

MANTECALC – SOFTWARE EDUCACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SOB EFEITO DE FLEXÃO SIMPLES

DANIEL FERNANDO GUILMO MANTECA^{1*}; ALDO DONIZETI SANTAROSA JUNIOR²;
JOÃO VICTOR FIGUEIREDO ANDRADE³; OSMAR BARROS JUNIOR⁴; JOSÉ EDUARDO QUARESMA⁵

¹Graduando em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, danieljau1@gmail.com;

²Graduando em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, aldo.santarosa@hotmail.com;

³Graduando em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, jvfandrade@uol.com.br;

⁴Mestre em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, osmar.barros.jr@gmail.com;

⁵Mestre em Engenharia Civil, UNIARA, Araraquara-SP, quaresma@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Um dos principais processos utilizados no ramo da engenharia civil e que deve ser dominado pelos alunos é o dimensionamento de vigas que sofrem de flexão normal simples e pura. Este trabalho propõe a criação e a utilização de um software educacional para a realização do dimensionamento de vigas em concreto armado sob efeito de flexão normal simples já que tal atividade se torna muitas vezes repetitiva devido à grande quantidade de variáveis que envolve o processo de dimensionamento. A utilização do software como uma ferramenta auxiliar, oferece ilustrações que facilitam o entendimento da teoria e por consequência a completa. Apesar de ser um software de fácil compreensão, sua utilização é recomendada apenas para complementar o aprendizado, não devendo desprezar a teoria.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia Civil, Vigas, Flexão Simples, Software.

MANTECALC - EDUCATIONAL SOFTWARE FOR THE SIZE OF BEAMS ON THE EFFECT OF SIMPLE FLEX.

ABSTRACT: One of the main processes used in the field of civil engineering and that must be mastered by the students is the sizing of beams that suffer from normal simple and pure flexion. This work proposes the creation and use of educational software to carry out the dimensioning of beams in reinforced concrete under the effect of simple normal bending since this activity is often repetitive due to the large amount of variables involved in the sizing process. The use of the software as an auxiliary tool, offers illustrations that facilitate the understanding of the theory and consequently to complete. Although it is easy to understand software, its use is only recommended to complement the learning, and should not disregard the theory.

KEYWORDS: Civil Engineering, Beams, Simple Bending, Software.

INTRODUÇÃO

Flexão normal simples aparece em peças cujas seções transversais têm ao menos um eixo de simetria (incluindo a armadura) onde surge apenas momento fletor, agindo no plano de simetria (Quaresma et al., 2005). Esse tipo de flexão é muito comum em vigas, já que na maioria dos casos não apresenta esforços normais e recebe cargas verticais vindas das lajes, paredes e pilares.

A ruína de uma seção transversal no caso de uma estrutura segundo o estado limite último ocorre quando os materiais utilizados excedem seus limites de deformação específica. As possibilidades de deformações compõem o que se denomina domínios, esses que são utilizados no processo de dimensionamento e através de estudos anteriores, determinou-se que os domínios mais seguros e viáveis para o cálculo de uma estrutura são os que variam da transição da seção dois a três a seção três a quatro.

O procedimento de cálculo realizado na divisa do domínio três para o quatro é o mais aconselhável, fazendo se uso do aproveitamento total da resistência a compressão do concreto e a

resistência máxima a tração do aço. As equações utilizadas no desenvolvimento do software provêm de Libânio (2003) e podem ser encontradas abaixo:

$$d = \sqrt{\frac{M_d}{0,68 \cdot b_w \cdot \beta_x \cdot f_{cd} \cdot (1 - 0,4 \cdot \beta_x)}} \quad A_s = \frac{0,68 \cdot b_w \cdot d \cdot \beta_x \cdot f_{cd}}{f_{yk}}$$

As demais equações utilizadas foram deduzidas, exceto as utilizadas para a determinação da armadura transversal, utilizando os Modelos I e II, ambos encontrados na NBR6118:2014.

As ancoragens das armaduras longitudinais podem ser realizadas utilizando barras retas ou ganchos de três maneiras de acordo com a norma, da mesma forma os estribos também recebem ganchos para favorecer a resistência da estrutura durante e após a concretagem. Todas essas práticas devem seguir as tabelas 9.1 e 9.2 presentes também na NBR 6118:2014.

