tentar solucionar os problemas com engarrafamentos naquela região. O viaduto encontra-se situado nas proximidades da canalização da marginal botafogo, a contenção lateral da canalização foi feita com gabiões. Em um dos lados do viaduto foi construída uma cortina de estacas justapostas para amenizar o empuxo causado pela construção do aterro e conseqüentemente as tensões que chegarão na base do muro e posteriormente descarregadas no solo. No trecho de estudo, nenhuma intervenção foi tomada para amenizar o acréscimo de empuxo que chegará na estrutura de gabião. O estudo a seguir calculará o comportamento do muro de gabião após o acréscimo de carga devido a construção do viaduto.

Palavras-chaves: gabiões, fundação, tensões.

ABSTRACT

With the increase of the car traffic on the Southern region of Goiânia, a new viaduct was built to try solving the problems with traffic jams on that region. The viaduct is really close to the channeling of river botafogo, the lateral containment was built with gabions. In one of the sizes of the viaduct was built a curtain of juxtaposed piles to alleviate the thrust caused by the construction of the landfill and consequently the stress that will act on the base of the wall and then discharged into the soil. On the site of study, none interventions were made to alleviate the increase of thrust which will act on the gabion's structure. The presente paper will calculate the gabion wall's behaviour after the addition of loading due to the viaduct.

Key Words: gabions, foundation, stress.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a ascensão da população brasileira para a classe média, fez com que o tráfego de veículos em grandes cidades aumentasse de forma preocupante. Goiânia já sofre com este acentuado aumento de veículos, a cidade que conta apenas com algumas vias de acesso rápido, teve a sua principal via sendo bastante prejudicada com um gargalo de automóveis. A solução adotada pelas autoridades responsáveis, foi a criação de um viaduto entre a marginal botafogo e avenida “A”, avenida “E” e rua 88 entre o Jardim Goiás e Setor Sul.

A marginal botafogo, está situada às margens do córrego botafogo, no município de Goiânia, a canalização conta com trechos de concreto e trechos com muro de gabião nas paredes laterais e revestimento em colchão Reno argamassado no fundo do canal. O trecho para análise de estudo é composto por um muro de contenção a gravidade, conhecido como muro de gabião.

Este trabalho tem o objetivo calcular a estabilidade externa muro de gabião localizado próxima ao viaduto da marginal Botafogo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estrutura de contenção

Para Barros (2010) estruturas de contenção ou de arrimo são obras civis construídas com a finalidade de prover estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha. São estruturas que fornecem suporte a estes maciços e evitam o escorregamento causado pelo seu peso próprio ou por carregamentos externos.

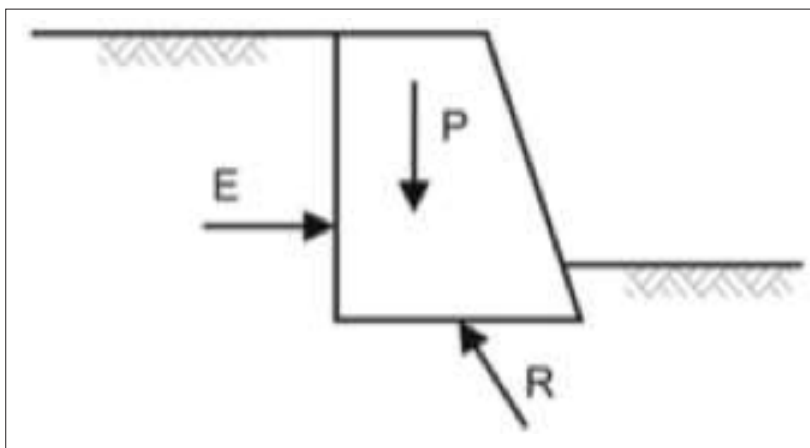
Segundo Medeiros (2005) a contenção é feita pela introdução de uma estrutura ou de elementos estruturais compostos, que apresentam rigidez distinta daquela do terreno que conterà.

