

Cálculos Estruturais em Concreto Armado: Comparativo entre o cálculo manual e com auxílio de software

Antônio Henrique Correa de Freitas¹

Diogo Monsueto dos Santos²

Guilherme Henrique da Silva Moraes²

Igor Soares Cury²

RESUMO:

Os projetos estruturais são os principais responsáveis por oferecerem segurança, funcionalidade e durabilidade para uma construção, bem como atender a todas as necessidades para as quais será construída. Devido a importância e urgência em sua aplicabilidade existem diversos softwares no mercado que possibilitam que estes cálculos sejam executados. Diante disto o desafio deste trabalho é verificar se os resultados obtidos pelo sistema computacional são iguais ou pelo menos próximos aos obtidos através de cálculos realizados manualmente.

Palavras-Chave: concreto armado, estrutural, armadura, cálculo manual, software Eberick.

ABSTRACT:

Structural Projects are primarily responsible for providing security, functionality and durability for construction, as well as meet all the needs for which it will be built. Due to the importance and urgency to run the Structural Calculation, there are various softwares in the market that allow calculations to be made more easily. The challenge of this work is to verify whether the results obtained by computational system are the same or at least similar to those found by calculations performed manually.

Keywords: reinforced concrete, structural, armor, manual calculation, Eberick software.

1 INTRODUÇÃO

O cálculo estrutural, conhecido também como projeto estrutural, nada mais é do que o dimensionamento das estruturas que irão sustentar a edificação e transmitir seus esforços ao terreno.

Um dos mecanismos mais importantes para que se obtenha a viabilidade do concreto armado é a aderência entre a armadura de aço e o concreto, uma vez que a associação destes dois materiais possibilita uma melhor absorção dos esforços solicitantes.

¹ Possui graduação em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1994) e Especialização em Administração Financeira (1996). Professor de Concreto Armado 1 do curso de Engenharia Civil na Faculdade Kennedy.

² Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Kennedy.

A associação entre aço e concreto é uma técnica de construção bastante utilizada principalmente em estruturas, sendo seu dimensionamento e detalhamento realizados com base em cálculos estruturais que são apresentados para execução em obras através de projetos.

Há décadas atrás, os projetos e cálculos estruturais eram realizados em sua maior parte de forma manual, com auxílio de algumas calculadoras programáveis e régua de cálculo, onde os Engenheiros levavam dias e até mesmo semanas para obter os resultados que necessitavam para o dimensionamento e detalhamento de seus projetos.

Com o passar dos anos, os avanços tecnológicos foram extremamente importantes para a Engenharia de Estruturas, influenciando de forma significativa e direta na maneira de como são realizados os projetos estruturais.

Segundo Kimura (2007) é praticamente impossível imaginar cálculos estruturais de grande complexidade sendo elaborados de forma totalmente manual nos dias de hoje. Para construção de um edifício, por exemplo, existem várias etapas que feitas de forma manual podem levar semanas e comprometer o cronograma do projeto, por outro lado, é importante salientar que a informatização não veio para substituir os conceitos do cálculo estrutural e sim para aperfeiçoá-los.

Diante das tecnologias disponíveis nos dias de hoje, com softwares cada vez mais avançados, nota-se que o cálculo desenvolvido de forma manual não é sequer cogitado ao iniciar-se um novo projeto. Desta forma os responsáveis pelos projetos estruturais acabam se tornando dependentes destas ferramentas, que a princípio, oferecem praticidade e agilidade quanto ao desenvolvimento do mesmo.

Com o objetivo de compreender melhor os processos para realização de cálculos estruturais de forma manual e informatizada, foi proposto um modelo experimental contendo laje, vigas e pilares. Os cálculos foram executados através do software Eberick V8 – gold (2013), possibilitando assim que os resultados apresentados fossem comparados aos realizados manualmente. A comparação dos resultados obtidos permitirá avaliar possíveis diferenças em relação às áreas de aço que serão aplicadas ao concreto. Esta situação é extremamente importante para que se tenha uma estrutura com segurança, funcionalidade e durabilidade.