O programa utilizado tem como sistema operacional de aplicação o *Microsoft Windows*. O programa utilizado como base para o desenvolvimento e compilador é o *Lazarus*, um IDE de plataforma cruzada compatível com *Delphi* e que utiliza a linguagem *Free Pascal*, a versão empregue foi a 1.6.4 e para a criação do relatório utilizou-se um componente para o *Lazarus* denominado *PowerPDF*. O material de apoio foi desenvolvido por Amando Souza no ano de 2010 para aplicação na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a utilização do software, o processo de dimensionamento foi dividido por etapas de modo a facilitar a compreensão e possibilitar ao usuário testar valores nas incógnitas de acordo com o que foi realizado na etapa anterior. A primeira tela do software é chamada de tela de boas-vindas, ela contém a data e hora atual, uma breve descrição do programa, o nome de seus desenvolvedores.

Ao clicar em avançar será aberta a segunda tela do software, onde dá-se início do dimensionamento. Nessa tela será solicitado os dados para a determinação da altura da viga e a área de aço longitudinal necessária. Os dados a inserir serão descritos nos parágrafos seguintes.

Quanto aos domínios, é possível selecionar a transição do domínio dois para o três ou do domínio três para o quatro, esse último que já foi provado mais eficiente em termos de economia e segurança estrutural. De acordo com o domínio é encontrado o coeficiente β_x .

As resistências características dos materiais devem ser conhecidas já que elas apresentam grande influência no dimensionamento, conhecendo a resistência do concreto estrutural mínima é de 20MPa.

O momento máximo de cálculo deverá ser o valor do esforço interno calculado na estrutura, esse que sofrerá ajuste em seu valor sendo transformado posteriormente em momento de projeto quando majorado pelo coeficiente γ_c .

A largura da viga depende do calculista, e a seleção do cobrimento deve ser realizada através do índice de agressividade ambiental apresentado pela norma de concreto armado (NBR 6118:2014), qualquer dúvida em relação a esse dado deve-se passar o mouse sobre o ponto de interrogação a direita do campo de preenchimento e será aberto um guia para a determinação do valor de acordo com a norma.

Ao clicar em dimensionar o software exibe os resultados e um botão de avançar para a etapa seguinte, nessa é necessário preencher mais alguns dados sobre o dimensionamento da viga, o tamanho máximo da brita utilizada, qual será o diâmetro da ferragem de porta estribo e o tipo de gancho de ancoragem da armadura longitudinal.

Abaixo dos dados inseridos, o software exibe algumas sugestões de utilização para a armadura dimensionada de acordo com a área de aço calculada na etapa anterior. Para a definição e disposição das barras deve-se clicar no botão “Escolher Armadura”.

Ao clicar no botão escolher a armadura, abrirá uma nova janela responsável pela otimização da armadura onde será possível testar as variações a serem utilizadas no dimensionamento. No primeiro painel, deve-se selecionar a quantidade de barras utilizadas até que a área de aço determinada na etapa anterior seja superada (quando na seção de resultados a área de aço restante estiver “Ok!”).

A definição das barras deve ser realizada de preferência com a área mais próxima possível da área calculada na primeira etapa, caso a área das barras escolhidas ultrapasse 10% da área dimensionada o resultado em relação ao aproveitamento ficará vermelho. Será possível utilizar tal distribuição, mas recomenda-se procurar maneiras melhores evitando assim a quantidade elevada de aço desnecessária. Também deve ser analisado nesse painel a possibilidade de realizar a disposição das ferragens e se ela será realizada em uma ou duas camadas de acordo com a largura da viga.

Após a definição da quantidade de barras utilizadas, deve-se utilizar o painel para a distribuição das mesmas nas duas camadas que o software disponibiliza. Todas as barras selecionadas no primeiro painel devem ser dispostas nas camadas de maneira inteligente para facilitar a montagem. Na seção inferior do painel, será descrito a soma das barras disposta em cada camada e se a configuração é possível, já que ela fica limitada de acordo com o espaçamento obrigatório entre as barras e a largura (bw) inserida na primeira etapa.

