

Desenvolvimento de *software* para dimensionamento e detalhamento de blocos de concreto simples

José de Moura¹, Filipe Marinho²

¹Universidade Federal do Piauí / Departamento de Estruturas / jmoourarn@gmail.com

²Universidade Federal do Piauí / Departamento de Recursos Hídricos e Geotecnia e Saneamento Ambiental / filipemarinhon@gmail.com

Resumo

A escolha do tipo de fundação e a determinação de suas dimensões é uma etapa crucial no desenvolvimento do projeto estrutural de edificações. Tal etapa consiste em analisar as características do solo onde a edificação será executada, bem como a magnitude dos carregamentos oriundos da superestrutura. Nesse contexto, as fundações superficiais em blocos de concreto são uma solução para cargas relativamente pequenas e alta resistência à compressão do solo em pequenas profundidades. O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um *software*, nomeado de Cyclops, para dimensionamento geométrico de blocos de fundação superficial em concreto simples a partir da inserção das dimensões e dos esforços solicitantes provenientes dos pilares e da tensão admissível do solo. Além disso, a aplicação terá como dados de saída um relatório do dimensionamento em formato PDF e os desenhos digitais dos blocos em formato DXF. O desenvolvimento do trabalho é realizado a partir da explanação dos conceitos básicos acerca do tema, elucidação das disposições normativas, presentes na NBR 6122:2010 e, por fim, desenvolvimento do Cyclops em linguagem de programação C#. Dessa forma, o *software* propicia produtividade na elaboração de projetos de fundações, sendo, portanto, uma ferramenta para profissionais da área.

Palavras-chave

Dimensionamento e detalhamento; Bloco de concreto simples; Desenvolvimento de *software*.

Introdução

O cenário de projetos estruturais se torna a cada dia mais competitivo, exigindo do engenheiro estrutural uma constante busca por mais produtividade. Uma das formas de atingir tal aumento de produtividade é a busca de novas ferramentas computacionais, sejam elas de desenvolvimento próprio ou de terceiros.

Ao se tratar de fundações de obras de menor porte, a utilização de blocos de concreto simples como solução de estrutural torna-se bastante atrativa, visto que, muitas vezes, é possível obter uma grande redução de custos com a adoção desta solução.

Neste contexto, é apresentado nesse trabalho o *software* Cyclops, que dimensiona blocos de concreto simples, verificando as tensões atuantes no solo e no concreto. A aplicação fornece como saída, além da apresentação de resultados internos, relatórios de cálculo no formato PDF e desenhos dos blocos dimensionados no formato PDF.

Desenvolvimento teórico

O dimensionamento da base dos blocos é realizado de forma que as tensões solicitantes no solo não atinjam a tensão admissível. Com a utilização da equação (1), baseada em conceitos de mecânica dos sólidos, é possível calcular a tensão atuante e com isso determinar dimensões de base que a limitem a tensão resistente.

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} \leq \sigma_{adm} \quad (1)$$

Com as dimensões de base já calculadas, é possível obter a altura dos blocos seguindo recomendações da ABNT/NBR-6122 (2010): Projeto e execução de fundações, através da equação (2).

$$\frac{\tan \beta}{\beta} \geq \frac{\sigma_{adm}}{f_{ct}} + 1 \quad (2)$$

Onde σ_{adm} é a tensão admissível do solo, em MPa e f_{ct} a resistência do concreto a tração direta, em MPa.

Ainda seguindo a norma, na ausência de ensaios, o valor de f_{ct} pode ser estimado a partir das seguintes equações:

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (3)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ct,m} \quad (4)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 \cdot f_{ct,m} \quad (5)$$

Onde $f_{ct,m}$ é a resistência média à tração, $f_{ctk,inf}$ é a resistência inferior à tração e $f_{ctk,sup}$ é a resistência superior à tração.

O significado de β , apresentado na equação (2), é ilustrado na Figura 1.

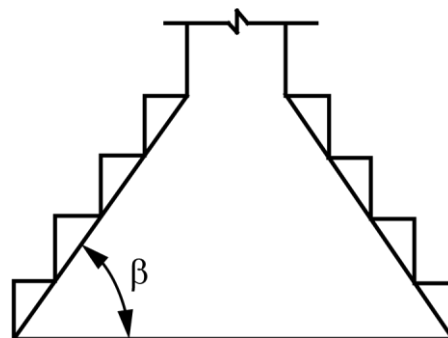


Figura 1 – Ângulo β nos blocos.

Ao se seguir a equação (2), garante-se que o concreto é capaz de resistir as tensões de tração atuante, dispensando então, a utilização de barras de aço.