É importante ressaltar que é obrigatório seguir as normas estabelecidas pela NBR (Norma Brasileira) 6118/2014 para se dimensionar e detalhar uma estrutura em concreto armado seja de forma manual ou informatizada.

2 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

As estruturas em concreto armado estão cada vez mais presentes no dia-a-dia das pessoas, basta olhar ao redor que é fácil deparar-se com algum tipo de construção feita com esta solução estrutural, pois se trata de um material que tem aceitação mundial devido a sua facilidade de aplicação e seu custo-benefício.

Para Bastos (2006), a necessidade de se associar ao concreto um material com alta resistência à tração (no caso o aço) é simplesmente devido ao fato de o concreto ser um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão e baixa resistência à tração. Esse material composto (concreto e armadura) denomina-se concreto armado, onde o concreto absorve as tensões de compressão e as barras de aço da armadura absorvem as tensões de tração.

No entanto, não basta apenas a junção entre esses dois materiais, é imprescindível que haja aderência entre o aço e o concreto, pois essa propriedade é a responsável pela transferência das tensões de tração não absorvidas pelo concreto às barras da armadura, garantindo assim o funcionamento conjunto dos dois materiais.

Segundo Ducatti (1993) para que se possa chegar aos resultados de ancoragens e emendas através das barras da armadura é extremamente importante o conhecimento relacionado ao comportamento entre a barra e o concreto ao seu redor, sendo possível realizar o cálculo para as deflexões considerando o efeito de enrijecimento por tração e controle da fissuração, identificando assim a quantidade mínima de armadura a ser utilizada.

De acordo com Tassios (1979) para que se tenha uma ligação aço-concreto eficiente é importante que esta seja quantificada em relação à tensão de aderência versus deslizamento, pela qual a variação da tensão que surge na interface do aço com o concreto seja expressa devido à sua variação.

Entende-se que quando o deslizamento atinge valor máximo, haverá a ruptura da aderência, o que está associado de certa forma à deformação e fissuração.

Para que sejam evitadas situações como estas, são apresentados em normas e procedimentos de projeto estrutural, alguns valores limites a serem utilizados para efeitos de dimensionamento e detalhamento de estruturas.

2.1 O Projeto Estrutural

O projeto estrutural para edificações consiste basicamente no pré-dimensionamento dos elementos estruturais (lajes, vigas, pilares e fundações), análise dos deslocamentos e esforços solicitantes da estrutura, dimensionamento e detalhamento das armaduras.

Conforme Kimura (2007), para que o projeto estrutural seja de boa qualidade, a estrutura deve atender a três requisitos principais, capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

Devido à complexidade e importância de que os cálculos estruturais possuem no processo de concepção de uma obra, nas últimas décadas houve um grande avanço no desenvolvimento de softwares para projetos estruturais. No entanto, ao optar-se pela utilização de meios informatizados, os modos de cálculos que eram utilizados antigamente acabaram se extinguindo, provavelmente pela demora que eram realizados e pela possibilidade de erros mais constantes.

Diante disto foi executado o cálculo estrutural para um modelo qualquer proposto, servindo como exemplo para a comparação dos resultados que cada um dos meios de cálculo (informatizado e manual) apresentou. Serão objetos de análises as áreas de aço encontradas no dimensionamento das lajes, vigas e pilares, uma vez que as cargas utilizadas para todos os elementos serão consideradas as mesmas, tanto para o modo informatizado quanto para o manual.

Atualmente existem inúmeros programas computacionais que são adotados para o cálculo de estruturas em concreto armado, dentre eles foi escolhido o software Eberick V8 – Gold (2013) para execução do modelo proposto. Os cálculos manuais foram desenvolvidos com conhecimentos adquiridos em diversas disciplinas do curso de Engenharia Civil, destacando-se a disciplina de Concreto Armado, que possibilitou a realização dos procedimentos e métodos adotados para a obtenção dos resultados.