Após a definição e distribuição correta das barras, o programa permite avançar de etapa. Na etapa seguinte, será realizado o dimensionamento do espaçamento da armadura transversal de acordo com o diâmetro da mesma. Segundo a norma (NBR 6118:2014) existem dois modelos de cálculo e eles podem ser escolhidos de acordo com a preferência do calculista. O programa solicita a inserção do modelo e os dados utilizados para o dimensionamento do mesmo.

Após a entrada das variáveis, deve-se clicar no botão dimensionar e então será exibido a direita os resultados do dimensionamento. Caso o espaçamento entre estribos seja menor que 3,5cm o programa solicita aumentar o diâmetro do mesmo, já que é necessário espaçamento maior para passagem da brita e prevendo a possível utilização de vibradores. Caso o espaçamento encontrado possua valor acima do espaçamento máximo de norma o programa irá retornar como resultado o espaçamento máximo.

A etapa seguinte é chamada de resultados. Deve-se preencher os dados solicitados e em seguida abrir a conclusão. O software gera um relatório com os todos dados e resultados obtidos no dimensionamento e uma folha de detalhamentos. Para a visualização do relatório e dos detalhamentos basta clicar no botão “Gerar e abrir” e abrirá uma janela com o solicitado. Após a visualização do mesmo basta fechar a janela e então o usuário será automaticamente retornado à janela principal.

O relatório é dividido em etapas, contendo os dados inseridos e os resultados. Já os detalhamentos apresentam os principais detalhes de montagem da estrutura dimensionada, como as suas dimensões, a disposição das ferragens, espaçamento entre elas e as ancoragens necessárias. Tanto o relatório quanto o dimensionamento podem ser salvos em formato Portable Document Format – PDF.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

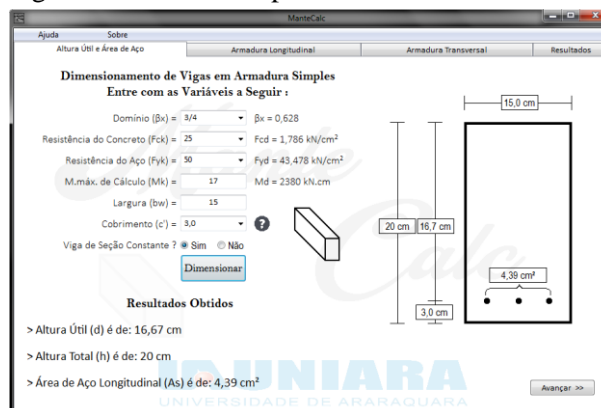
Nessa seção do artigo será realizado um exercício demonstrativo quanto a utilização do software, a demonstração será feita seguindo as etapas descritas no item anterior e irá apresentar os dados inseridos, os resultados obtidos e a *interface* do programa.

Na tabela 1 é possível verificar os dados e resultados obtidos na primeira etapa do dimensionamento, abaixo da tabela localiza-se a interface do software com o processo em andamento.

Tabela 1. Dados inseridos e resultados obtidos na etapa 1.

<i>Dados Inseridos</i>			<i>Resultados Obtidos</i>		
Sigla	Descrição	Valores	Sigla	Descrição	Valores
β_x	Domínio	0,6283	d	Altura Útil	16,67 cm
Fck	Resist. Característica do Concreto	25 MPa	h	Altura Total	20,0 cm
Fyk	Resist. Característica do Aço	500 MPa	As	Área de Aço Longitudinal	4,39 cm ²
Mk	Momento de Cálculo	17 kN.m			
Bw	Largura	15 cm			
c'	Cobrimento	3,0 cm			
-	Viga de Seção Constante ?	Sim			

