



COBENGE 2005

XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPG-UFPE

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO: UMA FERRAMENTA DE ENSINO

Roberto Racanicchi – rracanicchi@uol.com.br

Universidade Camilo Castelo Branco, Faculdade de Engenharia e Tecnologia

Estrada Projetada F1, s/n, Fazenda Santa Rita

15600-000 – Fernandópolis – São Paulo

Edson F. de Souza – deac@uol.com.br

Maicon M. Albertini – eng.maicon@uol.com.br

Resumo: *Devido ao fato do micro-computador ser uma constante no dia-a-dia do profissional da área de engenharia, proporcionando mais agilidade e confiabilidade na etapa de desenvolvimento do projeto estrutural de concreto armado, a implementação de programas computacionais ocorre de forma inevitável. A utilização de ferramentas de menor proporção na verificação de algumas etapas do dimensionamento pode ser de grande utilidade, tais como comparação entre as áreas de aço fornecidas por programas comerciais e os mesmos, fato este que ajudará o profissional a se sensibilizar com outras ferramentas de trabalho, além de estar em contato com possíveis abordagens sobre a nova norma, a NBR 6118/2003. O artigo apresenta uma ferramenta interativa que proporciona o usuário à verificação de seções transversais de concreto armado quando submetidas à flexão normal simples de forma que o usuário tenha total acompanhamento do fluxo de dados e das etapas envolvidas durante todo processo de dimensionamento, sua utilização requer um estudo prévio do elemento a ser analisado e a obtenção dos esforços solicitantes por qualquer processo convencional ou meios computacionais. Sua utilização como ferramenta de auxílio a disciplinas de Construções de Concreto auxiliará discentes nas verificações de situações desenvolvidas em sala. A implementação computacional é totalmente independente de qualquer outra ferramenta computacional e foi desenvolvida para operar na plataforma MS Windows, além de não necessitar de um micro computador de última geração para sua utilização sua interface é bastante simples e acessível; o que resultará ao final da análise uma demonstração gráfica da seção transversal armada e um breve relatório com todos os dados utilizados durante os processos de cálculo.*

Palavras-chave: *Ensino de engenharia, Automação, Concreto Armado, Vigas.*

1. INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento de um projeto estrutural de concreto armado é bastante sólida a dependência entre elementos o que requer sempre uma análise prévia de outros elementos que estariam contribuindo para o elemento a ser verificado.

O princípio básico de verificação submetido a tal automação depende dos esforços proporcionados por outros elementos ou ações do meio, e estes podem estar sendo obtidos de formas manuais através de processos convencionais, ou diretamente de outros programas.

No entanto cabe ao profissional ou estudante da área, um conhecimento considerável das etapas envolvidas para que seja alcançado um bom desempenho durante a utilização do programa e posterior interpretação dos resultados, já que alguns processos devem ocorrer de forma interativa e estando ligado diretamente a outras etapas durante o dimensionamento, RACANICCHI (2001).

Durante o dimensionamento de um sistema estrutural de concreto armado, sabe-se que seus elementos tais como vigas, lajes, pilares, dentre outros sofrem o mesmo processo de verificação e dimensionamento, concluindo-se assim que este é um processo repetitivo e que muitas vezes requer correções ou alterações, consumindo muito tempo durante seu desenvolvimento, partindo deste princípio a necessidade de automação dos processos de dimensionamento vem satisfazer as condições de eficácia e redução de tempo.

Segundo ADÃO (2002), a etapa de distribuição das armaduras é feita através de tentativas, devendo estas atender a critérios de espaçamentos e ter área superior ou igual à calculada, o que torna esta ferramenta ágil é o fato de que o usuário simplesmente escolhe o diâmetro de cada barra e sua camada de localização na seção cabendo ao programa a verificação dos espaçamentos entre as barras e cálculo do seu centro de gravidade na seção, validando ou não o processo.