A engenharia moderna de obras de contenção teve seu início com o trabalho de Coulomb publicado em 1776, sobre cargas de máximos e mínimos aplicadas a estrutura de arrimo. No Brasil essas estruturas começaram a se difundir a partir do século 18 por meio de construção de fortes costeiros e no próximo século foi dado início a obras portuárias e obras de contenção urbana. (Hachich, 2002)

2.2 Estrutura de contenção a gravidade

São estruturas corridas, flexíveis, que se opõe aos empuxos horizontais pelo peso próprio. Em geral, são empregadas para conter desníveis pequenos ou médios, inferiores a cerca de 5 metros.

Figura 1 – Forças que atuam em um muro de peso – Fonte: GEO RIO 2014



A principal vantagem de uma obra de contenção a gravidade é a sua simplicidade de execução não sendo necessário ter uma mão de obra especializada. Um dos únicos cuidados que devem ser tomados é em relação a altura de solo a ser contida, pois quanto mais alto mais complicado será a estabilização desta contenção.

As estruturas de contenção podem ser separadas em duas modalidades:

a) Estruturas rígidas: Construídas com materiais que não toleram deformações (ex.: concreto ciclópico, pedra argamassada)

b) Estruturas flexíveis: São estruturas que aceitam uma faixa tolerável de deformação, dentro dos limites aceitáveis (ex.: gabiões, blocos articulados, muros de contenção em solo reforçado) (Hachich, 2002)

2.2.1 Muro de concreto ciclópico

Segundo Gerscovich (2009) este tipo de muro só é viável quando sua altura não é superior aos 4 metros. O muro de concreto ciclópico é uma estrutura construída mediante ao preenchimento de uma fôrma com concreto e blocos de rocha de variadas dimensões. Pelo fato da impermeabilidade do muro, torna-se indispensável a utilização de drenos.

Figura 2 – Muro de concreto ciclópico – Fonte: UERJ



2.2.2 Muro de pedra argamassada

São muros compostos por blocos de rocha de dimensões variadas onde os seus vazios são preenchidos por argamassa de cimento e areia. Esse arranjo com pedras de dimensões variadas, bem como seu rejuntamento, confere maior rigidez no muro, possibilitando seu uso em contenções de taludes com alturas de até 3 metros. É necessário o uso de dispositivos usuais de drenagem, tais como dreno de areia ou geossintético no tardo e tubos barbancãs para alívio de poropressões na estrutura de contenção (Carvalho, 1991).

Figura 3 – Muro de Pedra argamassada – Fonte Prefeitura de Rio Claro (2013)



2.2.3 Muro de contenção em solo reforçado

O conceito de solo reforçado consiste em uma técnica onde é introduzido na massa de solo compactado um elemento resistente a tração, que aumenta a resistência e diminui a deformação do maciço.

A partir da técnica de terra armada patenteada pelo francês Henry Vidal, na década de 60, após estudos e desenvolvimento de novos materiais para servir como reforço, foi criado o reforço metálico (barras de aço) para ser utilizado em obras de contenção. Após anos surgiram reforços constituídos por materiais poliméricos.

A introdução de elementos resistentes num maciço terroso, não conduz, em geral, a um melhoramento das características próprias do solo, mas sim um melhoramento mecânico global da estrutura, mediante a transferência de esforços do solo para o elemento de reforço (Borges, 1995 apud Santos 2014).

Figura 4 – Muro de contenção em solo reforçado – Fonte Geosynthetic (2015)





2.2.4 Gabiões

De origem italiana os gabiões já são um modelo de contenção bastante difundido. Foram empregados pela primeira vez no final do século XIX.

São elementos modulares, com formas variadas, confeccionados a partir de telas metálicas em malha hexagonal de dupla torção que, preenchidos com pedras de granulometria adequada e costurados juntos, formam estruturas destinadas à solução de problemas geotécnicos, hidráulicos e de controle de erosão. Todas as unidades são unidas entre si por meio de um arame de amarração fazendo com que a estrutura seja monolítica (Barros, 2010)

Segundo Gerscovich (2009), os muros de gabião são constituídos por gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção. As dimensões usuais dos gabiões são: comprimento de 2m e seção transversal quadrada com 1m de aresta. No caso de muros de grande altura, gabiões mais baixos (altura = 0,5m), que apresentam maior rigidez e resistência, devem ser posicionados nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são mais significativas. Para muros muito longos, gabiões com comprimento de até 4m podem ser utilizados para agilizar a construção.

