

# Dimensionamento de muros de arrimo submetidos à flexão com a utilização do *software* Mathcad 5.0: Roteiro automatizado didático

Sizing of retaining bending wall using Mathcad 5.0 software: automated didactic guide

Jefferson Tiago da Silva<sup>†\*</sup>, Arthur de Souza Monteiro<sup>‡</sup>, Gustavo José da Costa Gomes<sup>§</sup>, Marcelle Brandão de Carvalho<sup>||</sup>

Como citar esse artigo. da Silva, JT; Monteiro, AS; Gomes, GJC; de Carvalho, MB. Dimensionamento de muros de arrimo submetidos à flexão com a utilização do *software* Mathcad 5.0: Roteiro automatizado didático. Revista Teccen. 2019 Jul/Dez; 12 (2): 11-22.

## Resumo

As características geológicas e pluviométricas do Estado do Rio de Janeiro proporcionam constantes realizações de obras de contenção que visam solucionar problemas relacionados, principalmente, à estabilização de encostas e taludes. Com a evolução dos materiais e métodos construtivos, surgiu a necessidade da existência de ferramentas tecnológicas que podem ser empregadas na execução de obras de contenção. Onde o usuário pode adaptar-se a cada situação específica, a qual se encontra, o que se realmente necessita para uma devida análise na tomada de decisões como, por exemplo, os muros de arrimo submetidos à esforços de flexão. Usualmente, engenheiros tem uma boa parte do seu tempo de trabalho tomado pela execução de cálculos que, de certo modo, consomem um tempo relativamente significativo, gerando um grande impacto na competitividade do profissional. Como um profissional altamente habilitado, a programação se faz útil como uma ferramenta criada capaz de resolver, não apenas problemas de engenharia, como também estatística e simulação. Objetivando uma programação visual simples, através do *software* gratuito PTC Mathcad Prime 5.0, o presente trabalho tem por finalidade uma roteirização sequencial automática do dimensionamento de muros de arrimo submetidos à flexão. Conclui-se que com a utilização do roteiro, a prática de dimensionamento e análise de muros de arrimo tornou-se otimizado tanto em tempo de execução quanto na verificação de todos os fatores de análise. Sabendo-se que o roteiro permite a visualização de todas as etapas, enquanto os softwares especializados em cálculo estrutural apenas fornecem os resultados finais.

**Palavras-Chave:** Muro de arrimo, Muro de flexão, Roteiro de cálculo no *Mathcad*

## Abstract

The geological and rainfall characteristics of the state of Rio de Janeiro provide constant accomplishment of containment works, which aim to solve problems related mainly to the stabilization of slopes. With the evolution of materials and construction methods the need arose for the existence of technological tools that can be used in the execution of containment works, which the user can adapt to each specific situation, what is really needed for a due analysis in decision making, such as retaining walls subjected to flexing efforts. Usually, engineers have a good part of their work time taken by performing calculations that consume a relatively significant time, generating a great impact on professional competitiveness. As a highly skilled professional, programming is useful as a tool designed to solve not just engineering problems, but also statistics and simulation. Aiming at a simple visual programming, through the free software PTC Mathcad Prime 5.0 the purpose of this work is to have an automatic sequential routing of the dimensioning of retaining walls submitted to flexion. Using the roadmap, the practice of sizing and analysis of retaining walls has become optimized both at runtime and checking all analysis factors as the roadmap allows viewing of all steps, whereas specialized structural calculation software only provide the final results.

**Keywords:** Retaining wall, Bending wall, Mathcad calculation routing.

## Introdução

Atualmente, está cada vez mais frequente a realização de obras em encostas ou próximo a elas, ocorrendo à necessidade da estabilização de taludes por meio da execução de uma estrutura de contenção: muros de arrimo. Muros de arrimo e um tipo de estrutura que e

utilizada para conter e estabilizar um maciço de solo.

Diante da grande incidência da obra de muro de arrimo, e a escassez de programas especializados na área, há grande demanda de tempo na realização de vários cálculos matemáticos e verificações. Para tanto, exige conhecimento do engenheiro sobre o assunto, logo torna-se essencial a criação de uma ferramenta que

Afiliação dos autores: † Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: jefferson-tiago2008@hotmail.com

‡ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: arthurmonteiro-tr303@hotmail.com

§ Me. em Engenharia Civil e Docente pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: gustavojcg@id.uff.br

|| Me. em Engenharia Civil e Docente pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: marcelle\_bc@hotmail.com

\* Email para correspondência: jefferson-tiago2008@hotmail.com

possa auxiliar o profissional no processo. Em virtude dessa necessidade foi feito um roteiro de cálculo para o dimensionamento de muros de arrimo á flexão através do *software* gratuito PTC Matchcad Prime 5.0.

De acordo com Magri Junior (2016), quando implementado um roteiro de cálculo a um dimensionamento complexo, e notória as vantagens que este proporciona, como por exemplo, torna o cálculo mais preciso e versátil, além de otimizar o tempo gasto para sua realização.

Ketzer e Schäffer (2010), diz que quando houver a necessidade de se realizar alguma modificação posterior no projeto não é necessário refazer todo o cálculo basta somente alterar os dados de entrada, diante disso e possível analisar os resultados fornecidos e comparar um com o outro afim de se obter um projeto mais econômico.