2.2 Dados do Projeto

O modelo escolhido como exemplo foi um exercício dado em sala de aula pelo professor Ronilson Flávio de Souza, porém foram feitas algumas alterações referentes às cargas adotadas, utilizando-se então apenas a planta baixa como modelo de estudo para o presente trabalho. O projeto arquitetônico proposto é constituído de duas lajes maciças, sete vigas e onze pilares, cada qual com suas respectivas dimensões e cargas aplicadas.

Nas figuras 1 e 2 tem-se o exemplo do projeto arquitetônico que será utilizado para o desenvolvimento dos cálculos estruturais, sendo o mesmo para o realizado manualmente e através do software Eberick V8 – Gold, demonstrando ainda o posicionamento das lajes, vigas e pilares a serem dimensionados e suas armaduras respectivamente.

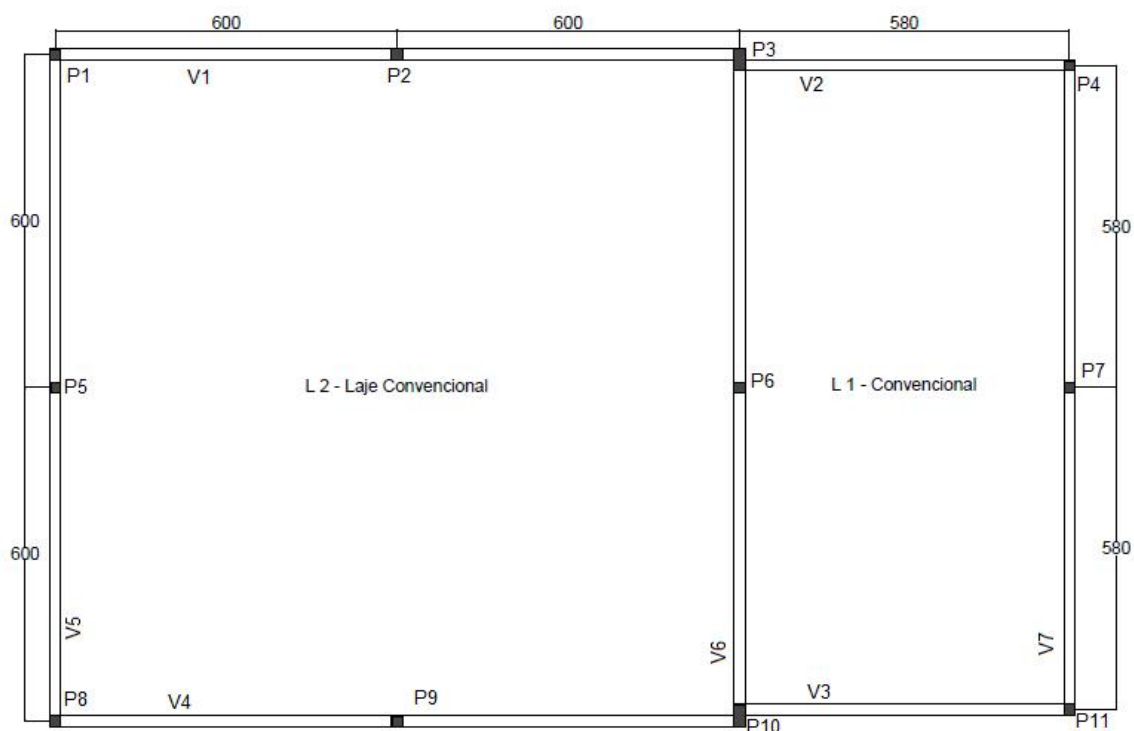


Figura 1 – Planta Baixa criada através do software Autocad 2011
Fonte: Ronilson Flávio de Souza