O programa apresentado permite ao usuário a verificação de várias seções em questões de minutos desta forma podendo estar adotando outras soluções desta forma proporcionando economia e melhor aproveitamento da seção e dos materiais empregados.

A utilização da aplicação de forma independente de qualquer outro aplicativo torna sua utilização simples, com ênfase em formulários independentes para cada processo fornecendo desta maneira de forma global as áreas de aço necessárias para as armaduras longitudinais e transversais (estribos).

2. DESENVOLVIMENTO

Este programa é capaz de solucionar vigas de seção comum, retangular, quando submetidas à flexão normal simples, fornecendo para o usuário as armaduras de cisalhamento e de flexão, realizando desta forma todas as verificações necessárias estando de acordo a NBR 6118 (2003), que sofreu significativas alterações, e encerrando com a representação gráfica da seção armada e um relatório completo de todos os valores utilizados no desenvolvimento dos cálculos. Este programa utiliza a linguagem de programação Borland Delphi 6, utilizando as premissas de programação de ALVES (2000).

Apresenta-se como uma solução automatizada, proporcionando ao usuário uma considerável redução de tempo e trabalho durante o processo de dimensionamento de elementos estruturais de concreto armado.

2.1 Utilização do programa

A primeira etapa no desenvolvimento do sistema, até então concluído, se iniciou com o desenvolvimento de uma interface gráfica o mais abrangentes possível, fator este que proporciona ao usuário um perfeito controle do fluxo de dados envolvidos até o presente momento.

O sistema executa a verificação e/ou dimensionamento de vigas de seção retangular que estejam submetidas à flexão normal simples. Inicialmente o usuário é abordado com uma tela única, onde se encontram basicamente todos os itens envolvidos no dimensionamento até a exibição de uma área de aço para a seção analisada conforme indicado na Figura 2.1.1.

Inicialmente são requeridos pelo programa os dados geométricos da seção, este que serão validados quanto às dimensões mínimas limitadas pela norma em vigor, na qual o usuário é abordado com mensagens de erro não deixando o dimensionamento prosseguir se estas exigências não forem atendidas. Em outra etapa são necessárias algumas características do concreto empregado, tais como sua resistência característica a compressão e o diâmetro máximo do agregado graúdo utilizado em sua composição, na qual o usuário pode novamente ser surpreendido com possíveis mensagens caso exceda o mínimo exigido.

No que desrespeito ao centro de gravidade das armaduras pode ser ocasionado certa confusão por parte do usuário, pois estes valores inicialmente são adotados e posteriormente poderão estar sendo substituído caso houver necessidade. Sua representação na seção transversal da viga ocorre conforme o indicado na Figura 2.1.2.

Figura 2.1.1 – Tela principal

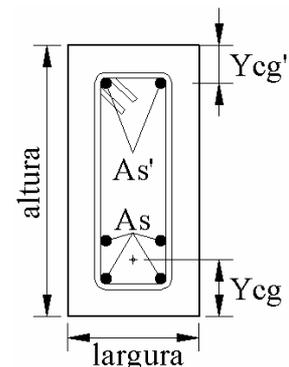


Figura 2.1.2 – Localização dos centros de gravidade das armaduras

O próximo item que deverá ser informado como dado de entrada do programa, diz respeito a uma definição o que foi alterada drasticamente com relação à antiga norma a NBR 6118 (1978), trata-se dos cobrimentos mínimos das armaduras; fator este ligado diretamente à vida útil e a duração dos elementos de concreto armado, o que ocasionou a necessidade da implantação de um formulário auxiliar onde o usuário escolhe o tipo de ambiente na qual o elemento estará exposto e a respectiva zona de implantação e de forma automatizada o programa identifica o cobrimento mínimo das armaduras, a classe de resistência mínima a compressão do concreto (fck) além do fator água/cimento para a sua composição. A seguir representa-se na Figura 2.1.3 a tela de interação do cobrimento das armaduras.