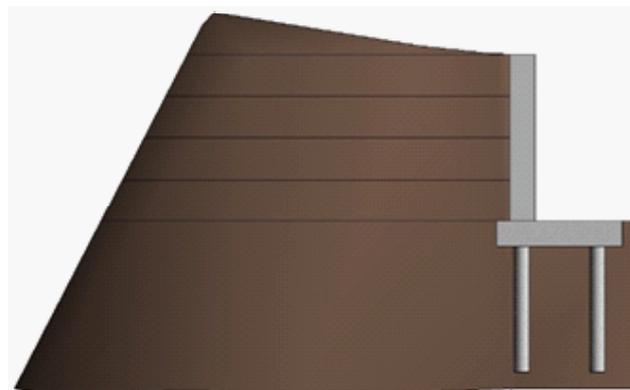
Ainda segundo Ketzer e Schäffer (2010), o roteiro diminui substancialmente os erros humanos, uma vez que os cálculos são extensos e realizados manualmente. O roteiro é de fácil aplicabilidade e entendimento, uma vez que se tenham os dados de entrada e o conhecimento teórico e prático necessários para analisar os resultados gerados. O presente trabalho ficou limitado apenas ao dimensionamento de muro á flexão, não podendo ser utilizado para calcular outros tipos de muro de arrimo.

## Muro de arrimo

Conforme Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo [DER/SP] (2005), muro de arrimo são estruturas de contenção de solo, sua geometria e composição devem ser eficazes ao resistir às solicitações de esforços durante sua vida útil afim de prover segurança e estabilidade. Podem ser constituídos de concreto armado, alvenaria armada, concreto ciclópico, enrocamento etc. As formas mais encontradas destas estruturas são: por gravidade (onde o peso próprio de um elemento de grande inércia atua na estabilização ao tombamento) e por flexão (situação a qual o muro se submete a um esforço de flexão simples, devido ao empuxo exercido pelo solo).

## Muros de flexão

Para Gerscovich (2010), estas estruturas podem ser classificadas como esbeltas de seção transversal no formato de um “L” que tem por finalidade resistir aos empuxos de flexão, onde o seu apoio é sobre base do “L”. São construídas em concreto armado, tornando-se uma estrutura antieconômica para alturas maiores que 5m. Em geral a largura de sua base fica entre 50 a 70% da altura total do muro. A face que está em contato com o maciço de terra trabalha á flexão (figura 01), podendo ser empregadas vigas de enrijecimento afim de se ter



**Figura 1.** Muro à flexão

Fonte: os autores, 2019.



**Figura 2.** Imagem do Talude a ser contido

Fonte: os autores, 2019.

uma estrutura mais estável.

## Materiais e métodos

Na elaboração do roteiro de cálculo utilizou-se o *software* gratuito PTC Matchcad Prime 5.0. No dimensionamento da magnitude dos esforços aplicados, bem como as definições de geometria dos elementos estruturais constituintes do muro de arrimo, utilizou-se os conceitos básicos de Mecânica dos Solos e Concreto Armado, desenvolvidos durante o curso de graduação em Engenharia Civil.

Para exemplificação e teste de confiabilidade dos resultados do roteiro, foi dimensionado um muro de arrimo para o talude da figura 02, localizado na rua Rui Barbosa, 708, Cantagalo, Três Rios – Rio de Janeiro.

## Roteiro de dimensionamento

Inicialmente, o roteiro sugere a inserção dos dados de entrada, conforme a figura 03, como: a altura total do muro (valor em função da altura do talude a ser arrimado), a distância entre eixos dos pilares de sustentação do muro e um pré-dimensionamento da altura do bloco de fundação, que posteriormente será verificado.

Em seguida, o roteiro apresenta tabelas que segundo Godoy (1972) podem servir de parâmetros para a definição do peso específico do solo a ser contido pelo muro, afim de calcular posteriormente a pressão de empuxo que este solo exerce sobre a estrutura de contenção, como mostra a figura 03. Desse modo, o roteiro calcula de forma pré-definida com a formulação da literatura a coesão do solo e o ângulo de atrito, em função dos valores escolhidos na seção Informações do Solo.

Uma vez definido os parâmetros do solo, Rankine

(1857) sugere a formulação para o cálculo da pressão do solo na base do muro, conforme a figura 04 indica. Vale ressaltar, que o solo exerce sobre o muro um carregamento distribuído de forma triangular, considerando um único tipo de solo (solo homogêneo), no qual a base do muro está submetida à pressão máxima calculada pela seção 3 do roteiro e o topo do muro terá pressão zero sob efeito do solo (figura 05).

Nesta etapa o roteiro calcula o empuxo do solo aplicado no muro, em função do carregamento triangular que o talude aplica na estrutura. Segundo Beer e Johnston (1994), o centro de gravidade do carregamento triangular, onde uma carga concentrada equivalente é considerada, localiza-se a uma distância de 1/3 (um terço) da base do muro (figura 06). O roteiro sequencialmente calcula o valor do Momento Fletor aplicado, o qual serve para o dimensionamento da seção de concreto e da área das armaduras de aço que fazem parte dos pilares do muro.

Em sequência, o roteiro dimensiona segundo a NBR 6118 (2014) os pilares, conforme a figura 07. Os

The screenshot shows the PTC Mathcad Express Prime 5.0.0.0 interface. The worksheet contains the following content:

**1) MEDIDAS DO MUROS**

- $h := 3$  m altura total do muro
- $d := 2$  m distância entre 2 pilares
- $h_{\text{bloco}} := 0.6$  m altura do bloco de fundação

**2) INFORMAÇÕES DO SOLO**

**PESO ESPECÍFICO DO SOLO**

Peso específico de solos argilosos - Godoy (1972)

N (golpes)	Consistência	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
< 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Macia	17
11 - 15	Fija	19
20	Dura	21

Peso específico de solos arenosos - Godoy (1972)