2.3 Gabiões tipo caixa

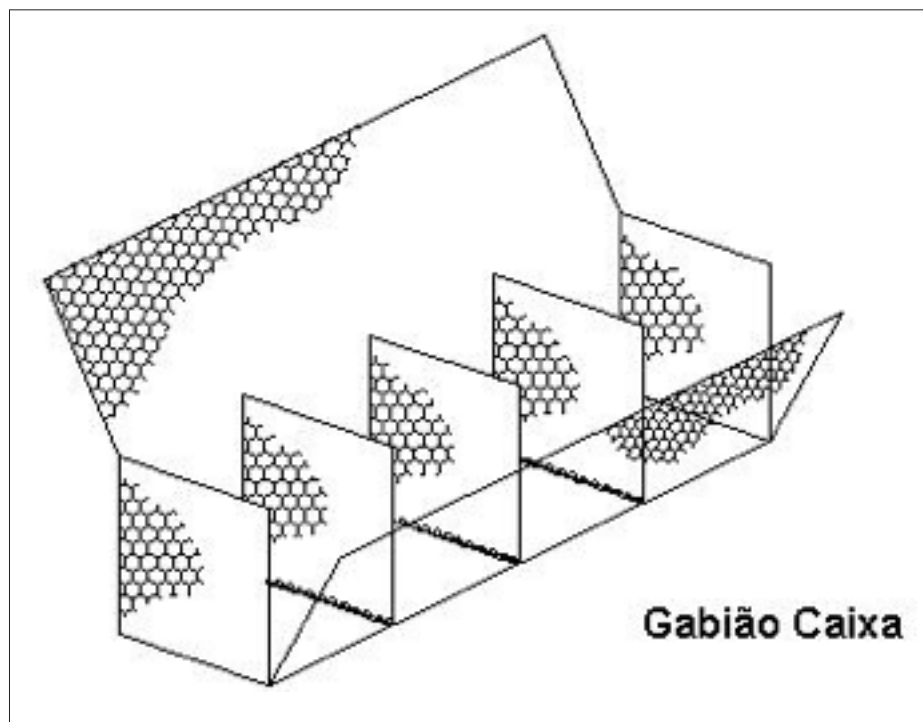
O gabião tipo caixa é uma estrutura metálica, em forma de paralelepípedo, produzida a partir de um único pano de malha hexagonal de dupla torção, que forma a base, a tampa e as paredes frontal e traseira. A este pano base, são unidos, durante a fabricação, painéis que formarão as duas paredes das extremidades e os diafragmas.

Depois de retirado do fardo, cada elemento deve ser completamente desdobrado e montado em obra, assumindo a forma de um paralelepípedo. E posteriormente transportado e instalado, conforme definido em projeto e amarrado ainda vazio, aos gabiões adjacentes.

Deve ser preenchido com material pétreo, com diâmetro médio nunca inferior à menor dimensão da malha hexagonal.

A rede, em malha hexagonal de dupla torção, é produzida com arames de aço com baixo teor de carbono, revestidos com uma liga de zinco, alumínio (5%) e terras raras (Revestimento Galfan) que confere proteção contra corrosão. (Barros, 2010)

Figura 6 – Gabião tipo caixa – Fonte: Maccaferri (2010)



3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como princípio metodológico calcular as condições de equilíbrio (Capacidade de carga, Deslizamento e Tombamento) de um muro de gabião nas proximidades do viaduto construído na marginal bota fogo no município de Goiânia-GO.

O viaduto sobre a marginal bota fogo, avenida 88 e avenida "A" situado entre o setor Sul e Jardim Goiás foi construído conforme se descreve a seguir.

A via expressa SN foi executada em aterro cuja inclinações dos taludes é de 1v : 1,5h. A via expressa NS foi executada em terra armada uma vez que não há área disponível para as saias de aterro.

