

CAPÍTULO 8

ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO PROJETO DE MUROS DE CONTENÇÃO EM CONCRETO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.923112518038>

Data de aceite: 19/05/2025

Bianca Alencar Vieira

RESUMO: Em diversas obras de engenharia é comum a necessidade de construção de estruturas de contenção. Dentre as soluções existentes nessa ocasião, tem-se os muros de arrimo, geralmente empregados em obras de médio a pequeno porte.. Em decorrência dos aspectos citados, buscou-se neste estudo, esclarecer critérios e parâmetros a se considerar no projeto dos muros de arrimo. Através do estudo de teorias e equacionamentos defendidos por outros autores, pôde ser realizado este trabalho do tipo bibliográfico, introduzindo os cálculos necessários relativos a determinação de cargas incidentes e verificação da estabilidade de muros de arrimo em concreto convencional. Percebeu-se que o emprego da teoria de Rankine para cálculo do empuxo seja ele ativo ou passivo, traz resultados de maneira efetiva para este tipo de projeto e que verificações relativas ao deslizamento, tombamento, ruptura do solo e ruptura global são indispensáveis para assegurar a estabilidade do maciço de solo. Diante do que foi exposto, afirma-se que este trabalho

pode auxiliar estudantes e profissionais no desenvolvimento de projetos de muros de arrimo em concreto convencional e o seu desenvolvimento contribui para a correta construção destas estruturas de contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Contenção; Muro de arrimo; Diretrizes para projeto; Estabilidade.

FUNDAMENTAL ASPECTS OF CONCRETE RETAINING WALL DESIGN

ABSTRACT: In various engineering projects, the construction of retaining structures is often necessary. Among the available solutions, retaining walls are commonly used, especially in small to medium-scale constructions. Considering these aspects, this study aimed to clarify the criteria and parameters that should be considered in the design of retaining walls. Through the analysis of theories and equations proposed by other authors, this bibliographic research introduces the necessary calculations related to determining acting loads and verifying the stability of conventional concrete retaining walls. It was observed that the use of Rankine's theory for calculating both active and passive earth pressures provides effective results for this

type of design. Moreover, stability checks for sliding, overturning, bearing capacity failure, and global stability are essential to ensure the safety of the soil mass. Based on the findings, this study can support students and professionals in developing projects for conventional concrete retaining walls and contributes to the proper construction of these containment structures.

KEYWORDS: Retaining structure; Retaining wall; Design guidelines; Stability.

INTRODUÇÃO

A presença de taludes é muito comum em grandes obras civis, sendo primordial o seu estudo para que se garanta a segurança do local. Nesse sentido, de acordo com Marangon (2006) os taludes são superfícies inclinadas compostas por diferentes tipos de solos, podendo ser classificados em naturais e artificiais. Os naturais constituem aqueles já existentes na natureza enquanto que os artificiais são os construídos pelo homem, como barragens e aterros.

Conforme Bueno e Vilar (2004) os muros de contenção são bastante utilizados com a finalidade de resistir aos esforços laterais incidentes nos taludes, já que a ocorrência de cargas sobre a sua superfície gera empuxos laterais que podem desestabilizá-lo.

Nesse sentido, este estudo visa abordar os procedimentos e teorias necessárias para dimensionamento de um muro de contenção de maneira a resistir aos esforços provocados por um maciço de solo, assim como suportar com segurança, as cargas que serão solicitadas no por um possível aterro, do qual também atuarão com empuxo lateral.

METODOLOGIA

O presente trabalho é do tipo bibliográfico, ou seja, desenvolvido com a ajuda de materiais elaborados por outros autores, pesquisadores desta área temática. Dessa forma, foi realizada a busca dos principais assuntos sobre o tema apresentado, em artigos, livros, revistas e publicações, para adquirir o conhecimento necessário para a realização do artigo. A partir das biografias encontradas, realizou-se uma análise qualitativa do conteúdo apresentado por cada autor, definindo assim, os pontos mais apropriados para consideração na determinação do tipo de muro a ser empregado em variadas situações práticas, bem como na realização dos procedimentos de projeto de um muro de arrimo.