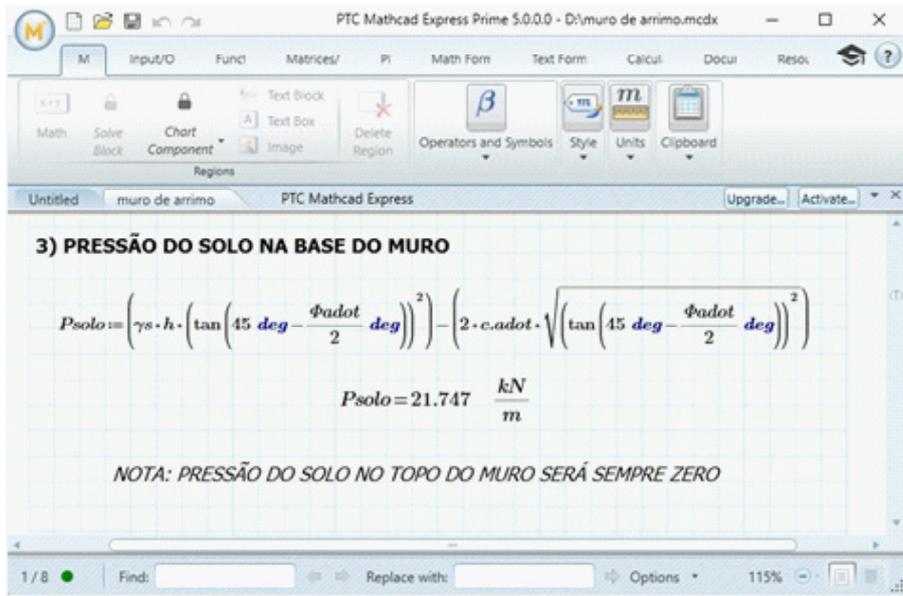
N (golpes)	Consistência	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )		
		Areia seca	Úmida	Saturada
< 5	Mola	15	18	19
5 - 10	Pouco compacta	17	19	20
10 - 15	Medianamente compacta	17	19	20
15 - 30	Compacta	18	20	21
> 30	Muito compacta	18	20	21

$\gamma_s := 21$   $\frac{kN}{m^3}$

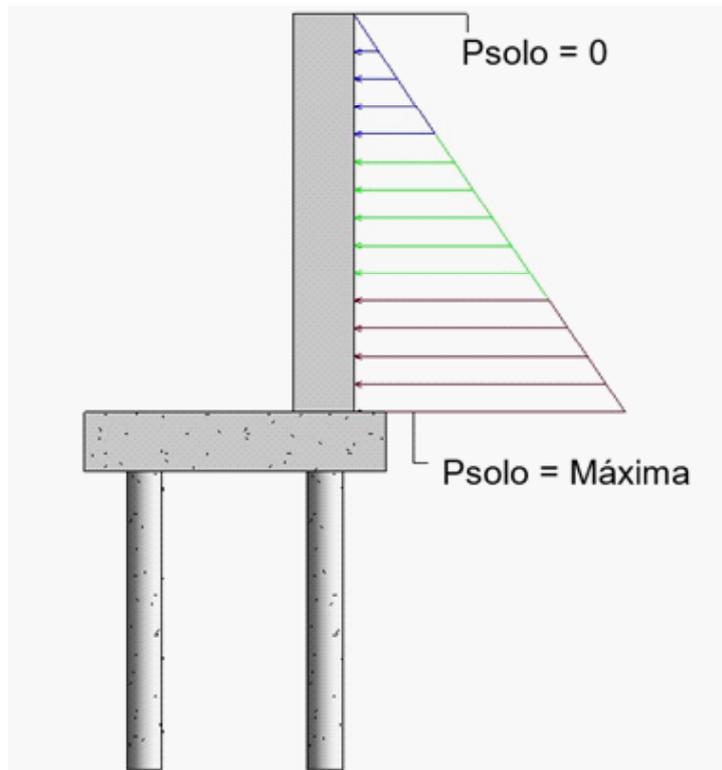
NOTA: Quando não se sabe característica do solo, usar 16 kN/m<sup>3</sup> (hipótese mediana), ou hipótese mais desfavorável 21 kN/m<sup>3</sup>, quando o solo for homogêneo.

Figura 3. Dados de entrada: medidas do muro e peso específico do solo.

Fonte: os autores, 2019.



**Figura 4.** Cálculo da pressão do solo na base do muro.  
 Fonte: os autores, 2019.



**Figura 5.** Carregamento triangular nos pilares devido: pressão máxima na base e pressão nula no topo.  
 Fonte: os autores, 2019.

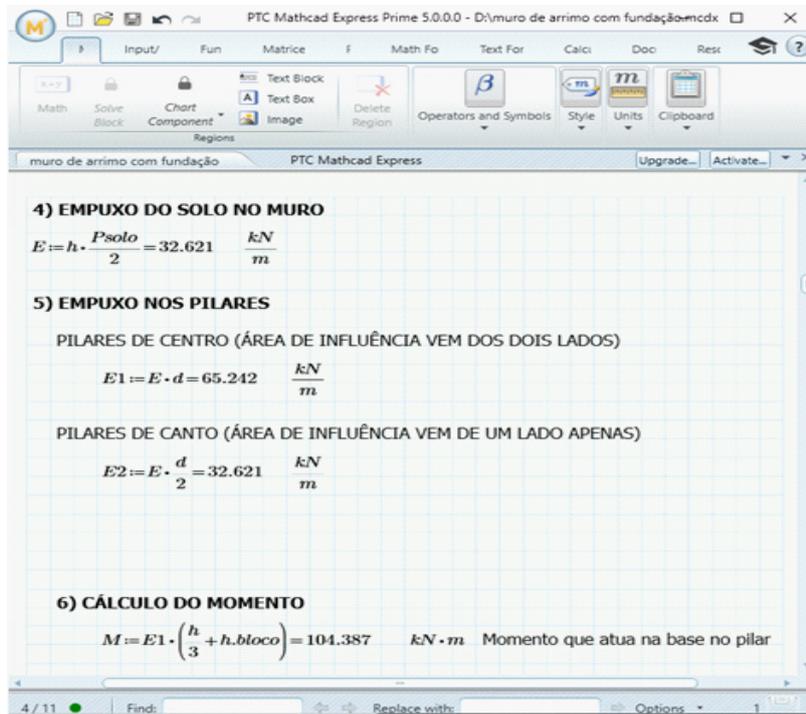


Figura 6. Cálculo do empuxo do solo no muro e nos pilares: Cálculo do momento na base no pilar.  
Fonte: os autores, 2019.