Figura 7 – Aterro da via expressa SN

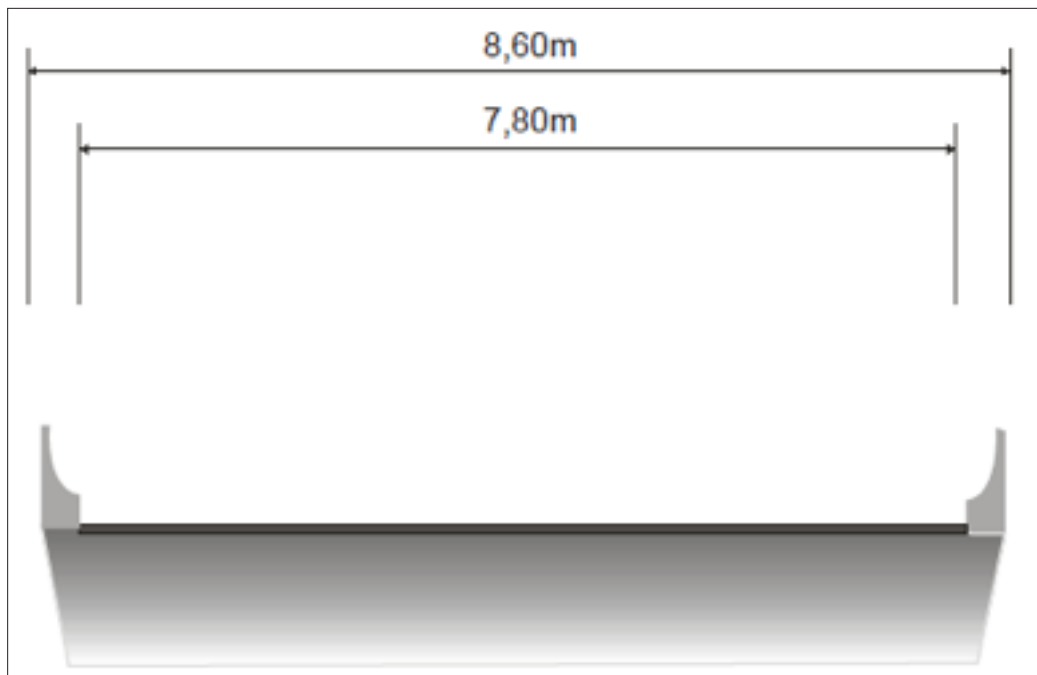


Figura 8 – Via expressa NS executada em terra armada



A seção transversal do viaduto a ser analisado é apresentado conforme figura abaixo:

Figura 9 – Seção transversal dos viadutos.
Fonte: Relatório de projeto BASITEC (2010)



A via expressa NS foi executada em terra armada. Foram construídas estacas com o intuito de melhorar as condições de estabilidade do maciço de terra, pois o mesmo se encontra nas proximidades de uma estrutura de gabião já existente na canalização do córrego botafogo.

Já a via expressa SN onde a execução foi feita em aterro não foi feito nenhum tipo de intervenção em relação as estruturas de gabião da canalização. Embora o maciço de solo para a execução do viaduto esteja um pouco mais afastado da estrutura de

gabião, o acréscimo de peso devido a criação do aterro afeta diretamente nas condições de segurança do muro de gabião. Vale ressaltar que quando a estrutura de gabião foi construída não foram considerados essas alterações na via de acesso, contudo, o intuito deste trabalho é calcular o comportamento do muro de gabião próximo ao aterro da via SN.

A metodologia para o alcance dos resultados desejados será feita através de um software chamado Macstars 2000.

O programa foi desenvolvido para verificação de estabilidade de solos reforçados, isto é, estruturas que conferem estabilidade de taludes usando unidades de reforço capazes de absorver as tensões de tração. Além de permitir a análise de estruturas de contenção à gravidade usando o mesmo princípio.