Software Cyclops

O programa, implementado através da linguagem C# da plataforma .NET, desenvolvida pela Microsoft, foi elaborado com intuito de dimensionar e verificar fundações utilizando a solução de bloco de concreto simples. Tal dimensionamento é realizado utilizando equações fornecidas pela ABNT-6122 (2010) e através de conceitos de mecânica dos sólidos, já citadas neste trabalho.

A janela de abertura foi elaborada com intuito de solicitar do usuário duas informações que necessariamente devem ser fornecidas, resistência característica do concreto e tensão admissível do solo. Esta janela é apresentada na Figura 2.

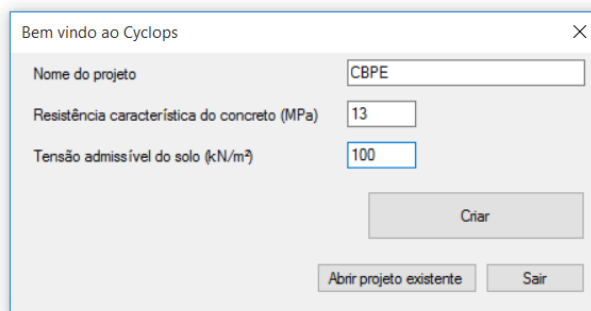
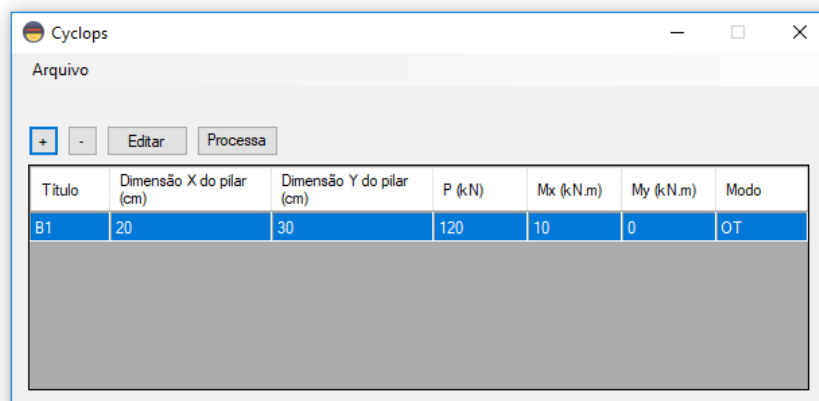


Figura 2 – Janela principal Cyclops.

Na janela principal da aplicação, apresentada na Figura 3, encontra-se a lista de blocos já inseridos no sistema. No exemplo apresentado abaixo, foi inserido um bloco, intitulado “B1”, cujo as dimensões do pilar apoiado são 20 por 30 cm, e recebendo uma carga axial de 120 kN e um momento em torno do eixo x de 10 kN.m.



Título	Dimensão X do pilar (cm)	Dimensão Y do pilar (cm)	P (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Modo
B1	20	30	120	10	0	OT

Figura 3 – Janela principal Cyclops.

Na Figura 4 pode-se observar a janela de preferências, na qual é possível alterar o nome do projeto, tensão admissível do solo, resistência a compressão característica do concreto, dimensão mínima da base do bloco permitida e altura mínima do bloco permitida.

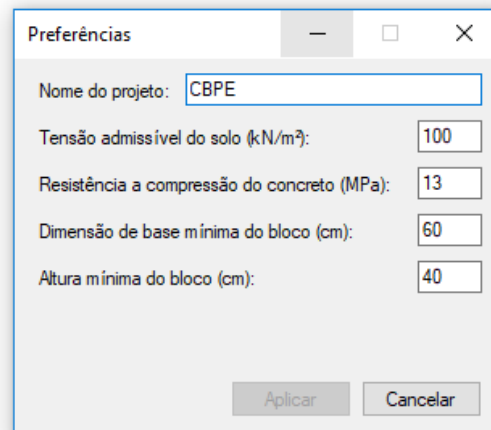


Figura 4 – Janela de preferências.

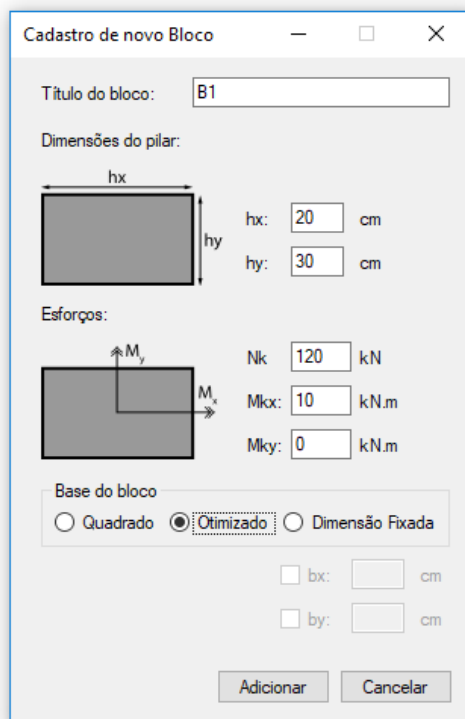
A janela de entrada de dados é dividida em quatro áreas:

- a) Título do bloco, usado apenas para identificação futura;
- b) Dimensões do pilar, dividido em direções x e y, utilizado para o cálculo do β ;
- c) Esforços, em que são solicitados a força normal e os momentos fletores em torno dos eixos x e y;
- d) Forma de dimensionamento, em que o usuário opta pela forma em que a base do bloco será calculada.