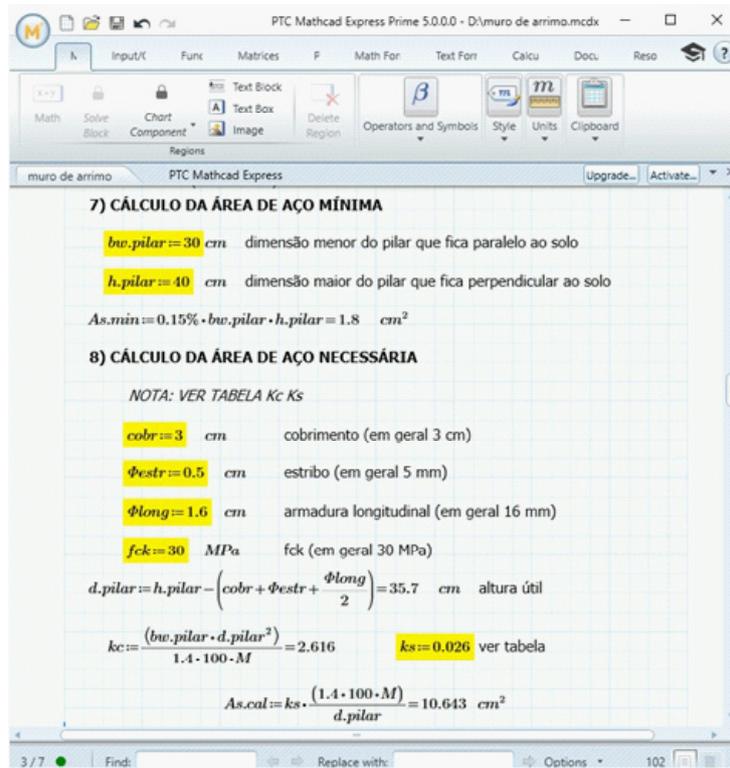
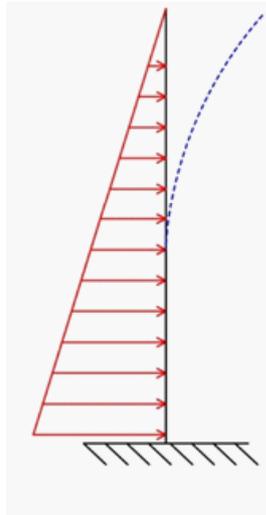


Figura 7. Cálculo da área de aço mínima e necessária do pilar.  
Fonte: os autores, 2019.



**Figura 8.** Viga engastada em balanço com carregamento triangular sofrendo flexão  
Fonte: os autores, 2019.

pilares são dimensionados considerando uma viga em balanço, onde a base corresponde ao ponto de engaste (com a fundação) e o topo representa a extremidade sem apoio (figura 08).

As armaduras transversais dos pilares, também são dimensionadas de forma automática pelo roteiro (figura 09) seguindo a NBR 6118 (2014), bem como o seu espaçamento, afim de resistir os esforços de cisalhamento.

O roteiro dimensiona os parâmetros mínimos necessários para as vigas (cintas) que compõem a estruturas de contenção (figura 10). Conforme a figura 11, as vigas estão submetidas à um carregamento uniformemente distribuído, diferentemente dos pilares que recebem um carregamento de configuração triangular. Assim, é possível estipular com as equações prescritas da NBR 6118 (2014) a seção de concreto e as armaduras desses elementos horizontais, bem como suas armaduras transversais, conforme demonstra a figura 12.

Com os valores obtidos em etapas anteriores, é possível dimensionar a estrutura da fundação. O roteiro de cálculo estipula que a fundação seja do tipo bloco sobre duas estacas.

Na seção do roteiro destinado ao cálculo de fundação, os valores são inseridos após as definições dos dados de entrada, calculados previamente nos itens anteriores, conforme a figura 13 indica.

Dispostos os valores de entrada para o dimensionamento da fundação, o roteiro segue com os cálculos das dimensões dos blocos segundo a NBR 6122 (2010). Após, a reação máxima aplicada na estaca proveniente do bloco é definida segundo a seção do roteiro, conforme mostra a figura 14.

Uma vez definidos os valores da reação máxima

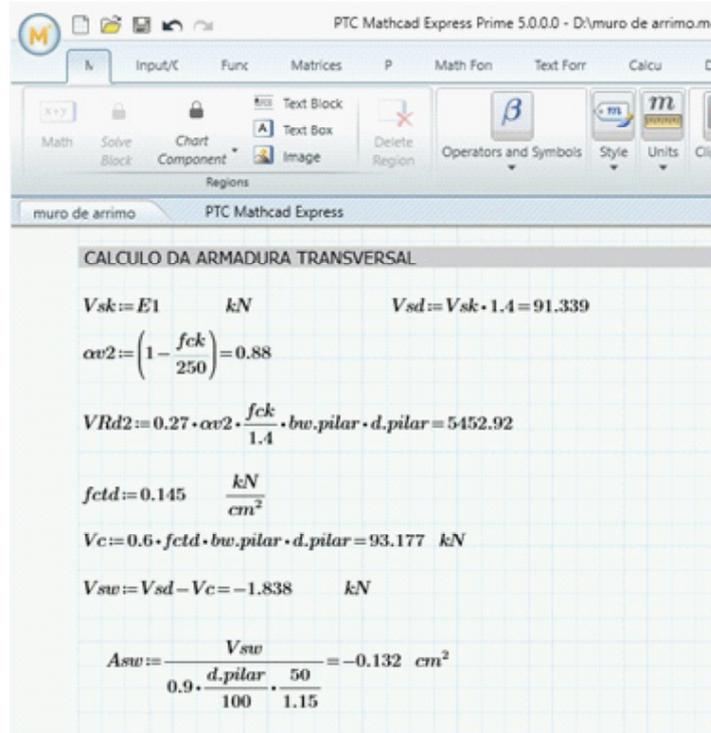
da estaca, se torna possível dimensionar o valor da carga aplicada sobre a estaca. O roteiro ainda verifica a dimensão do bloco em função da menor dimensão da seção do pilar nele ancorado. Assim, definido o embutimento da estaca no bloco e o comprimento de ancoragem no pilar (figura 15), é possível fazer a verificação das bielas e o dimensionamento das armaduras principais, armaduras de pele e estribos que compõem a estrutura, conforme indica a figura 16.