Figura 1. Interface Etapa 1

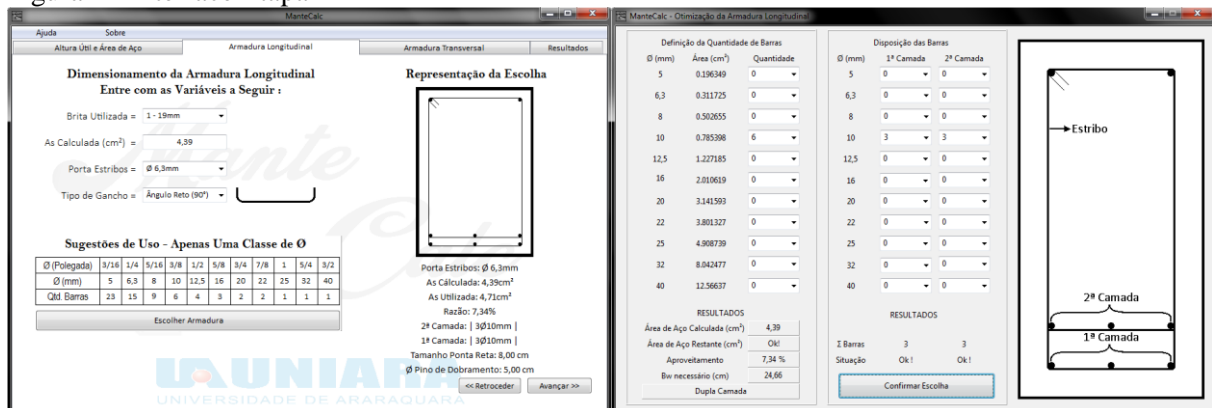


Na tabela 2 a seguir se encontra os dados e resultados referentes a etapa 2, onde o usuário realiza a definição e otimização da armadura longitudinal. Abaixo da tabela, na figura 2, se encontram *screenshots* do software com os dados já preenchidos.

Tabela 2 – Dados inseridos e resultados obtidos na etapa 2.

Dados Inseridos			Resultados Obtidos		
Sigla	Descrição	Valores	Sigla	Descrição	Valores
-	Brita Utilizada	1 - 19 mm	AsU	Área de Aço Long. Utilizada	4,71 cm ²
Øpe	Diâmetro do Porta Estribos	6,33 mm	-	Razão (As/AsU)	7,34%
-	Tipo de Gancho	Ângulo Reto (90°)	-	Disposição das Barras	1°C - 3Ø10mm 2°C - 3Ø10mm
			-	Tamanho Ponta Reta	8,00 cm
			-	Ømín. Pino de Dobramento	5,00 cm

Figura 2 - Interface Etapa 2



Após a finalização da etapa anterior dá-se início a etapa 3, onde é realizado o dimensionamento da armadura transversal. Os dados inseridos e resultados obtidos se encontram na tabela 3 abaixo e a interface do programa pode ser encontrada na figura 3 também a seguir.

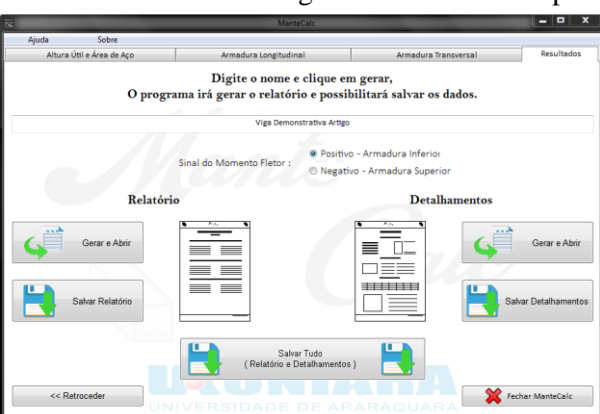
Tabela 3 – Dados inseridos e resultados obtidos na etapa 3.

Dados Inseridos			Resultados Obtidos		
Sigla	Descrição	Valores	Sigla	Descrição	Valores
-	Modelo de Cálculo	Modelo I	Vsd	Esforço Cortante de Projeto	63 kN
Vsk	Esforço Cortante de Cálculo	45 kN	-	Verificação Esmagamento Biela	Ok !
Øt	Diâmetro dos Estribos	6,33 mm	Vc	Esforço Cortante Absorvido Concreto	19,24 kN
-	Tipo de Gancho	Ângulo de 45°	St	Espaçamento Máximo entre Estribos	15,93 cm
-	Número de Ramos	2	-	Tamanho Ponta Reta	5,00 cm
			-	Ømín. Pino de Dobramento	1,90 cm