Critérios NBR 6118/03 - Cobrimento em Vigas

Ámbientes de exposição da viga :

Ambiente A : ambientes internos secos (com úmidade relativa do ar menor ou igual a 65%).
Ambiente B : ambientes internos úmidos ou caracterizados por ciclos de molhagem e secagem.
Ambiente C : ambientes externos secos (com úmidade relativa do ar menor ou igual a 65%).
Ambiente D : ambientes externos úmidos ou caracterizados por ciclos de molhagem e secagem.

Tipo de Ambiente : Ambiente A Localização : Urbana

Classe de Agressividade 1

Classe de Agressividade : 1 Cobrimento : 2.5 cm

Classe de Resistência Mínima : 20 Fator Água / Cimento máxima : 0.65

Retornar

Figura 2.1.3 – Tela de escolha do cobrimento em função de uma CAA.

No item de padronização do aço são informados a Classe do Aço e seu respectivo módulo de elasticidade secante (E_s), podendo ocorrer uma variação de acordo com o fabricante e quando não informado é conveniente sua utilização igual a 21000 kN/cm^2 , conforme orienta ARAÚJO (2003).

A seguir são informados, também como base de dados do programa, os respectivos coeficientes de segurança do concreto e do aço. Coeficientes estes que de maneira geral costumam-se variar e que podem ser alterados pelo usuário, de acordo com suas necessidades.

O próximo dado a ser informado é de fundamental importância, ou seja, é toda alma do dimensionamento, o momento fletor. Deve-se informar ao programa o momento fletor de cálculo, majorado pelos seus respectivos coeficientes de segurança e combinados. Estes poderão ser obtidos através de processos convencionais ou modelos computacionais.

Vista a interatividade na distribuição das armaduras, tanto as armaduras de tração quanto às de compressão, e posterior verificação do centro de gravidade destas, foi encontrada a necessidade de estimar um diâmetro para os estribos o que levou a elaboração de um novo formulário cuja implementação do dimensionamento de uma área de aço para os estribos foi necessária, como pode se observar na Figura 2.1.4, é necessário informar o valor do esforço cortante de cálculo, esforço este que deve seguir os mesmos critérios de majoração que o momento fletor, a resistência do aço ao escoamento e a inclinação da armadura.

Durante o processo de dimensionamento da armadura transversal verifica-se a resistência compressão diagonal do concreto, ou seja, se a cortante atuante na seção for maior que a capacidade resistente ao cisalhamento da seção o usuário será abordado com um alerta. Tudo ocorrido como o esperado será informado para o usuário a área de aço (A_{sw}) necessária por metro de viga para se armar à seção e adotando um diâmetro para a barra de aço o próprio programa realiza a verificação dos espaçamentos máximos e mínimos segundo a norma NBR 6118 (2003) e técnicas utilizadas por FUSCO (1995), fornecendo para o usuário o número de barras e o espaçamento entre elas para fins de projeto e informando para o programa principal o diâmetro do estribo utilizado.

Armaduras Transversais (Estribos)

Solicitações de Cálculo :		Memória de Cálculo :		Área de Aço :	
Vsd :	135 kN	fctm :	0.2210 kN/cm ²	Asw min :	1.33 cm ² /m
Padronização do Aço :		fctd :	0.1547 kN/cm ²	Asw :	3.08 cm ² /m
CA :	50 kN/cm ²	Vrd2 :	276.7886 kN	Espaçamentos :	
Inclinação da Armadura :		Vc :	72.4133 kN	Smáx :	30.00 cm
α :	90 °	Vsw :	62.5867 kN	S calc :	10.67 cm
Diâmetro da Barra :		Nº de Barras / Metro de Viga :			
∅ :	5.00 mm	8.00 ∅s / m		<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Retornar"/>	

Figura 2.1.4 – Dimensionamento das armaduras transversais (estribos)

Após o cumprimento de todas etapas preliminares, executa-se o procedimento de cálculo principal, procedimento este acionado através do botão “Calcular”, este que quando todos os dados validados com êxito retornarão para o usuário as áreas de aço de compressão, tração e de estabilidade lateral; está última quando necessário, ou seja, quando a altura da viga exceder 60cm, liberando assim os formulário de distribuição interativa de armadura e fornecendo os valores utilizados nos cálculos no respectivo grupo Memória de Cálculo.