## Amarração dos blocos

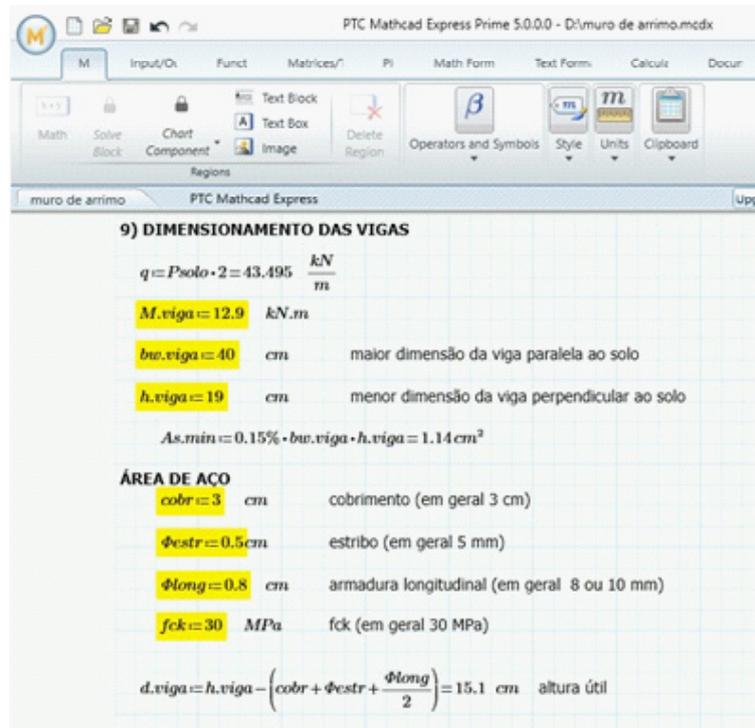
Os blocos são assentados de modo que seja garantido o travamento entre eles. As juntas entre um bloco e outro não se encontram na fiada superior (figura 17). É recomendado que a disposição da armadura vertical fosse feita intercalando os furos dos blocos, e da armadura horizontal colocada a cada 4 fiadas, sendo que na quarta utiliza-se blocos do tipo canaleta onde será colocado as barras de aço conforme figura 17. Para o preenchimento das canaletas e dos furos que contém as armaduras, utiliza-se concreto graute, afim de se obter maior adensamento e resistência, a ancoragem das armaduras e feita nos pilares e nas vigas de enrijecimento.

## Resultados e discussão

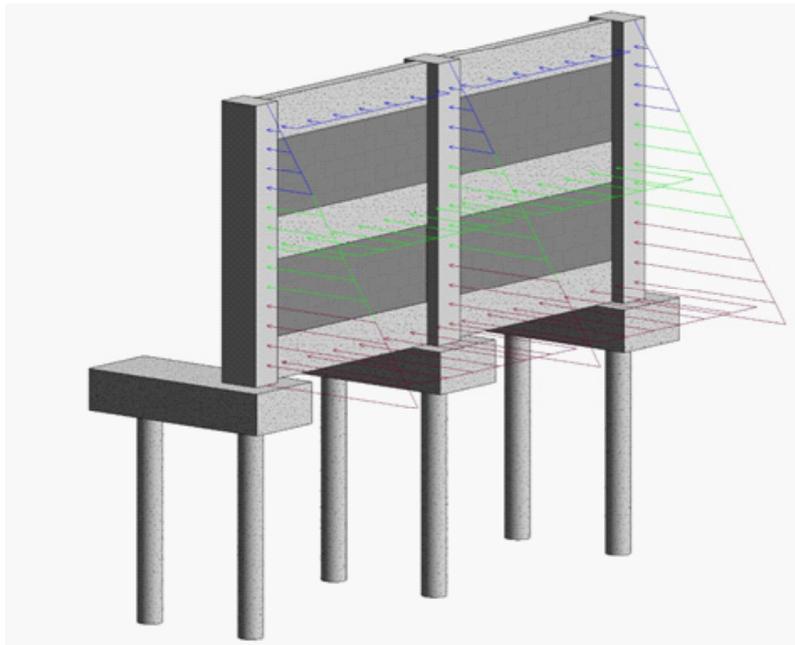
No dimensionamento do muro de arrimo considerou-se a altura total do muro igual a 3,00 m em função da altura do talude, sendo as distâncias entre pilares de 2,00 m. A altura do bloco de fundação ficou estipulada em 60 cm.