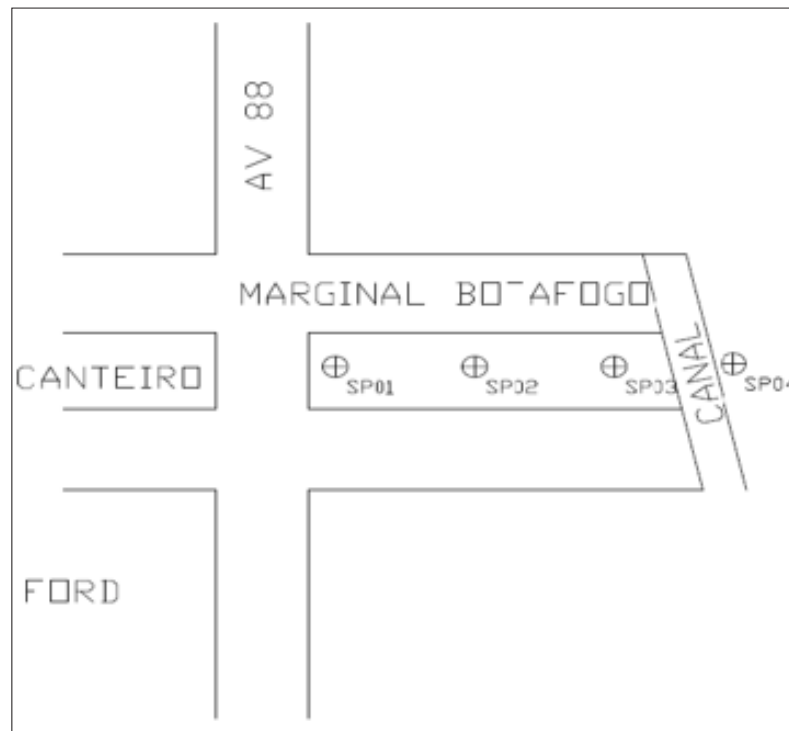
O programa permite conduzir as verificações de estabilidade usando o Método do Equilíbrio Limite também considerando taludes não reforçados.

Em pesquisa no relatório do projeto executivo da obra do viaduto não foram encontradas informações a respeito do solo (peso específico, ângulo de atrito e coesão). Estas informações são cruciais para o cálculo de um estrutura de contenção.

Embora o ensaio para obtenção das características de solo não ter sido feito é possível fazer uma correlação com o ensaio SPT e contudo prever a característica do solo de fundação da estrutura de gabião.

Para a construção do viaduto foram executados quatro furos de sondagem, conforme figura abaixo:

Figura 10 – Disposição dos furos de sondagem SPT
Fonte: Mastersolo Engenharia (2013)



Os relatórios de sondagem serão apresentados nas próximas tabelas.

Figura 11 – Perfil de sondagem SP 01 – Fonte: Mastersolo Engenharia (2013)

Prof (m)	N.A.	Nspt	Tipo de solo
-1,00		-	Argila arenosa
-2,00		2	Argila Siltosa
-3,00		2	Silte Argiloso
-4,00		4	Silte Arenoso
-5,00		13	Silte Arenoso
-6,00		14	Silte Arenoso
-7,00		13	Silte Arenoso
-8,00		14	Silte Micaceo
-9,00		15	Silte Micaceo
-10,00		17	Silte Micaceo
-11,00		22	Silte Micaceo
-11,45		31	Silte Micaceo

Figura 12 – Perfil de sondagem SP 02 – Fonte: Mastersolo Engenharia (2013)

Prof (m)	N.A.	Nspt	Tipo de solo
-1,00	-	-	Argila arenosa
-2,00		4/28	Argila arenosa
-3,00		1/12	Areia média
-3,04		impenetrável	Silte arenoso

Figura 13 – Perfil de sondagem SP 03 – Fonte: Mastersolo Engenharia (2013)

Prof (m)	N.A.	Nspt	Tipo de solo
-1,00		-	Argila arenosa
-2,00		2/23	Argila arenosa
-3,00		2/27	Argila arenosa
-4,00		6/34	Silte arenoso
-5,00		14	Silte arenoso
-6,00		14	Areia média
-7,00		16	Areia média
-8,00		29	Silte arenoso

Figura 14 – Perfil de sondagem SP 04 – Fonte: Mastersolo Engenharia (2013)

Prof (m)	N.A.	Nspt	Tipo de solo
-1,00		-	Argila arenosa
-2,00		6/33	Argila arenosa
-3,00		4/36	Argila arenosa
-4,00		5/29	Areia média
-5,00		7	Silte argiloso
-6,00		12	Silte argiloso
-7,00		40	Silte argiloso

Conforme mencionado anteriormente, é possível fazer uma correlação empírica entre o SPT e os parâmetros de solo (coesão, ângulo de atrito e peso específico) (Bowles, 1997)

Logo, fazendo-se uma média entre os furos e seus respectivos Nspt's pode-se afirmar que o solo de fundação da estrutura de gabião terá os seguintes parâmetros:

- Peso específico natural: 19 kN/m³
- Peso específico saturado: 20 kN/m³
- Ângulo de atrito efetivo: 26 °
- Coesão efetiva: 2 Kpa

É importante ressaltar que os parâmetros do solo foram estimados através da tabela: Avaliação de Parâmetros dos Solos em Função do Estudo de Compacidade ou Consistência (Bowles – 1997) e que o seu uso é limitado a estudos preliminares.