O próximo desenvolvimento requer alguma interpretação do usuário, durante o processo de distribuição das armaduras inferiores o usuário se depara com uma janela onde alguns dados devem ser previamente informados antes dos diâmetros das barras a serem utilizados. A seguir, na Figura 2.1.5, exibe-se a janela de interação das armaduras inferiores (Aramiduras de Tração).

Durante este processo inicialmente serão informados para o programa, em um primeiro item, o número de camadas em que serão distribuídas as barras que darão origem à armadura resistente a tração na seção, item este que resultará em uma tabela cujo número de barras serão informados para cada camada, o que formará a tabela “Padronização das barras de aço” onde serão informados os diâmetros de cada barra para sua respectiva posição seguindo a seguinte ordem ilustrada na Figura 2.1.6.

Pode-se observar na Figura 4.1.6, a ilustração de um exemplo onde são adotadas duas camadas, com três barras na primeira camada e duas barras na segunda camada, facilitando assim o preenchimento da tabela principal.

Fornecidos os diâmetros de cada barra e executando o procedimento de verificação da área de aço, o sistema automaticamente computa as áreas de cada barra e as compara com a sua área de aço necessária com possíveis abordagens caso está seja inferior. E processando os espaçamentos, através do item “Processar espaçamentos” o programa automaticamente calcula o espaçamento necessário entre cada barra distribuindo-as na seção e calculando o seu centro de gravidade com relação a borda mais próxima da seção, sendo de responsabilidade do usuário a simetria das barras no sentido vertical durante a escolha dos diâmetros e verifica se ainda se o mesmo está abaixo do Y_{cg} adotado anteriormente, validando assim o processo com êxito ou não, conclui-se o processo executando o procedimento “Salvar matriz e voltar” retornando ao formulário anterior.

Processo Interativo de Armação da Viga - Parte Inferior

Número de camadas :

Padronização das barras de aço :

Camada	Ref. Ø	Diâmetro	Área Ø	Pos. X	Pos. Y
1	1	16.0	2.01	3.80	3.80
1	2	6.30	0.31	7.50	3.31
1	3	16.0	2.01	11.20	3.80
2	1	16.0	2.01	3.80	7.68
2	2	16.0	2.01	11.20	7.68
3	1	10.0	0.79	3.50	11.26
3	2	10.0	0.79	11.50	11.26

Barras por camada :

Camada	Nº de Barras
1	3
2	2
3	2

Valores Processados

Área de Aço Calculada : cm²

Área de Aço Projetada : cm²

d' adotado : cm

d' calculado : cm

Figura 2.1.5 – Tela para distribuição das armaduras inferiores

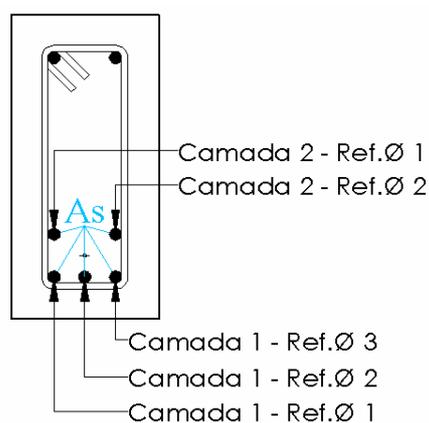


Figura 2.1.6 – Ilustração da distribuição das barras

A seguir representa-se o formulário de armação das fibras superiores armaduras de compressão.

