

Retroanálise de Ruptura de Contenção do Tipo Muro de Arrimo com Contrafortes em Mineradora da Região Sudoeste do Estado do Tocantins

Marcos Coelho Milhomem

Empresário, SlopeGeo, Palmas – TO, Brasil, marcos@slopegeo.eng.br

Jefferson Marcos Costa Leite

Estudante, SlopeGeo, Palmas – TO, Brasil, jefferson.leite@estudante.ifto.edu.br

Jane Sara Teixeira da Silva

Estudante, IFTO-Campus Palmas-TO, Palmas – TO, Brasil, jane.silva2@estudante.ifto.edu.br

João Felipe de Sousa Limeira

Estudante, IFTO-Campus Palmas-TO, Palmas – TO, Brasil, joao.limeira2@estudante.ifto.edu.br

Flavio da Silva Ornelas

Professor, IFTO-Campus Palmas-TO, Palmas – TO, Brasil, flavioornelas@ifto.edu.br

RESUMO: O presente estudo aborda a retroanálise de uma ruptura de contenção tipo muro, em uma mineradora localizada na região sudoeste do estado do Tocantins, próxima à cidade de Natividade. A pesquisa investiga as causas e consequências do colapso de uma cortina de concreto armado, que ocorreu após um período de chuvas intensas. Foi observado que a ausência de um sistema de drenagem adequado pode ter desencadeado o processo de ruptura. Por meio de uma metodologia que envolveu coleta de dados, estimativa de parâmetros geotécnicos, modelagem computacional e análise estrutural, foi possível retro analisar o muro colapsado e propor um dimensionamento mais adequado, utilizando critérios técnicos e científicos. Os resultados indicaram que, a estrutura original não atendia aos requisitos mínimos de estabilidade, enquanto a estrutura dimensionada, conforme as premissas sugeridas, mostrou-se segura e capaz de suportar os esforços esperados.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura de contenção, Retroanálise, Ruptura, Dimensionamento.

ABSTRACT: This study deals with the retroanalysis of a retaining wall collapse at a mining company located in the southwestern region of the state of Tocantins, near the city of Natividade. The research investigates the causes and consequences of the collapse of a reinforced concrete curtain wall, which occurred after a period of heavy rainfall. It was observed that the absence of an adequate drainage system may have triggered the collapse process. Through a methodology that involved data collection, estimation of geotechnical parameters, computer modelling and structural analysis, it was possible to retro-analyze the collapsed wall and propose a more appropriate design, using technical and scientific criteria. The results indicated that the original structure did not meet the minimum stability requirements, while the structure designed according to the suggested assumptions proved to be safe and capable of withstanding the expected stresses.

KEYWORDS: Containment rupture, Concrete curtain, Retroanalysis, Dimensioning, Geotechnics.

1 INTRODUÇÃO

A região sudoeste do Tocantins, em particular nos arredores da cidade de Natividade, abriga diversas empresas de mineração, uma vez que a região é contemplada por uma litologia que oferece a possibilidade de extração de pedras preciosas ao simples calcário para a utilização como insumo agrícola.

As estruturas do complexo de mineração, destinadas a produção de calcário, são robustas e adaptadas para a produção em larga escala deste insumo, uma vez que o comércio estadual e interestadual requer elevadas demandas para a aplicação na agricultura.

As plantas de produção, geralmente são formadas por dois ou até quatro britadores e moinhos para o beneficiamento da rocha. A existência de estruturas civis precárias e sem plano de manutenção, desde bases de britadores e estruturas de contenções de rochas e material britado, tem se tornado comum.

As contenções empregadas no sistema de alimentação de moinhos, em sua maioria, são cortinas em concreto armado, dotadas de contrafortes, as quais variam de 3 a 6 m de altura e em alguns casos, não dimensionadas e executadas de forma artesanal pelos próprios operários. Visto esse cenário, é comum a ocorrência de acidentes, principalmente aqueles caracterizados pelo tombamento e colapso desse tipo de paramento.