Nas formas de dimensionamento, o usuário tem o controle sobre como as dimensões de base serão calculadas, existindo as seguintes possibilidades:

- a) Quadrado, em que o bloco possui a mesma dimensão nas duas direções;
- b) Otimizado, em que o bloco apresentará uma mesma diferença entre dimensão do bloco e dimensão do pilar em ambas as direções;
- c) Dimensão fixada, em que é possível fornecer a dimensões em uma direção, cabendo assim ao *software* o cálculo da outra, ou fornecer as dimensões nas duas direções.

A entrada de dados do bloco “B1”, já comentado anteriormente, pode ser observada na Figura 5.



Cadastro de novo Bloco

Título do bloco: B1

Dimensões do pilar:

hx: 20 cm
hy: 30 cm

Esforços:

Nk: 120 kN
Mkx: 10 kN.m
Mky: 0 kN.m

Base do bloco

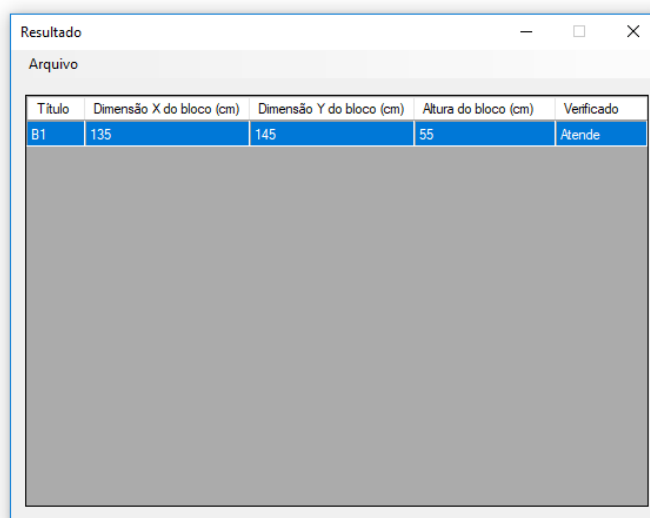
Quadrado Otimizado Dimensão Fixada

bx: cm
by: cm

Adicionar Cancelar

Figura 5 – Inserção e edição de blocos.

Após solicitado o processamento, na janela principal, é exibida a janela de resultados, vide Figura 6. A janela apresenta, em uma tabela, as colunas: título, dimensão do bloco na direção x, dimensão do bloco na direção y, altura do bloco e se o mesmo atende ou não as verificações de tensão de tração no bloco e tensão atuante no solo.



Título	Dimensão X do bloco (cm)	Dimensão Y do bloco (cm)	Altura do bloco (cm)	Verificado
B1	135	145	55	Atende

Figura 6 – Saída dos resultados.

A situação de “Não verificado” só ocorrerá quando o usuário informar, nos dados de entrada, as dimensões do bloco nas duas direções e as mesmas não forem suficientes para garantir uma tensão atuante no solo inferior à tensão admissível.

Ainda na janela de resultados, no menu Arquivo é possível solicitar a geração de um relatório de cálculo no formato PDF (*Portable Document Format*) e a geração dos desenhos dos blocos no formato DXF (*Drawing Exchange Format*).

No início do relatório de cálculo são apresentadas duas tabelas resumo com a maior parte das informações já vistas nos dados de entrada e nos resultados. Os únicos resultados adicionais presentes nestas tabelas são os volumes dos blocos individualmente e o volume total de todos os blocos.

Resumo das entradas						
Título	Dimensão X do pilar (cm)	Dimensão Y do pilar (cm)	P (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Modo
B1	20	30	120	10	0	OT

Resumo dos resultados					
Título	Dimensão X do bloco (cm)	Dimensão Y do bloco (cm)	Altura do bloco (cm)	Verificado	Volume do bloco (m ³)
B1	135	145	55	Atende	1,077
Total					1,077

Figura 7 – Tabelas resumo no relatório de cálculo.

Ainda no relatório de cálculo é apresentado para cada bloco as verificações de tensão no solo e a tensão de tração no concreto. Este recorte do relatório pode ser observado na Figura 8.