Processo Interativo de Armação da Viga - Parte Superior

Número de camadas :

Padronização das barras de aço :

Camada	Ref. Ø	Diâmetro	Área Ø	Pos. X	Pos. Y
1	1	5.00	0.20	3.25	3.25
1	2	5.00	0.20	11.75	3.25

Barra por camada :

Camada	Nº de Barras
1	2

Valores Processados

Área de Aço Calculada : cm²

Área de Aço Projetada : cm²

d' adotado : cm

d' calculado : cm

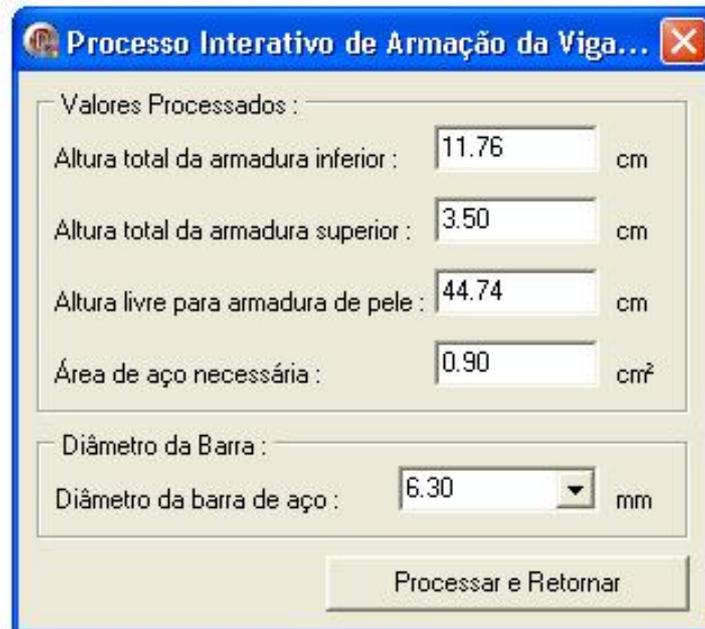
Figura 2.1.7 - Tela para distribuição das armaduras superiores

Durante o processo de distribuição das armaduras superiores é realizado o mesmo trabalho que foi realizado durante a armação das fibras inferiores com a alteração de que agora a ordem de distribuição se dá de ordem inversa, ou seja, as camadas se contabilizam da borda superior para a borda inferior e as barras por camada continuam utilizando a mesma ordem anteriormente vista sendo esta da esquerda para a direita.

Outro item do programa é o projeto de armadura de pele, armaduras estas que darão estabilidade para vigas com considerável esbelteza, ou seja, como estudado na norma vigas cuja sua altura exceda 60 cm requerem uma área de aço lateral, que deve ser considerada em cada uma das faces laterais da viga, nestes casos é necessário à escolha de um diâmetro para tais barras que originarão esta armadura, como podemos observar na figura 2.1.8, o formulário é de simples interface, bastando apenas o usuário escolher o diâmetro da barra que formará tal composição tendo como princípio uma área de aço de pele (A_{sp}) fornecido pelo programa para cada face, e o programa em suas rotinas internas calculará a altura total das armaduras inferiores e superiores, já com o devido cobrimento e estribo, seguido de rotinas complementares que executaram teste até que a lateral seja preenchida totalmente com o diâmetro escolhido satisfazendo assim as condições de espaçamento mínimas e máximas de forma que a área de aço não seja inferior a calculada.

Com todos os dados processados pelo programa, uma melhor interação com o usuário foi viabilizada através da introdução de um formulário e da visualização prévia da seção armada (Figura 2.1.9), desta forma uma melhor compreensão dos dados previamente processados poderiam estar proporcionando um melhor entendimento ocasionando assim quaisquer outras finalidades inclusive posteriores correções, além da visualização dos centros

de gravidades tanto o “Ycg” e “Ycg” adotado quanto o calculado, ocasionando assim uma posterior correção que estaria reduzindo a área de aço calculada.