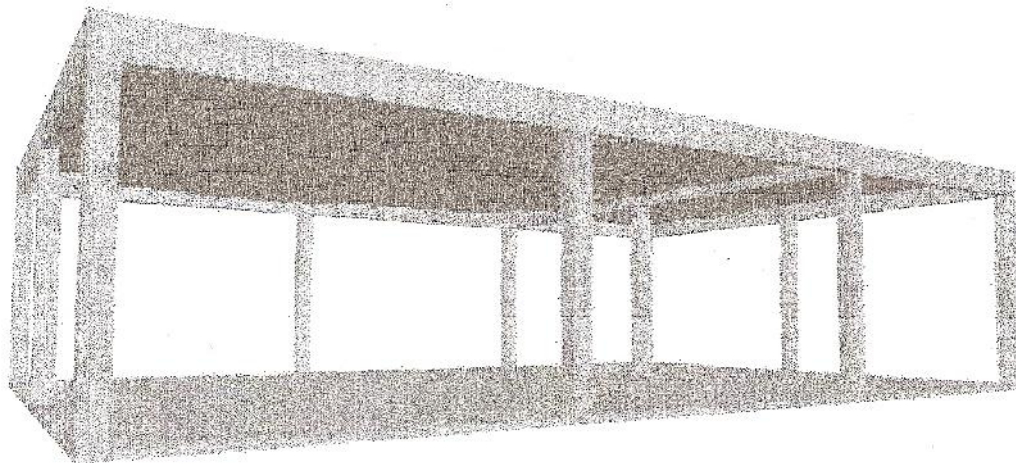


Figura 2 – Perspectiva 3D criada através do software Autocad 2011
Fonte: Ronilson Flávio de Souza

De acordo com Botelho e Marchetti (2011), para obter-se um bom projeto estrutural é recomendada a integração das atividades de projeto na área de estruturas com os outros participantes, sejam projetistas, arquitetos e até mesmo os próprios engenheiros.

Para que se inicie qualquer projeto estrutural é indispensável a utilização de um projeto arquitetônico já elaborado previamente, pois ao analisá-lo o engenheiro é capaz de elaborar uma solução preliminar para a estrutura a ser implantada, assim como os estudos geotécnicos o possibilita estudar o tipo de fundação ideal para o empreendimento.

2.3 Lajes

As placas de concreto armado são denominadas de laje, sendo definidas como elementos de superfície plana solicitadas predominantemente por cargas normais ao seu plano. Normalmente as lajes são destinadas a receber cargas verticais que atuam nas estruturas, sendo estas transmitidas para seus apoios, geralmente vigas e pilares.

A carga total utilizada para o cálculo da laje 1 foi de 745 Kg/m^2 e para a laje 2 de 1.120 kfg/m^2 , considerando uma sobrecarga de 250 kgf/m^2 cada e o f_{ck} do concreto de 25 MPa . Ambas as lajes foram calculadas como sendo maciça e sem engastes, com espessuras de 15 e 30 cm , para laje 1 e laje 2 respectivamente.

Utilizando o software Eberick V8 – Gold, foi necessário primeiramente carregar o projeto arquitetônico elaborado previamente para que se iniciasse a entrada gráfica com as informações da estrutura a ser calculada. As lajes foram pré-dimensionadas uma de cada vez, sendo que o tipo de laje a ser utilizada já tinha sido definido anteriormente, bem como sua espessura e as cargas que atuam nas mesmas.

Após a inserção dos dados, verificou-se os resultados de cálculo na planilha de dimensionamento de lajes gerado pelo programa, o qual possibilitou a identificação dos momentos fletores para determinada laje, bem como a verificação da área de aço recomendada para combater a tração existente devido ao momento máximo atuante.

Definido o dimensionamento das lajes, foi gerado o relatório de dados, que apresenta as informações inseridas para cada laje do painel, sendo descrito os tipos das lajes, as seções transversais e o carregamento distribuído por metro quadrado sobre as mesmas, conforme apresentado na tabela 1 abaixo.