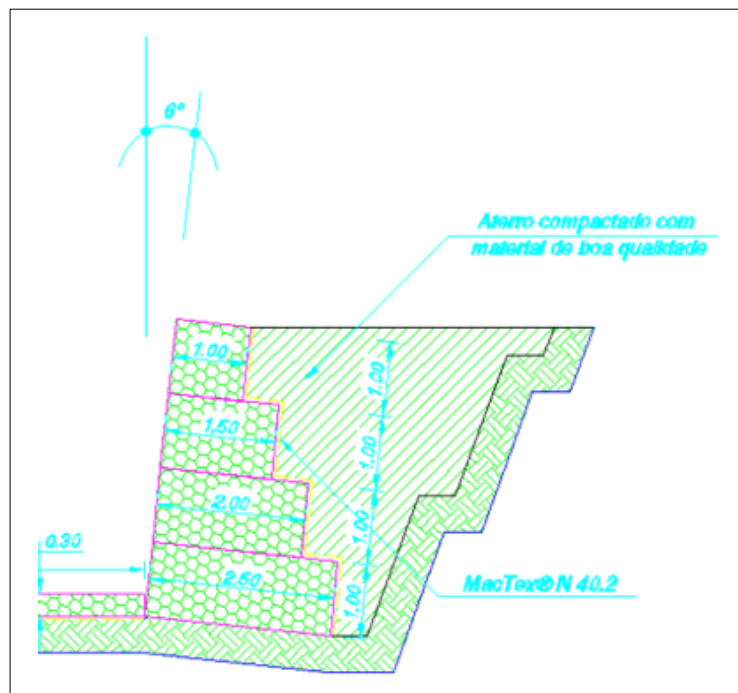
Como o solo de aterro, geralmente, é um solo de melhor qualidade e afirmando que foi feita uma boa compactação do material, os parâmetros do solo utilizado serão os seguintes:

- Peso específico natural: 18 kN/m³
- Peso específico saturado: 19 kN/m³
- Ângulo de atrito efetivo: 28 °
- Coesão efetiva: 5 Kpa

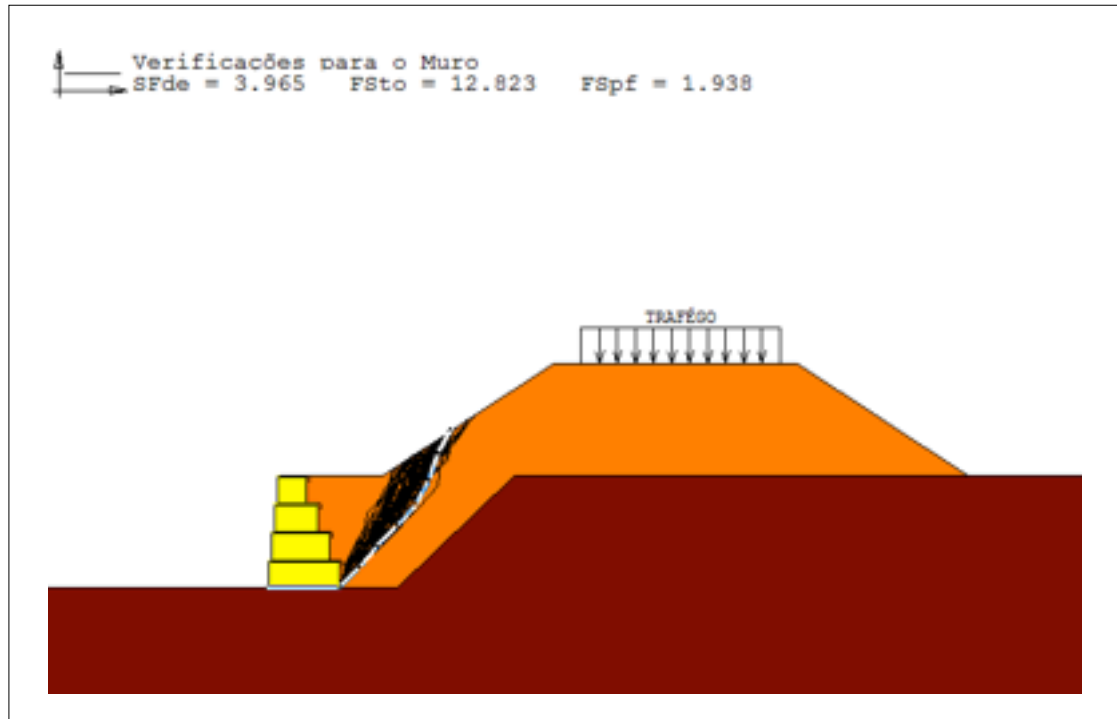
Como a estrutura de gabião fica próxima de uma pista é importante ressaltar a importância de se definir uma sobrecarga proveniente do tráfego daquela região. De acordo com a NBR 7188/84, considerando uma ponte de Classe 45, onde a base do sistema é um veículo tipo de 450 kN de peso total, tem-se que a carga distribuída na pista é de 5 kN/m².