Valores Processados :	
Altura total da armadura inferior :	11.76 cm
Altura total da armadura superior :	3.50 cm
Altura livre para armadura de pele :	44.74 cm
Área de aço necessária :	0.90 cm ²

Diâmetro da Barra :	
Diâmetro da barra de aço :	6.30 mm

Processar e Retornar

Figura 2.1.8 – Tela do projeto de armadura de pele

Correções estas que quando necessárias ocorreriam de forma normal com o simples acesso a outro formulário, mas que necessitariam de novo cálculo quando a alteração modificar valores de influência nas rotinas de obtenção das áreas de aço. E desta forma uma nova síntese da distribuição das armaduras seria inevitável.

Uma outra ferramenta incorpora a mesma janela aproximações (Figura 2.1.10) para melhor visualização de trechos da seção, salientando o fato de que tal visualização tem apenas finalidade de demonstração e mesmo apesar de perfeita proporcionalidade entre diâmetros e espaçamentos não existem cotas e estas devem ser obtidas através das coordenadas em cada formulário de projetos de armaduras.

Quando finalizada a operação de verificação e antes do encerramento do programa é realizada uma abordagem do usuário o questionando se é necessária à elaboração do relatório, caso este seja necessário é gerado no mesmo diretório da aplicação um arquivo de extensão “.txt” contendo todos os dados previamente calculado e intitulado seguindo a seguinte notação “V Largura x Altura – Md Momento de cálculo”.