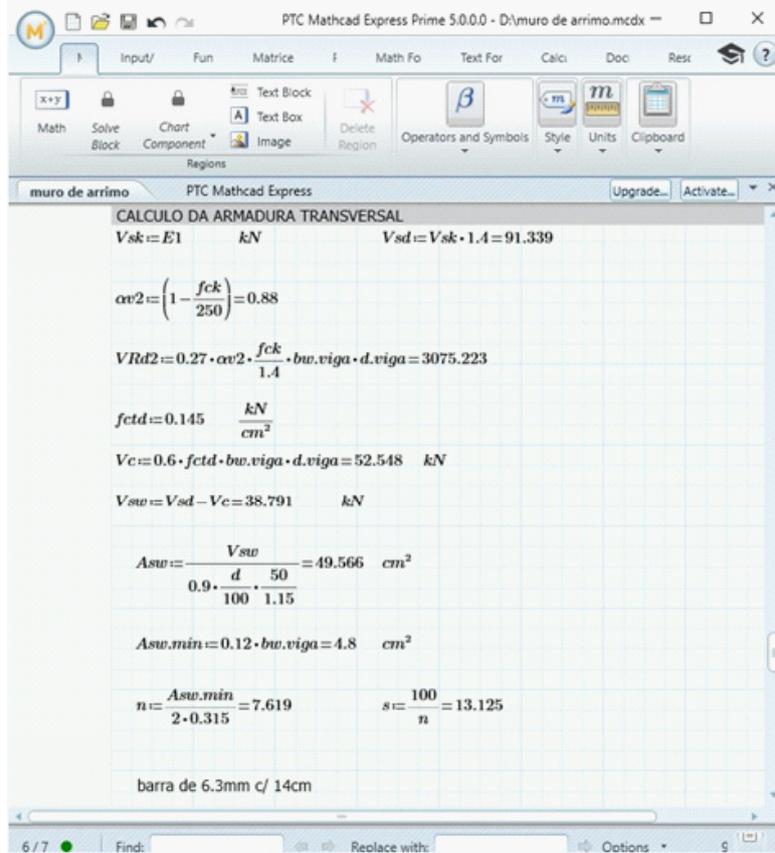
**Figura 9.** Cálculo das armaduras transversais dos pilares.  
 Fonte: os autores, 2019.



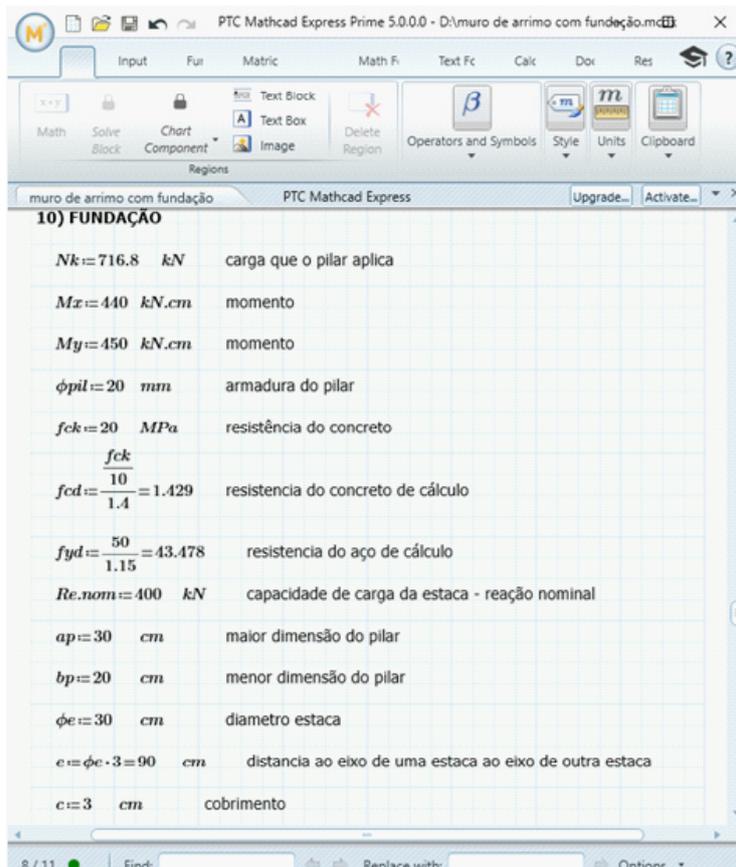
**Figura 10:** Dimensionamento das vigas.  
 Fonte: os autores, 2019.



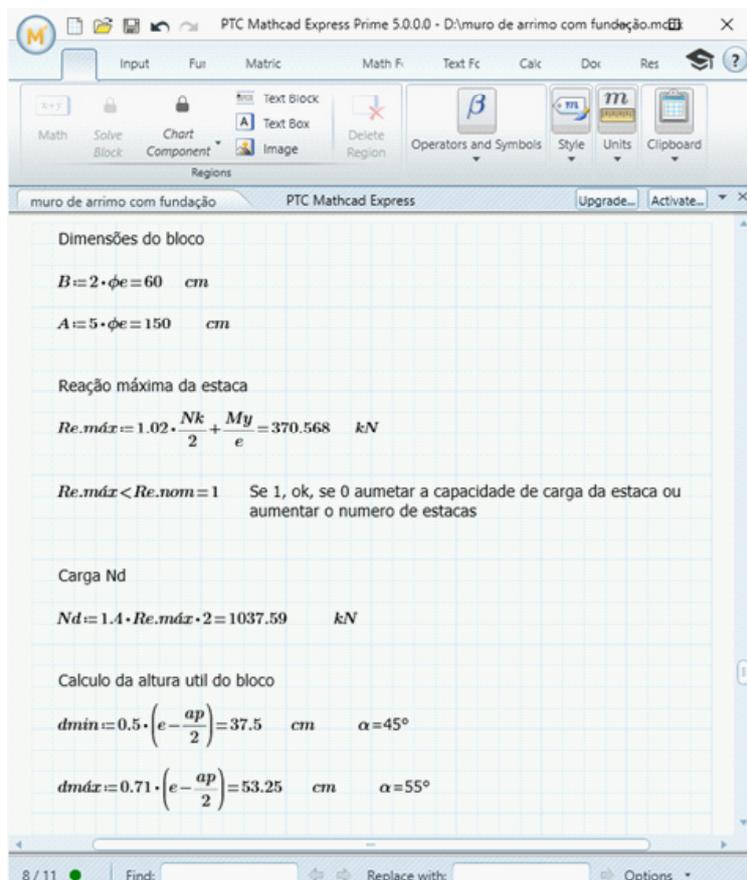
**Figura 11.** Carregamento triangular nos pilares: Carregamento uniformemente distribuído nas vigas.  
 Fonte: os autores, 2019.