A síntese destes conhecimentos foi então redigida pelos autores, de forma que se buscou uma organização sequencial que facilitasse o entendimento do leitor e que seguisse a mesma cronologia de um projeto real de estrutura de contenção do tipo objeto do trabalho. Com isto obteve-se um trabalho que pode ser utilizado como leitura básica para aqueles que desejam adentrar na área de geotecnia aplicada a engenharia, mais especificamente na realização de construções de muros de arrimo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha de um muro de contenção depende de diversos fatores que serão distintos para cada obra. Dentre os principais muros de contenção existentes, pode-se destacar: muros de alvenaria de pedra, muros de gabiões, muros de concreto ciclópico e muros de flexão em concreto armado. Os muros citados são denominados de muros de peso, pois resistem aos esforços horizontais (empuxo lateral) somente pelo peso próprio, com exceção do muro de flexão que resiste aos esforços devido a sua seção em T invertido e ao aço presente.

Para o correto dimensionamento dos muros de arrimo, faz-se necessário, o cálculo das ações que atuam na referida estrutura de contenção. Para tal cálculo, existem vários métodos desenvolvidos por pesquisadores consagrados. A partir de considerações feitas no que tange o comportamento dos solos, bem como da sua disposição ao longo do maciço de solo contido, chegou-se a modelos relativamente simples que estimam com um nível satisfatório de exatidão as forças envolvidas no dimensionamento dos muros de arrimo. Um dos principais métodos empregados é aquele proveniente da teoria de Rankine, como será discutido a posteriori.

É crucial prever ainda, o comportamento do muro de arrimo quando solicitado por estes carregamentos. Para inferir este comportamento, são realizadas verificações relacionadas a deslizamentos, tombamentos, ruptura do solo e a ruptura global. Todas as verificações essenciais podem ser realizadas como indicado no tópico 4.2 e seus subtópicos.

Teoria de Rankine

Conforme Bonissoni (2017), a teoria de Rankine (1856) consiste em demonstrar os três estados de equilíbrio que um solo pode apresentar e determinar os empuxos gerados. O primeiro estado é denominado estado ativo de equilíbrio, no qual é caracterizado pela movimentação do solo que irá gerar um esforço (empuxo ativo) sobre o muro de contenção e consequentemente irá deslocá-lo para fora. O empuxo ativo para solo arenoso seco sem inclinação pode ser calculado, já considerando a presença de uma eventual sobrecarga distribuída sobre o maciço de solo, pela equação 1:

$$E_a = \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_a}{2} + q \cdot K_a \cdot h \quad (1)$$

Onde γ é o peso específico do solo, h é a altura do solo, q é a sobrecarga distribuída por área sobre o solo e K_a é o coeficiente de empuxo ativo calculado pela equação 2.

$$K_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} \quad (2)$$

Onde φ é o ângulo de atrito do solo.

O segundo estado é denominado estado de equilíbrio estático, onde não há o deslocamento do muro, ou seja, não há movimentação do solo.

O terceiro é denominado estado passivo de equilíbrio e ocorre a movimentação do muro de contenção sobre o solo que está sendo contido, ou seja, há um esforço de compressão gerado pelo muro e devido à Lei de ação e reação criada por Newton, o solo irá gerar uma reação que é chamada de empuxo passivo. O empuxo passivo é calculado analogamente ao empuxo ativo, sendo que o K_a é substituído pelo coeficiente de empuxo passivo (K_p) que é calculado conforme a equação 3.

$$K_p = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} \quad (3)$$

Verificações de estabilidade

Verificação ao deslizamento: Segundo Luiz (2014) a verificação ao deslizamento é feita para analisar o deslocamento horizontal do muro de contenção diante do esforço gerado pelo solo, essa análise depende principalmente do equilíbrio dos esforços atuantes no muro. É possível determinar o fator de segurança para o deslizamento que é dado pela equação 4:

$$FS_d = \frac{P_p \cdot \tan(0,75 \cdot \varphi) + E_p}{E_a} \quad (4)$$

Onde P_p é o peso próprio do muro de contenção.

Esse fator de segurança para o deslizamento deve ser maior do que 1,5 conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11682:2009.

Verificação ao tombamento: De acordo com Luiz (2014) o tombamento de um muro de contenção ocorre em torno de um ponto. Então é possível obter um fator de segurança para o tombamento (equação 5), no qual dependerá do momento gerado pelo empuxo ativo (momento solicitante) e os momentos gerados pelo peso próprio e empuxo passivo (momentos resistentes). O fator de segurança ao tombamento deve ser maior do que 2 de acordo com a NBR 11682:2009.

$$FS_T = \frac{M_{R,pp} + M_{R,EP}}{M_S} \quad (5)$$

Onde $M_{R,pp}$ é o momento resistente gerado pelo peso próprio do muro de contenção, $M_{R,EP}$ é o momento resistente gerado pelo empuxo passivo e M_S é o momento solicitante provocado pelo empuxo ativo.