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A região onde ocorreu a problemática estudada está situada na região sudoeste do estado do Tocantins, mais precisamente em uma mineradora na zona rural do município de Natividade – TO, conforme mapa de situação ilustrado na figura 1.



Figura 1. Localização da região de estudo. Município de Natividade – Estado do Tocantins.

3 ESTUDO DE CASO

A contenção referente ao estudo de caso, era do tipo muro por flexão, em concreto armado, dotada de contrafortes, com comprimento de 20,00 m, altura de 5,50 m e espessura média de 20 cm. Na Figura 2, no lado esquerdo, é possível observar a geometria do muro de contenção e também, a cortina colapsada após o período de chuvas.



Figura 2. Cortina colapsada

A ruptura ocorreu em um dia de domingo, após o período de chuvas intensas na região. Uma das características importantes, a qual pode auxiliar na explicação do fenômeno, é que a contenção não possuía nenhum sistema de drenagem, o que supõe que, seja o principal fator que tenha deflagrado o processo de ruptura deste.

4 MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

Conforme Gerscovich *et al.* (2016), as estruturas de contenções em concreto armado, possuem seção mais esbelta quando comparado com muro de arrimo de gravidade, utilizando a resistência a flexão do concreto armado, para combater os esforços de empuxos, oriundos do maciço de solos e rocha.

Os muros a flexão ainda podem ser comparados analogamente a lajes em concreto, dispostas na vertical engastadas na base pelo elemento de fundação, podendo estas, possuírem elementos denominados de contrafortes, os quais são vigas e pilares que auxiliam no enrijecimento do paramento e na transferência dos esforços a fundação, conforme explicado por Domingues (1997).

5 CRITÉRIOS DE PROJETOS DE MUROS POR FLEXÃO

Conforme Moliterno (1994), para a elaboração de um projeto de contenção, inicialmente realiza-se a determinação ou estimativa das dimensões, de posse dessa geometria inicial efetua-se um conjunto de verificações da estabilidade aos esforços atuantes.

5.1 Estimativas de dimensões

Marchetti (2007), apresenta uma esquematização para a realização do pré-dimensionamento de muros a flexão tendo como base a altura da contenção, conforme apresentado na Figura 3.

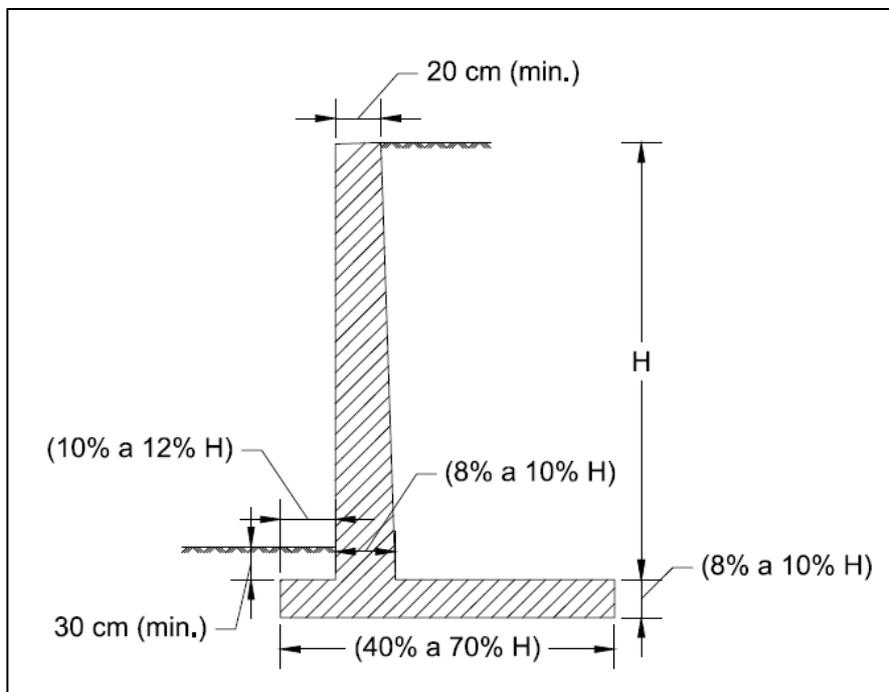


Figura 3. Pré-dimensionamento de muro a flexão, Fonte: Autor, Marchetti (2007)