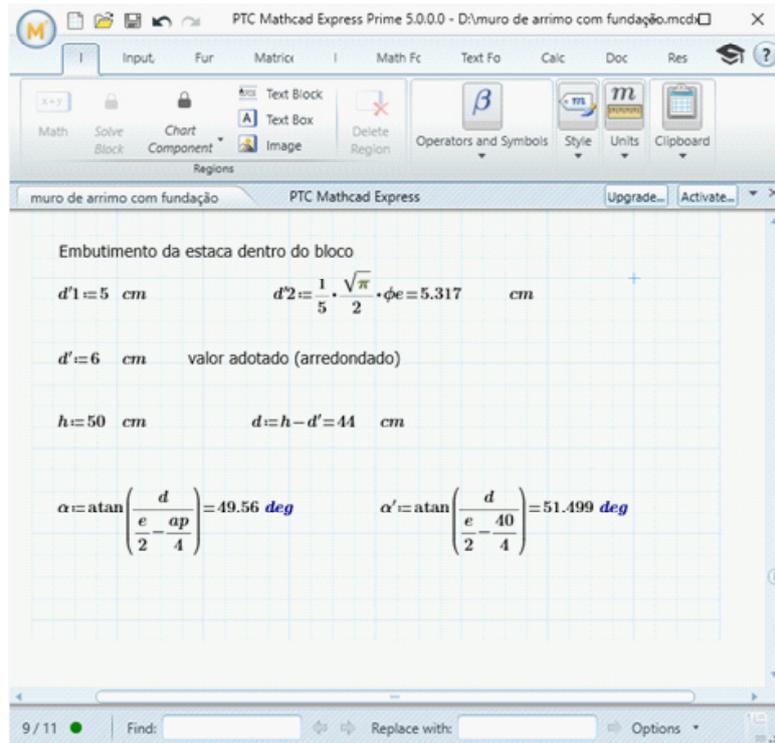
**Figura 12.** Cálculo das armaduras transversais das vigas.  
 Fonte: os autores, 2019.



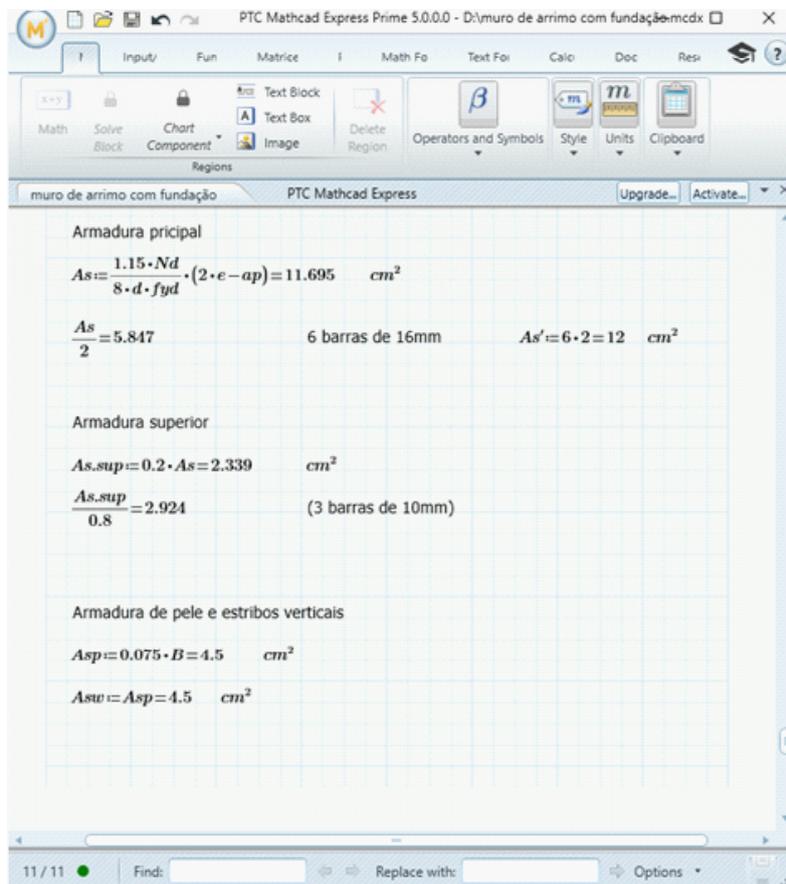
**Figura 13.** Dados de entrada: Valores de entrada para o cálculo da fundação. Fonte: os autores, 2019.



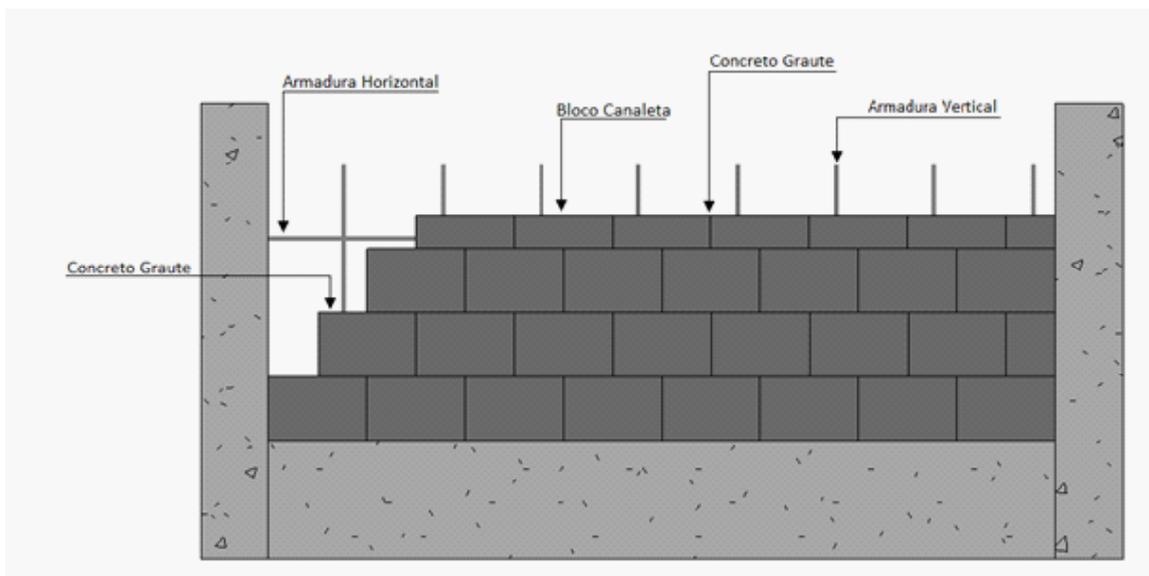
**Figura 14.** Cálculo da reação máxima e da altura útil. Fonte: os autores, 2019.