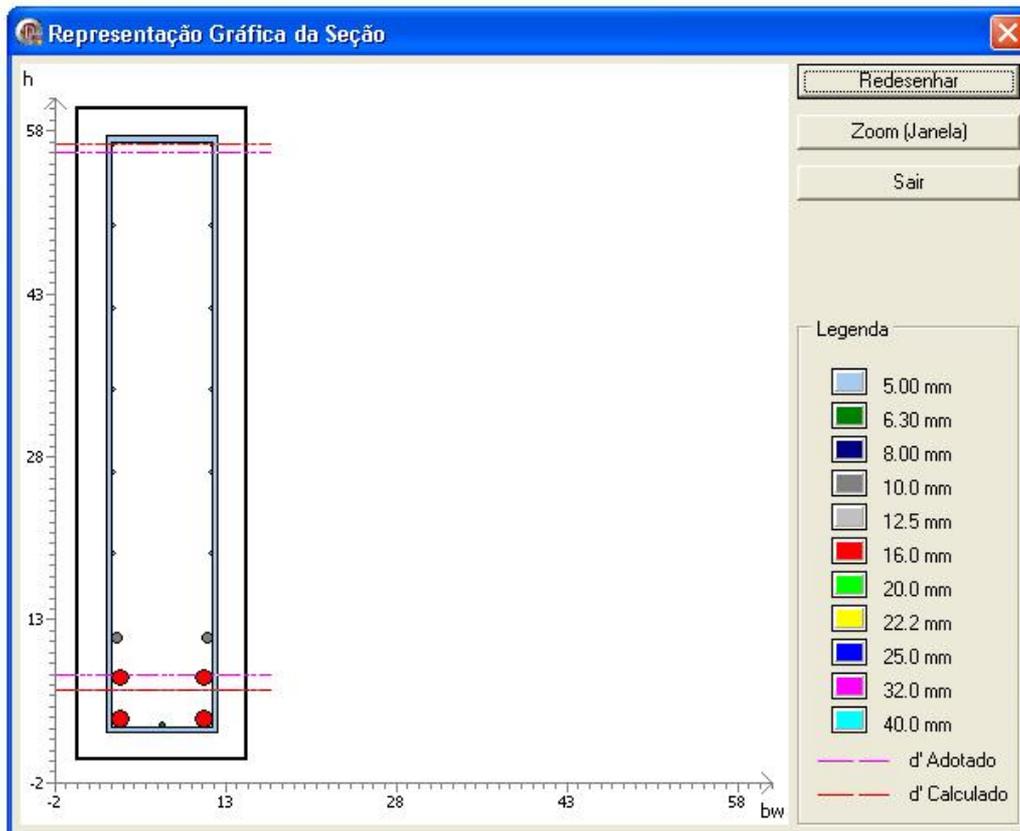


Figura 2.1.9 – Visualização prévia da seção armada

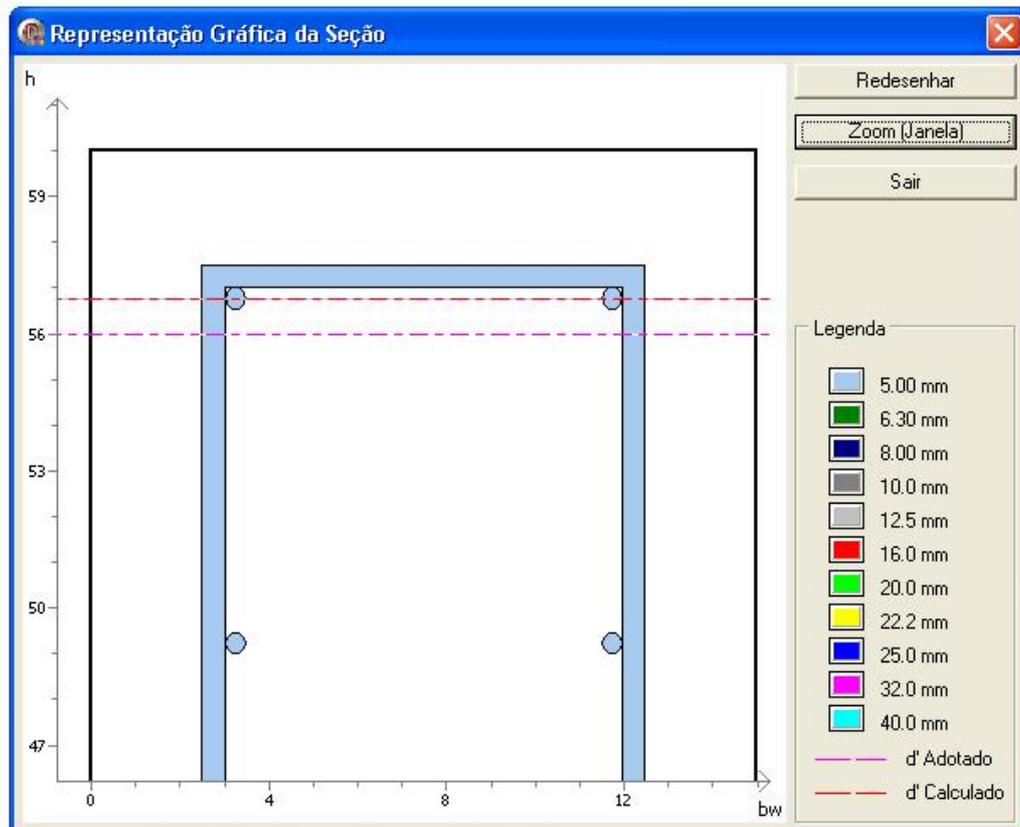


Figura 4.1.10 – Aproximação na seção armada

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de programas com finalidades isoladas serem poucos utilizados por profissionais, que normalmente utilizam aplicações mais robustas, este programa deve ser vista como um princípio para estudantes desenvolverem aplicações de uso comum e sem custos, fortalecendo desta forma o uso de programas livres sem fins lucrativos e que possam estar auxiliando no desenvolvimento de tarefas costumeiras e repetitivas.

A automação no dimensionamento de vigas concreto armado apresentado neste trabalho, vem de encontro com uma série de aperfeiçoamentos que qualquer programa necessita desenvolver, tais como sua interação com outros aplicativos como o de automação no dimensionamento de lajes maciças que se encontra em desenvolvimento.

Um dos principais obstáculos certamente foi à falta de bibliografia tanto da norma de concreto armado que sofreu significativas mudanças e ainda se encontra escassa, quanto da interação das linguagens de programação neste caso o Pascal através da utilização do Borland[®] Delphi com uma interface gráfica para posteriores apresentações.