Outra informação muito importante para a fase de análises do estudo proposto é a definição da seção transversal do muro de contenção em gabião na canalização do córrego botafogo.

Figura 15 – Seção transversal do muro de gabião
Fonte: Maccaferri



Com todos os dados recolhidos, agora é possível calcular as condições de equilíbrio da estrutura de contenção. Para este estudo será utilizado o software MacStars.



De acordo com Instrução de Projeto de muro de arrimo DER/SP (2005) a estabilidade do muro de arrimo deve ser analisada quanto ao tombamento, deslizamento e capacidade de carga da fundação.

O fator de segurança ao tombamento é definido pela relação entre os momentos estabilizantes (ΣM_{est}) e os momentos instabilizantes (ΣM_{inst}). Pode ter como referência o ponto fixo localizado na extremidade da base do muro, do lado do paramento externo.

$$FS = \frac{\Sigma M_{est}}{\Sigma M_{inst}} \geq 2,0$$

Os momentos estabilizantes são decorrentes do peso do muro e, quando houver, peso do solo sobre a base ou paramento interno do muro. No caso de maciços reforçados, devem ser considerados os esforços de tração de cada elemento.

Os momentos instabilizantes são decorrentes do empuxo do solo, do empuxo hidrostático e das cargas acidentais horizontais.

Também deve ser verificada a estabilidade da fundação do muro; as tensões normais solicitantes no maciço devem ser comparadas às tensões de ruptura do solo de tal modo que:

$$\frac{\sigma_{rupt}}{\sigma} \geq 3,0$$

$$\sigma_{rupt} = c * N_c * S_c + q * N_q * S_q + 0,5 * B * N_\gamma * S_\gamma$$

Fórmula de ruptura geral de Terzaghi

Onde:

c: coesão do solo (N/m²);

q: carga distribuída (N/m²);

γ : peso específico do solo (N/m³);

B: menor dimensão da base do muro (m);

N_c , N_q e N_γ : parâmetro de capacidade de carga

S_c , S_q e S_γ : Fatores de forma

A distribuição de tensões na base do muro deve supor uma distribuição linear do tipo:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

Onde:

N; força normal (N);

A: área da base (m²);

$M = \sum M_{est} - \sum M_{inst}$ (N.m);

W: módulo resistente (m³);

As dimensões da fundação direta devem seguir os seguintes critérios a seguir:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq 1,3 * \sigma_{\text{adm}} = 1,3 * \frac{\sigma_{\text{rup}}}{3}$$

$$\sigma_{\text{média}} = \frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} \leq \sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_{\text{rup}}}{3}$$

$$\sigma_{\text{mín}} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} \geq 0$$

Nessa condição tem-se a força resultante vertical dentro do núcleo central de inércia, evitando-se qualquer esforço de tração na base.