Verificação da ruptura do solo: De acordo com Terzaghi (1943) a ruptura do solo é a soma da parcela de coesão e de atrito do solo da fundação com a sobrecarga do solo sobre a fundação, é dado pela equação 6:

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_y S_y + q_{ef} \cdot N_q S_q \quad (6)$$

Onde σ_r é a tensão de ruptura do solo, C é a coesão do solo, B é a largura da fundação, N_c, N_y e N_q são fatores de carga que dependem do ângulo de atrito, s_c, s_y e s_q são fatores de forma e q_{ef} , definido na equação 7, é a carga efetiva do solo que está sobre a fundação.

$$q_{ef} = \gamma_{ef} \cdot h_{ef} \quad (7)$$

Onde γ_{ef} é o peso específico do solo sobre a fundação e h_{ef} a altura desse solo.

A tensão admissível (equação 8) é obtida dividindo-se a tensão de ruptura do solo pelo fator de segurança estabelecido pela NBR 11682:2009 que é igual a 3.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_r}{FS} \therefore FS = 3 \quad (8)$$

Conforme Marchetti (2011) a tensão máxima é calculada de acordo com as excentricidades do extremo e do meio da base do muro de contenção, são calculados de acordo com as equações 9 e 10:

$$e_{extremo} = \frac{M_T}{P_p} \quad (9)$$

$$e_{meio} = \frac{B_{muro}}{2} - e_{extremo} \quad (10)$$

Onde M_T é o momento total (momento resistente menos momento solicitante) e B_{muro} é a dimensão da base do muro de contenção.

Segundo Moliterno (1980) se a excentricidade do meio for menor do que 1/6 da base do muro de contenção o terreno estará submetido apenas à compressão, já se for maior

haverá compressão e tração, logo é necessário verificar a resistência a tração do muro para averiguar a necessidade de armadura.

De acordo com Moliterno (1980) para terreno submetido apenas a compressão tem-se que a tensão máxima atuante no solo da base do muro de arrimo será obtido pela equação 11:

$$\sigma_{máx} = \frac{2.P_p}{3.e_{extremo}} \quad (11)$$

Já para terreno submetido à compressão e tração tem-se tensão máxima e mínima (equação 12).

$$\sigma_{máx,mín} = \frac{P_p}{B_{muro}} \cdot (1 \pm \frac{6.e_{meio}}{B_{muro}}) \quad (12)$$

Para não ocorrer à ruptura do solo, a tensão admissível deve ser maior ou igual à tensão máxima.

Verificação da ruptura global: Conforme Luiz (2014) a ruptura global é a verificação de todas as possíveis falhas que possam ocorrer no muro de contenção, ou seja, é a verificação da atuação simultânea do tombamento, deslizamento e ruptura do solo. Essa verificação pode ser calculada por diversos métodos, como por exemplo, método das fatias, método de Spencer, método de Bishop e entre outros. Se a verificação ao tombamento, deslizamento e ruptura do solo for feita, não é necessário a verificação da ruptura global.

CONCLUSÃO

Existem diversas opções de muros de arrimo, cujas técnicas de execução e parâmetros necessários ao projeto, são conhecidas pela comunidade especializada, principalmente nas áreas de geotecnia, obras em terra e fundações.

No que se refere aos dimensionamentos envolvidos no projeto de muro, concluímos que pode ser adotada a teoria de Rankine para determinação das cargas atuantes na contenção pelo maciço de solo, obtendo resultados e coerentes com a realidade, de maneira rápida. Posterior a esta etapa procedemos com as verificações necessárias para o muro de arrimo escolhido, certificando assim de que o mesmo será estável, ou seja, apresentará fatores de segurança satisfatórios e tensões admissíveis inferiores as atuantes.

Dessa forma, sintetizamos conhecimentos de diversos autores, relativos ao projeto de um muro de arrimo, trazendo assim, métodos práticos, facilmente aplicáveis em obras de engenharia do gênero.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682:2009 – **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro: Norma Técnica.

BONISSONI, L. **Dimensionamento e execução de muros de arrimo em alvenaria estrutural**. Rio Grande do Sul: Editora da UFSM, 2017.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos Solos**, Volume II. São Paulo: Editora da Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.

LUIZ, B. J. **Projeto geotécnico de uma estrutura de contenção em concreto**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2014.

MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra**. Minas Gerais: Editora da UFJF, 2006.

MARCHETTI, O. **Muros de arrimo**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2011.

MOLITERNO, A. **CADERNO DE MUROS DE ARRIMO**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1980.