5.2 Esforços atuantes

Após o pré-dimensionamento do paramento, realiza-se a estimativa dos esforços atuantes na estrutura, através do emprego das teorias de equilíbrio de esforços verticais e horizontais, mais especificamente, teorias de Rankine e Coulomb, ressaltando que os métodos trabalham com hipóteses de rupturas planares. As rupturas observadas em campo, as quais se apresentam em sua maioria circulares, são diferentes das determinadas pelo método. Cabe ao projetista a escolha do método mais conveniente, conforme Gerscovich *et al.* (2016). Ainda segundo os autores, os parâmetros de resistência empregados ângulo de atrito (ϕ') e coesão (c'), devem ser aqueles correspondentes ao pico da curva de tensão e deformação do solo, devendo ser aplicado a esses fatores de minoração, segundo as expressões abaixo:

$$\phi'd = \arctg\left(\frac{tg\phi'}{FS\phi}\right) \quad (1)$$

$$cd' = \frac{c'p}{FS c} \quad (2)$$

Em se tratando da sobrecarga empregada nas verificações, em campo, foram observados a existência de pilhas de estocagem de material britado, com altura aproximada de 7,0 m sendo que o peso específico deste material era da ordem de 14 kN/m³ resultando em uma carga distribuída de aproximadamente 1 tf/m².

5.3 Verificação da Estabilidade

Segundo Moliterno (1994), a verificação de estabilidade, independente do modelo de muro adotado, deverá ser analisado de forma a considerar o equilíbrio estático e elástico das seções intermediárias ao longo do parâmetro. Sendo que para as estruturas a flexão, devem ser analisadas as seções intermediárias ao longo da altura, visando assim, o melhor dimensionamento das armaduras. Ainda segundo Moliterno (1994), deve se realizar as seguintes verificações:

- a) Deslizamento da base;
- b) Tombamento;
- c) Capacidade de carga da fundação;
- d) Estabilidade global.

5.4 Projeto Estrutural

Definindo-se as dimensões necessárias para a estabilidade do muro perante os empuxos atuantes, prossegue-se para o dimensionamento estrutural do parâmetro, aplicando assim o método de estado limite último, onde, as resistências dos materiais envolvidos como aço e concreto são minoradas e os esforços atuantes como momentos e forças verticais são majoradas, como explica Rocha (2018).

6 METODOLOGIA

6.1 Coleta de Dados

Os dados utilizados para o referido estudo foram cedidos pela mineradora. Dentre eles a geometria do muro colapsado, levantamento planialtimétrico e relatório de sondagem a percussão tipo SPT composto de dois furos de sondagem, com profundidade até nível impenetrável. Na Figura 4 é ilustrado o relatório de sondagem do furo SP 01.