Concluiu-se que após diversos testes com aplicações usuais de sala de aula e de bibliografia pertinente, a obtenção de resultados satisfatórios foi atingida com êxito, deste modo atingindo o objetivo principal de uma ferramenta estável onde seu apoio à disciplina de Construções de Concreto aplicada especificamente ao dimensionamento de vigas retangulares submetidas à flexão normal simples, é totalmente recomendado já que os resultados obtidos foram idênticos ao esperado.

Outro ponto importante na automação do dimensionamento de vigas, é que na entrada de dados, se houver erros, esses são acusados pelo programa instantaneamente, impossibilitando-se executar o próximo passo do projeto sem que os dados introduzidos estejam corretos, excluindo-se a possibilidade do acúmulo de erros.

Se for de interesse de algum estudante da área o desenvolvimento de projeto semelhante ou mesmo que em outra grande área da engenharia civil, é aconselhável a utilização do Borland[®] Delphi com ferramenta de programação, pois esta se demonstra bastante fácil e de grande desempenho durante todo processo além de proporcionar elevado gerenciamento de todo sistema e permitir sua execução em etapas, sendo também está linguagem muito rica em bibliotecas com funções e procedimento que tornam o processo de programação e desenvolvimento ainda mais simplificado.

Esta automação dos processos de dimensionamento está apta a trabalhar em perfeitas condições e mesmo assim encontra-se em desenvolvimento, desta forma a melhorar cada vez mais seu dinamismo, caminhando assim juntamente com a engenharia para o máximo do aproveitamento dos recursos computacionais no auxílio ao desenvolvimento de projetos.

Atualmente encontra-se desenvolvido apenas a aplicação de dimensionamento vigas retangulares submetidas a flexão normal simples, onde em etapas a serem concluídas está se desenvolvendo um estudo para análise e verificação de lajes maciças para posterior complementação do sistema como um todo.

Agradecimentos

A Universidade Camilo Castelo Branco, pelo apoio prestado, na forma de incentivo profissional e financeiro, para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto armado: novo milênio**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.

ALVES, W. P. **Programação gráfica em Delphi 6**. São Paulo: Editora Érica, 2000.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Editora Dunas, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto; solicitações normais; estados limites últimos; teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1986.

FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Editora PINI, 1995.

RACANICCHI, R. **Construções de concreto**. Fernandópolis: FET/UNICASTELO, apostila, 2001.

ANALYSIS OF THE PROCEDURES FOR THE SIZING OF BEAMS OF ARMED CONCRETE: AN EDUCATION TOOL

***Abstract:** Due to the fact of the computer to be a constant in the daily of the professional of the engineering area, providing more agility and reliability in the stage of development of the structural project of armed concrete, the implementation of computer programs happens in an inevitable way. The use of tools of smaller proportion in the verification of some stages of the dimension can be of great usefulness, such as comparison among the areas of steel supplied by commercial programs and the same ones, fact this that will help the professional sensitizing with other work tools, besides being in contact with possible approaches on the new norm, NBR 6118/2003. The article presents an interactive tool that provides the user the verification of traverse sections of armed concrete when you are submitted to the simple normal flexion so that the user he has total accompaniment of the flow of data and of the stages involved during every dimension process, your use requests a previous study of the element to be analyzed and the efforts applicants' obtaining for any process or means computers. Your use as tool of aid to you discipline of Constructions of Concrete it will aid students to verifications of situations developed in room. The computer implementation is totally independent of any other tool computacional and it was developed to operate in the platarform MS Windows, besides not needing of personal computers of last generation for your use interface it is quite simple and accessible; what will result at the end of the analysis a graphic demonstration of the section traverse armed and a brief report with all the data used during the calculation processes.*

Word-key: Engineering teaching, Automation, Armed Concrete, Beams.