Figura 3 – Interface Etapa 3

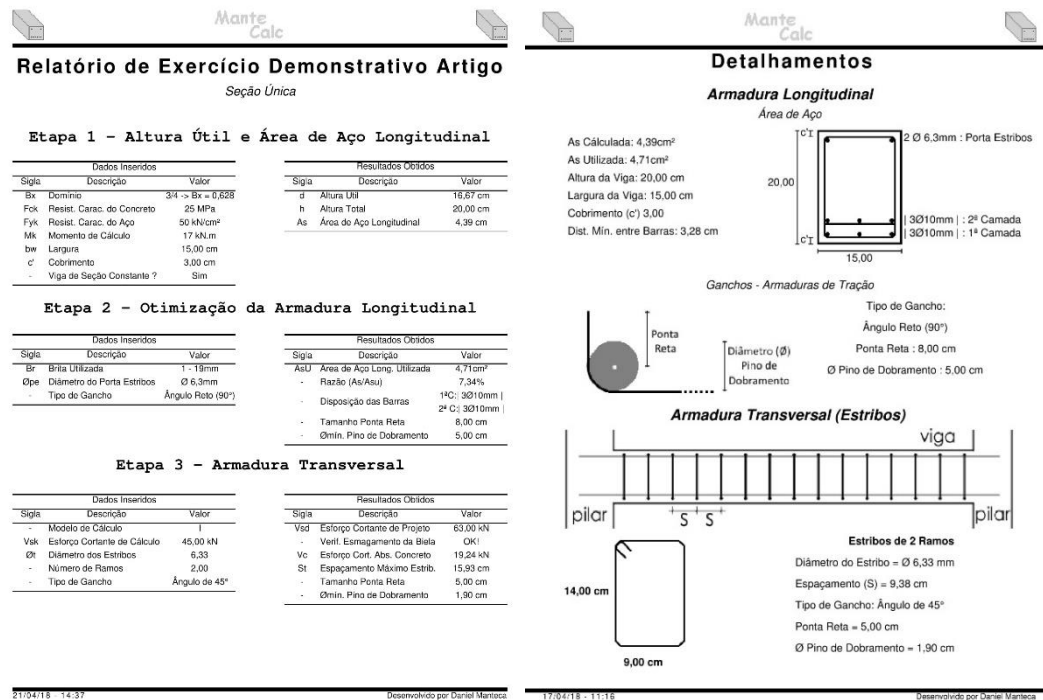


Figura 4 – Interface Etapa 4



Na última etapa gerou-se o relatório e os detalhes com os resultados obtidos na simulação, a interface do programa está representada pela figura 4 acima e os documentos obtidos podem ser encontrados na figura 11 a seguir:

Figura 11 - Modelo de Relatório e Detalhamentos do Software



CONCLUSÃO

Em virtude do que foi desenvolvido, é possível concluir que cada vez mais a engenharia vem se aproximando da tecnologia afim de agilizar e aprimorar o processo de dimensionamento de uma estrutura. A precisão da análise realizada por computadores é indiscutível além de facilitar a compreensão com ilustrações.

Como proposto no resumo, o software desenvolvido tem caráter educacional e deve ser utilizado apenas como um facilitador no processo de aprendizagem. Vale ressaltar mais uma vez que a sua utilização não despreza o conhecimento teórico.

Para um futuro próximo, estuda-se a migração do software para outras plataformas (Android, Linux) além de aprimorar os modelos já existentes anexando o conhecimento prático com o teórico.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- Muzardo, C. D.; Pinheiro, L. M.; Santos, S. P. Flexão simples na ruína: equações. In: Pinheiro, L. M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2003. Cap.7, p. 7.1-7.10.
- Quaresma, J. E.; Arantes, E. J.; Botari, A.; Ciampi, M. M.; Brito, C. de R. Ensinando concreto armado com o auxílio de ferramenta computacional. In: Global Congress on Engineering and Technology Education, São Paulo, 2005. Anais... São Paulo, 2005. p.1722-1726.
- Souza, A. Introdução à ferramenta Lazarus. 2010. Disponível em: https://web.fe.up.pt/~asousa/wiki/lib/exe/fetch.php?id=classes%3Aresources&cache=cache&media=classes:lazarus_tutor_exerc_db_fa_q_-_v16.pdf. Acesso em: 10 de setembro de 2017.