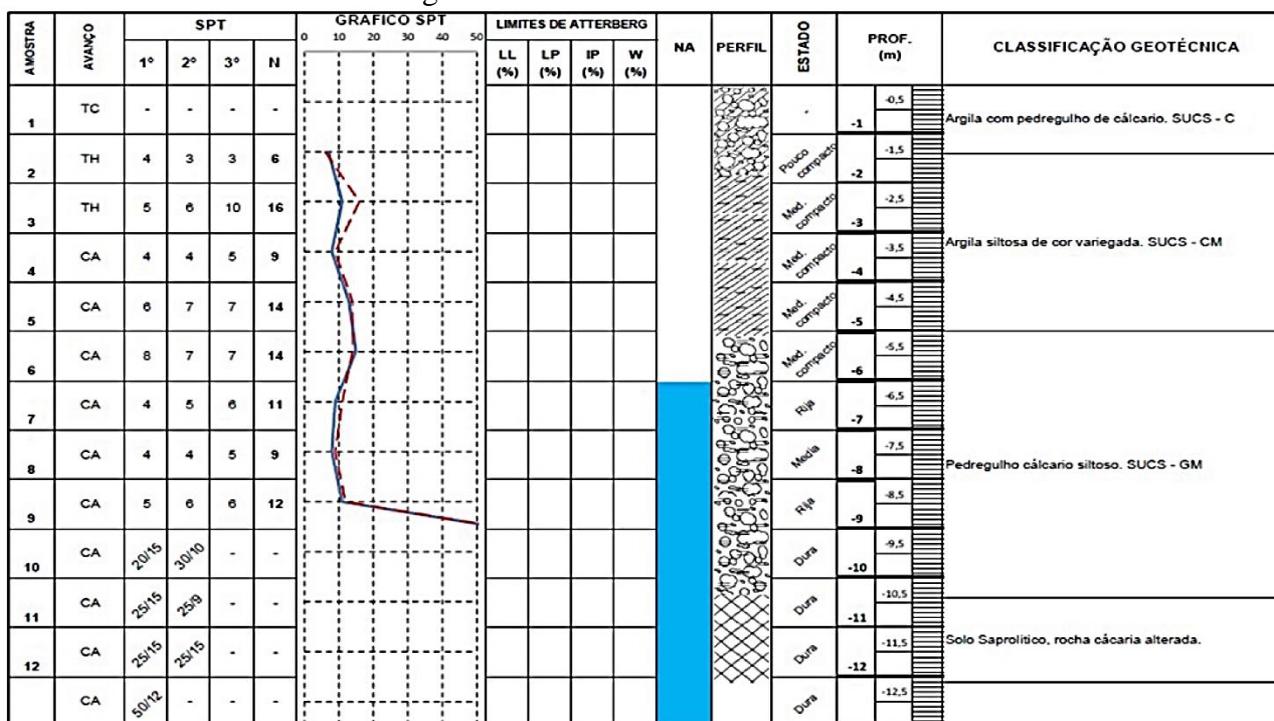


Figura 4. Sondagem a percussão SP 01

Na sondagem SP 01, a profundidade máxima atingiu 12,12 m, com a identificação do nível da água na profundidade de 6,0 m. Porém as sondagens foram executadas no período de estiagem, o que não indica a maior amplitude de variação do nível de água. Em campo, observou-se pelas marcas e manchas de escoamento de água juntos aos drenos barbacãs, que o nível em períodos de chuva, ficava 1 m abaixo do nível acabado do terreno. Os solos predominantes são a argila siltosa e argila siltosa com pedregulho calcário. Infelizmente, a não existência de levantamento topográfico inviabilizou a elaboração de um perfil geotécnico. As dimensões do muro colapsado são a altura com 5,50 m, extensão com 20,0 m e a espessura com 0,20 m.

6.2 Estimativa de Parâmetros

Para a realização das etapas de dimensionamento do muro de contenção, se fez necessária a estimativa de parâmetros geotécnicos com dados de sondagem tipo SPT. Na tabela 1, é apresentado o resumo dos parâmetros geotécnicos estimados com emprego da sondagem do furo SP 01.

Tabela 1. Parâmetros Geotécnicos

CAMADA	PROFUNDIDADE (m)	SUCS	N (Médio)	γ (KN/m ³)	C' (kPa)	ϕ
A	0,00 a 1,45	C	6	18	-	26
B	1,45 a 2,45	CM	16	19	160	33
C	2,45 a 3,45	CM	9	17	90	28
D	3,45 a 5,45	CM	14	19	140	32
E	5,45 a 9,45	GM	11	19	110	30
F	9,45 a 12,12	G	50	20	-	35

6.3 Modelagem com emprego de software

Para viabilizar a retroanálise, foi elaborado a modelagem do muro de contenção no software CYPECAD. Optou-se pelo referido software, uma vez que este, possui recursos de análise estrutural e utiliza como base as normas nacionais da ABNT.