Verificação da tensão no solo
Peso próprio: Volume × Peso Específico
Peso próprio: 1,077 m ³ × 24,00 kN/m ³ = 25,84 kN
Tensão ocasionada pela força normal = (120,00 + 25,84) / (1,35 × 1,45) = 74,50 kN/m ²
Tensão máxima causada pelo momento em torno de X: 10,00 × (1,45 / 2) / ((1,35 × 1,45 ³) / 12) = 21,14 kN/m ²
Tensão máxima atuante no solo = 74,50 + 21,14 = 95,64 kN/m ² ≤ 100,00 kN/m ²
Verificação da altura
Braço de alavanca na direção X = (1,35 - 0,20) / 2 = 0,58 m
Braço de alavanca na direção Y = (1,45 - 0,30) / 2 = 0,58 m
Maior braço de alavanca = 0,58 m
β = atan (0,55 / 0,58) = 0,763
tanβ / β = 1,253 ≥ 0,010 / 0,0464 + 1 = 1,215

Figura 8 – Verificação das tensões no relatório de cálculo.

Ao solicitar a exportação para o formato DXF é obtido um desenho simplificado dos blocos, vide Figura 9.

B1
135x145x55

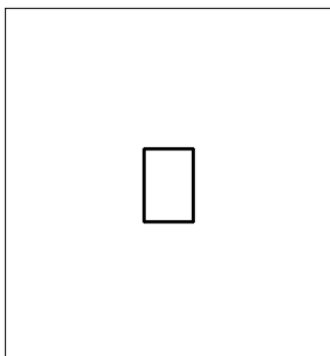


Figura 9 – Bloco “B1” exportado para DXF.

Exemplo aplicado a múltiplos blocos

Apenas para exemplificação, foi elaborado um projeto contendo 4 blocos, um para cada modo de cálculo das dimensões de base. Na Figura 10, são mostrados os dados de entrada de todos os blocos e os resultados fornecidos pelo *software*.

Resumo das entradas						
Título	Dimensão X do pilar (cm)	Dimensão Y do pilar (cm)	P (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Modo
B1	20	30	120	10	0	QD
B2	20	40	130	15	0	OT
B3	20	30	130	0	0	DF BX
B4	20	25	150	0	0	DF BX BY

Resumo dos resultados					
Título	Dimensão X do bloco (cm)	Dimensão Y do bloco (cm)	Altura do bloco (cm)	Verificado	Volume do bloco (m ³)
B1	140	140	55	Atende	1,078
B2	140	160	55	Atende	1,232
B3	100	150	55	Atende	0,825
B4	100	100	40	Não atende	0,400
Total					3,535

Figura 10 – Resumo das entradas e resultados do exemplo.

O bloco “B3” teve sua dimensão na direção x fixada, cabendo ao Cyclops calcular a mínima dimensão na direção y que garanta tensões no solo aceitáveis.

Já o bloco “B4” teve suas dimensões nas duas direções fixadas, sendo assim, o *software* realizou unicamente o cálculo da altura. Neste bloco é possível observar que o mesmo foi marcado como “Não atende” uma vez que com suas dimensões fixadas foram insuficientes para atender a tensão admissível do solo, vide Figura 10.

Verificação da tensão no solo

Peso próprio: Volume \times Peso Específico

Peso próprio: $0,400 \text{ m}^3 \times 24,00 \text{ kN/m}^3 = 9,60 \text{ kN}$

Tensão ocasionada pela força normal = $(120,00 + 9,60) / (1,00 \times 1,00) = 129,60 \text{ kN/m}^2$

Tensão máxima causada pelo momento em torno de X: $10,00 \times (1,00 / 2) / ((1,00 \times 1,00^3) / 12) = 60,00 \text{ kN/m}^2$

Tensão máxima atuante no solo = $129,60 + 60,00 = 189,60 \text{ kN/m}^2 \leq 100,00 \text{ kN/m}^2$

Figura 10 – Verificação da tensão no solo para o bloco “B4”.

Conclusões

Este trabalho apresentou a aplicação Cyclops, elaborada para dimensionamento de blocos de concreto simples, a fim auxiliar engenheiros em sua atividade profissionais ou estudantes em suas atividades acadêmicas.

O *software* realiza o cálculo das dimensões de base para quatro formatos de blocos diferentes (quadrado, otimizado, dimensão fixa em uma direção e dimensões fixas em duas direções). Também foram apresentadas as saídas do *software*, sendo possível exportar um relatório de cálculo no formato PDF e um desenho dos blocos no formato DXF.

Após o desenvolvimento da aplicação, fica claro que o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais, mesmo as mais simples, geram um grande impacto na produtividade na atividade de projetos estruturais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

MARTIN, Robert C.. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship. Boston: Pearson Education, 2008.