No caso de deslizamento, o muro de arrimo deve atender às condições de segurança quanto ao deslizamento pela relação entre a somatória dos esforços estabilizantes (Fest) e os esforços instabilizantes (Finst).

$$FS = \frac{\sum F_{\text{est}}}{\sum F_{\text{inst}}} \geq 1,50$$

Os esforços estabilizantes compreendem a resistência ao deslizamento; neste caso, é a força de atrito na interface entre o muro e o solo, que é igual ao peso do muro multiplicado pelo coeficiente de atrito, que depende da rugosidade da base e do ângulo de atrito efetivo do solo ϕ' . A garantia dessa condição sugere cuidados construtivos tais como não afogar, amolgar ou encharcar o solo da fundação e executar um lastro com brita apiloada para receber a concretagem da base.

Os esforços instabilizantes são compreendidos pelo empuxo de solo, considerando a submersão na profundidade correspondente do empuxo hidrostático e cargas acidentais horizontais (Ea).

$$FS = \frac{\sum F_{\text{est}}}{\sum F_{\text{inst}}} = \frac{P * \tan\phi'}{Ea + Ep}$$

Onde:

Ep: empuxo passivo considerado na base do muro (N/m²)

$\tan\phi'$: coeficiente de atrito na interface entre a base e o solo.

4 RESULTADOS

Segundo relatório gerado pelo software MacStars, seguem os resultados obtidos na análise:

- Tensão admissível na Fundação (kN/m²): 145,04
- Força Horizontal Máx (kN/m): 24,72
- Fator de segurança contra o deslizamento: 3.965
- Momento Máx. de Tombamento (kN*m/m): 19.95
- Fator de Segurança contra o tombamento: 12.823
- Pressão Máx na Fundação (kN/m²): 74.86
- Fator de Seg. da Capacidade de Suporte do solo de apoio: 1.938

5 CONCLUSÕES

De acordo com a norma NBR 11682: Estabilidade de Encostas os fatores de segurança para muros de contenção a gravidade ou muros de flexão deverão ser os seguintes:

- Tombamento: 2,0
- Deslizamento: 1,5
- Capacidade de carga da fundação: 3,0

Logo, pode se concluir que o muro estudado apresenta boas condições de estabilidade no quesitos tombamento e deslizamento deixando certa incerteza em relação a sua fundação. Mas como para a obtenção dos parâmetros do solo foi utilizado uma tabela de método empírico, a faixa de erro é grande podendo assim justificar o fator de segurança da fundação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, P. L. de A. Manual técnico de obras de contenção. Maccaferri, 2010.

BORGES, J.M.L, Aterro sobre solo moles reforçados com geossintético, 1995.439p.
Dissertação de Doutorado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
Bowles, J.E. Foundation Analysis and Design, 5 Ed.
Illinois 1997

CARVALHO, P. A. S. de Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 388 p.
Caso de Obra: Muro de contenção em solo reforçado da Arena Corinthians.
Disponível em: <<http://geosynthetica.net.br/caso-de-obra-solo-reforcado/>>. Acesso em 16 jan 2015, 20:00:00.

DER/SP – Instrução Projeto Muro de Arrimo.
São Paulo 2005

GEO-RIO, 2014 - Secretaria Municipal de Obras.
Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, Manual Técnico de Encostas: Volume I, Rio de Janeiro.
Geogrelha Fortrac, Especificações Técnicas.
Disponível em:
<http://www.huesker.com.br/produtos/geossinteticos/fortrac.html/>>. Acesso em 16 jan 2015, 19:58:35

Gerscovich, D. M. S. Estruturas de Contenção Muros de arrimo UERJ, Rio de Janeiro 2009

MEDEIROS, A. G. B & Cunha, R.P. (2005). Retroanálise de Uma Estrutura de Contenção do Tipo Estaca Prancha no Distrito Federal. INFOGEO 2005. Belo Horizonte. 347-352

NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. 1984

NBR 11682: Estabilidade de Encostas 1991

Prefeitura de Rio Claro

Disponível em:

< <http://rioclaro.rj.gov.br/trabalho-de-contencao-e-feito-em-diversos-pontos-municipio/>>.

Acesso em 16 jan 2015, 19:30:00

Relatório de Projeto Executivo, Basitec 2010

ROCHA, R. A. Relatório de Sondagem, MasterSolo

Engenharia 2013

Santos, D. P. Estrutura de contenção em solo reforçado.

Rio de Janeiro 2014

Vários autores. Fundações: Teoria e prática. 2 ed. São Paulo: PINI, 1998.