A Modelagem ocorreu em duas secções do muro a flexão, sendo a primeira com as dimensões observadas em campo, a fim de verificar os fatores de segurança e demais condicionantes. Em um segundo momento, foi realizada a modelagem visando o atendimento às verificações necessárias para estruturas de arrimo, partindo das dimensões mínimas, conforme é apresentado na Figura 5.

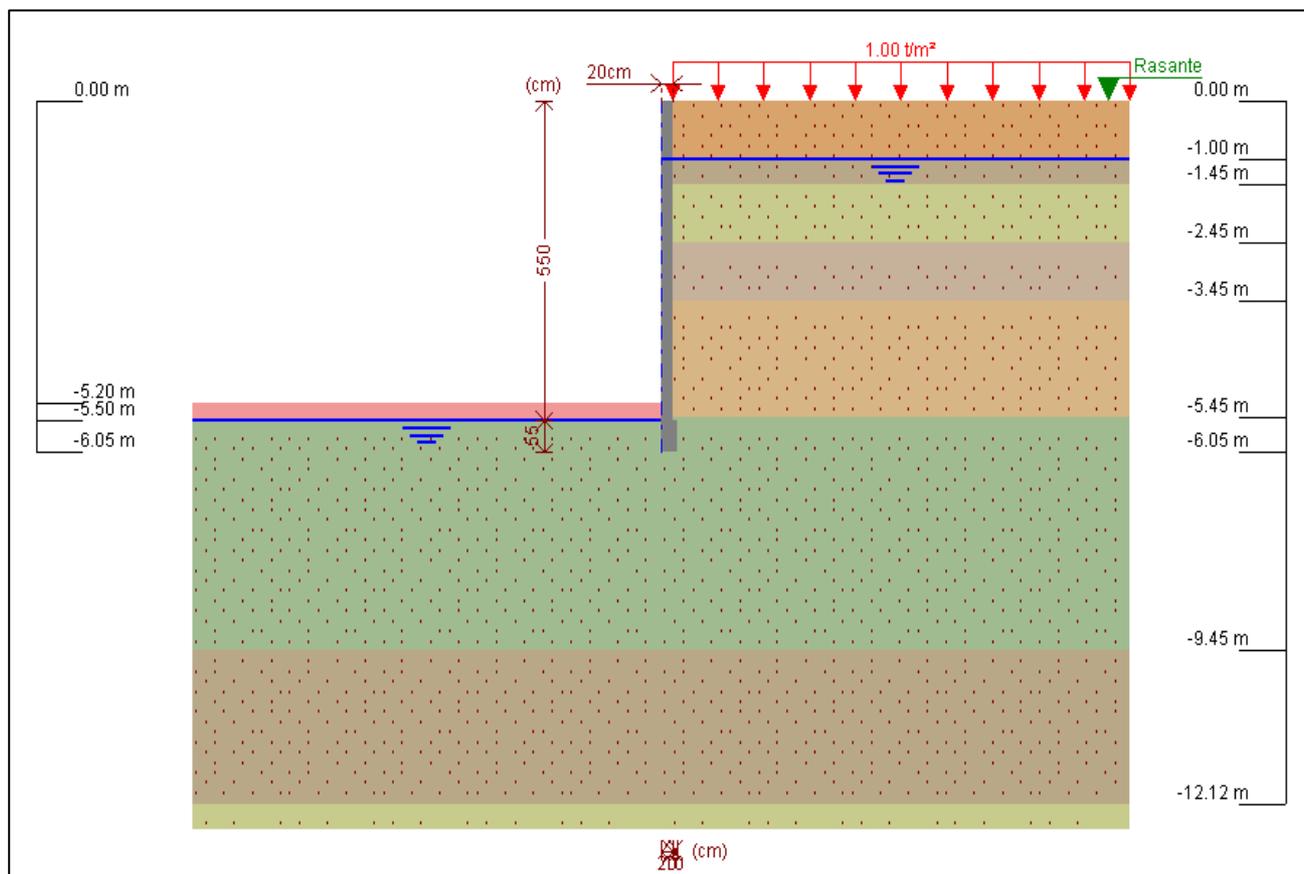


Figura 5. Modelagem com emprego do software CYPECAD da estrutura colapsada

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Modelagem do Muro Colapsado

Foi possível observar o modelo realizado para a estrutura colapsada, empregando as medidas reais de campo, e na Tabela 2, foi comparado com os quesitos mínimos, onde foi notório que a estrutura não atende aos seguintes:

Tabela 2. Verificações do muro colapsado

VERIFICAÇÃO	VALOR OBTIDO	VALOR MINIMO REQUERIDO	ESTADO
Tombamento	0,76	1,8	Não Passa
Deslizamento	0,66	1,5	Não Passa
Flexão Composta	-	-	Não Passa
Esforço Cortante	21,33 t/m	11,09 t/m	Não Passa
Fissuração	0,311 mm	0,2 mm	Não Passa
Capacidade da Base	-	-	Não Passa

Analisando os valores obtidos na modelagem, dispostos na Tabela 2, é possível verificar que, o muro a flexão colapsado, não atende os requisitos mínimos para a estabilidade. É perceptível que a concepção estrutural, em virtude da espessura do muro e sua base, não atende os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas NBR 6118:2023 e NBR 6122:2022, onde a estrutura, não possui desempenho para estar atuando na flexão composta. O muro rompeu após um conjunto de fatores não ocorridos até aquele instante, como o recente carregamento da pilha, a elevação do lençol freático e o acréscimo de cargas pelo acúmulo de água de chuva junto ao material britado.

7.2 Modelo do Muro Pé – Dimensionado

A aplicação do pré-dimensionamento, com emprego das relações geométricas embasadas na altura da contenção, podemos averiguar o modelo proposto apresentado na Figura 7. Na Tabela 3, são apresentadas as verificações realizadas no software CYPECAD.