**Figura 15.** Cálculo do embutimento da estaca no bloco.  
 Fonte: os autores, 2019.



**Figura 16.** Dimensionamento das armaduras.  
 Fonte: os autores, 2019.



**Figura 17.** Esquema de amarração dos blocos: Disposição das barras de aço.  
Fonte: os autores, 2019.

O peso específico do solo foi obtido através das tabelas de Godoy apresentadas na figura 03, sendo este igual a  $21 \text{ kN/m}^3$ .

Para obter a pressão do solo na base do muro, utilizou-se o método proposto por Rankine como mostra a figura 04, obtendo uma pressão igual a  $21,747 \text{ kN/m}$ .

No dimensionamento dos pilares e considerado estes elementos como uma viga engastada em balanço, tendo como dimensões, altura igual a  $40 \text{ cm}$  e largura de  $30 \text{ cm}$ . Por meio das equações estabelecidas na NBR 6118 (2014), a área de aço mínima foi determinada sendo igual a  $1,8 \text{ cm}^2$ . Na sequência foi adotado os valores de  $3 \text{ cm}$  para o cobrimento, diâmetro do estribo igual a  $5 \text{ mm}$  e diâmetro da armadura longitudinal de  $16 \text{ mm}$ , de acordo com a NBR 6118 (2014).

O cálculo das armaduras horizontais foi realizado a partir das dimensões pré-definidas das vigas, sendo a altura a maior dimensão igual a  $40 \text{ cm}$  e a largura a menor de  $19 \text{ cm}$ , onde pode-se obter uma área de aço mínima de  $1,14 \text{ cm}^2$ . Adotou um cobrimento de  $3 \text{ cm}$ , diâmetro do estribo de  $5 \text{ mm}$ , armadura longitudinal com barras de diâmetro de  $8 \text{ mm}$ . A área de aço necessária igual a  $1,214 \text{ cm}^2$ . A metodologia de cálculos assim como os valores adotados foram baseados na NBR 6118 (2014).

A fundação foi definida com blocos de  $60 \times 150 \times 53 \text{ cm}$ , sendo que a estaca terá embutimento no bloco no valor correspondente  $6 \text{ cm}$ , além de estacas com  $30 \text{ cm}$  de diâmetro.

## Conclusão

Um ponto importante observado na utilização do roteiro e que o processo de cálculo é explícito, facilita

alteração de parâmetros e adequação de projetos.

A ideia de elaborar um roteiro de cálculo para o dimensionamento de um muro de arrimo surgiu da necessidade de se otimizar o tempo gasto na realização dos cálculos e da escassez de programas especializados na área.

O software gratuito PTC Mathcad Prime 5.0 e baseado em álgebra computacional, o que permite a escrita direta das equações matemáticas em forma de texto o que facilitou o desenvolvimento do roteiro, sendo de fácil manuseio e interface simples, o que possibilita o seu uso para fins acadêmicos e para fins profissionais na área de Engenharia Civil.

Conclui-se que, com base nos resultados aqui apresentados, observou-se que a utilização do roteiro de cálculo para o dimensionamento do muro de arrimo submetido à flexão é viável, uma vez que o roteiro calcula com exatidão e em conformidade com as normas, vantagens como a redução do tempo gasto na realização dos cálculos, facilidade de manuseio, foram observadas utilizando o roteiro.

## Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de execução de obras de concreto armado, revisada em 2014. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: Projeto e execução de fundações, revisada em 2010. São Paulo.

Beer, F. P. e Johnston, E. R. (1994). Mecânica Vetorial para Engenheiros, Estática, Volume I. 5a Edição Revisada, McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP.

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. (2005). Projeto de Muro de Arrimo. São Paulo. Disponível em: [ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-C00-005\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-C00-005_A.pdf)

Gerscovich, D. (2010). Apostila estruturas de contenção muros de arrimo. Rio de Janeiro. Recuperado em 11 setembro, 2019, de: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>

Godoy, N. S. (1972). Fundações. Notas de Aula, Curso de Graduação, Escola de Engenharia de São Paulo – USP. São Paulo

Ketzer, B. e Schäffer, A. (2010). Roteiro de cálculo com auxílio de planilha eletrônica para análise de estabilidade em barragens de concreto por gravidade. Rio Grande do Sul. Recuperado em 10 setembro, 2019, de: <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/6756>

Magri Junior, C. E. (2016). Verificação de roteiro de cálculos para dimensionamento de rotor para turbina tipo Francis. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava. Recuperado em 10 setembro, 2019, de: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8982>

Inc., P. (2019). MatchcadPrime (Versão 5.0.) [Software]. Boston, Massachusetts, EUA: PTC.

Rankine, W. J. M. (1857). On the Stability of Loose Earth. Phil. Trans. Roy. Soc. London, Vol. 147.