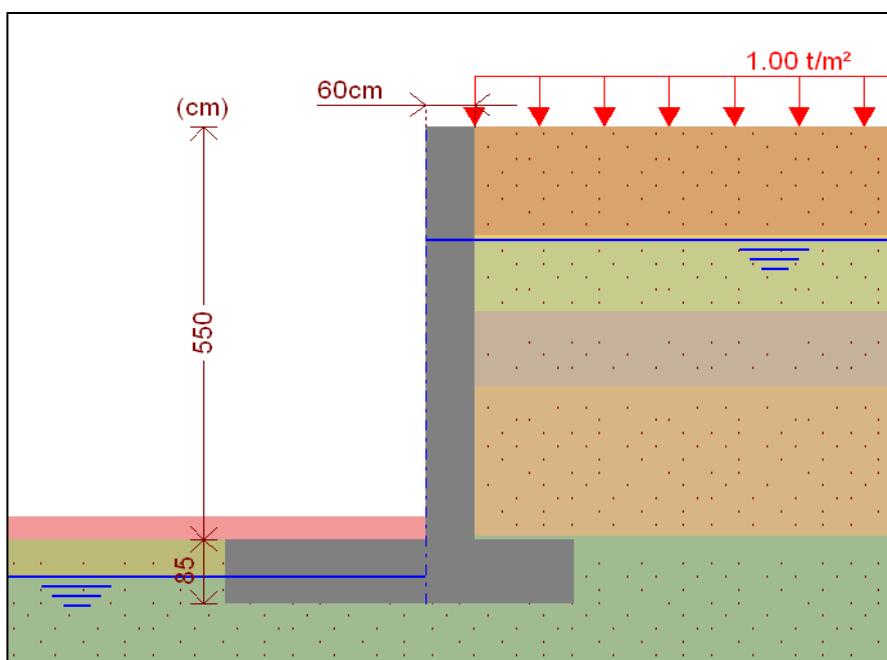


Figura 7. Modelo pré-dimensionado

Tabela 3. Verificações do modelo do muro pré-dimensionado

VERIFICAÇÃO	VALOR OBTIDO	VALOR REQUERIDO	ESTADO
Tombamento	1,80	$\geq 1,80$	Passa
Deslizamento	1,61	$\geq 1,50$	Passa
Flexão Composta	-	-	Passa
Esforço Cortante	18,46 t/m	$\leq 29,45$ t/m	Passa
Fissuração	0,17 mm	$\leq 0,2$ mm	Passa
Capacidade da Base	1,35 kgf/cm ²	$\leq 2,8$ kgf/cm ²	Passa

É perceptível que com a aplicação do dimensionamento indicado por Marchetti (2007), o muro à flexão, atende às verificações realizadas no que tange a estabilidade aos esforços de tombamento, deslizamento e capacidade estrutural. O resultado é satisfatório uma vez que o muro dimensionado com premissas, apresenta espessura de parede adequada aos quesitos estruturais, além de elementos de fundações que garantem a estabilidade do paramento.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo proporcionou a experiência de conhecer e desenvolver etapas de um projeto geotécnico, do modelo de estrutura de contenção a flexão. A estrutura apresentada, não atendia os requisitos mínimos de estabilidade, visto que a mesma, foi executada sem qualquer embasamento científico, levando ao conseqüentemente colapso total da estrutura. Os fatores relevantes de não conformidade com as normas vigentes são destacados por problemas com a drenagens superficiais e internas, geometria adotada, taxa de armadura, dados geotécnicos, aumento significativa do empuxo ativo e capacidade de carga, dimensionamento desconsiderando as tensões e a elevação de poro pressão devido à ausência de dispositivos de drenagem.

Diante desses fatores constatados e a inexistência de boa técnica, foi proposto o dimensionamento adotando critérios técnicos e científicos, com a consideração da sondagem SP 01, conforme Figura 04, a partir deste dado, iniciou-se a dimensionamento da estrutura, obtendo dados que configuram maior precisão e estabilidade da estrutura.

A análise do resultado obtido no muro de flexão armado pré-dimensionado, foi considerado seguro, visto que o fator de segurança está em concordância com os preconizados pelas bibliografias citadas e, desta forma, podem atender aos requisitos de estabilidade propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 (2023): *Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro. 2024. ISBN 978-85-07-04941-8.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 (2022): *Projeto e execução de fundações*. Emenda 1 25/03/2022. Rio de Janeiro. 2022. ISBN 978-85-07-02271-8.
- Domingues, P.C. *Indicações para projeto de muro de arrimo em concreto armado*. São Paulo. 1997. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.
- Gerscovich, D.; Danziger, B. R.; Saramago R. (2016). *Contenções: teoria e aplicações em obras*. 1ª edição, Oficina de Textos, Brasil.
- Gerscovich, D. (2013). *Estabilidade de Talude. Métodos de estabilidade*. 1ª edição, pp. 101-146, Oficina de Textos, Brasil.
- Marchetti, O. (2014). *Muros de Arrimo*. 1ª edição 2007, 3ª reimpressão 2014, Ed. Edgar Blucher.
- Moliterno, A. (1994). *Muros de Arrimo*. 2ª edição 1994, 6ª reimpressão 2010, Ed. Edgar Blucher.
- Rocha, I. P. *Análise custo-benefício de estruturas de contenção de concreto para a região da cidade de Ouro Preto – MG*. 2018, 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP – Minas Gerais.