AltoQi Eberick V8 Gold

1

Guilherme Moraes
GMEstrutural

13/10/2014
13:46:59

Cálculos das Lajes

PLANTA fck = 250.00 kgf/cm² E = 166600 kgf/cm² Peso Espec = 2500.00 kgf/m³
Lance 2 cobr = 2.50 cm

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)												
Laje	Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Armadura superior	Cisalhamento
		Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)			
L1	X	bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 3995 kgf.m/m As = 8.64 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 969 kgf.m/m As = 1.87 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 8.64 cm ² /m ø12.5 c/14 (8.77 cm ² /m) fiss = 0.24 mm	A's = 1.86 cm ² /m ø6.3 c/16 (1.95 cm ² /m)	vsd = 5.14 tf/m vrd1 = 8.43 tf/m Modelo I vrd2 = 49.36 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m
	Y	bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 1352 kgf.m/m As = 2.98 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 773 kgf.m/m As = 1.66 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 2.98 cm ² /m ø8.0 c/16 (3.14 cm ² /m) fiss = 0.15 mm	A's = 1.68 cm ² /m ø6.3 c/18 (1.73 cm ² /m)	vsd = 3.26 tf/m vrd1 = 6.83 tf/m vrd2 = 44.91 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m
L2	X	bw = 100.0 cm h = 30.0 cm	Md = 10583 kgf.m/m As = 9.54 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 30.0 cm	Md = 7413 kgf.m/m As = 6.52 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 9.54 cm ² /m ø12.5 c/12 (10.23 cm ² /m) fiss = 0.23 mm	A's = 6.57 cm ² /m ø8.0 c/7 (7.18 cm ² /m)	vsd = 22.23 tf/m vrd1 = 15.51 tf/m Modelo I vrd2 = 114.45 tf/m vsw = 1.83 tf/m asw = 1.98 cm ² /m
	Y	bw = 100.0 cm h = 30.0 cm	Md = 10565 kgf.m/m As = 10.05 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 30.0 cm	Md = 7457 kgf.m/m As = 6.93 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 10.05 cm ² /m ø12.5 c/12 (10.23 cm ² /m) fiss = 0.25 mm	A's = 6.96 cm ² /m ø10.0 c/11 (7.14 cm ² /m)	vsd = 23.24 tf/m vrd1 = 15.01 tf/m vrd2 = 109.02 tf/m vsw = 3.91 tf/m asw = 4.45 cm ² /m

Tabela 1 – Dados para cálculo das lajes

Fonte: Eberick V8 - Gold

O relatório de resultados gerados é apresentado a seguir na tabela 1.2, contendo os esforços e os resultados finais obtidos no dimensionamento das lajes 1 e 2. Este relatório possui as informações de espessura da laje, carregamento e esforços atuantes utilizados para dimensionamento das armaduras longitudinais positivas obtidas no cálculo, armaduras efetivas e a flecha máxima da laje.



AltoQi Eberick V8 Gold

1

Guilherme Moraes
GMestrutural

13/10/2014
13:47:13

Resultados da Laje

PLANTA fck = 250.00 kgf/cm² E = 166600 kgf/cm² Peso Espec = 2500.00 kgf/m³
Lance 2 cobr = 2.50 cm

Nome	Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha (cm)
L1	15	745.00	3995	1352	As = 8.64 cm ² /m (ø12.5 c/14 - 8.77 cm ² /m)	As = 2.98 cm ² /m (ø8.0 c/16 - 3.14 cm ² /m)	2.54
L2	30	1120.00	10583	10565	As = 9.54 cm ² /m (ø12.5 c/12 - 10.23 cm ² /m)	As = 10.05 cm ² /m (ø12.5 c/12 - 10.23 cm ² /m)	4.62

Tabela 1.2 – Área de aço para as lajes

Fonte: Eberick V8 - Gold

Após os resultados obtidos pelo software Eberick referentes à mesma planta apresentada anteriormente, foram realizados de forma manual os cálculos para obtenção da área de aço. Este procedimento possibilitou a análise comparativa entre ambos os meios utilizados para o cálculo das lajes.

Primeiramente foram verificados os deslocamentos limites (ou flechas) para que se tenha conhecimento do estado limite de deformações excessivas da estrutura em serviço. Dentre as diversas tabelas existentes para facilitar os cálculos, foi escolhida a Tabela de Bares (1970), que deduziu os valores da equação da placa para diversas condições de contorno, tanto para o cálculo dos esforços quanto para o cálculo das flechas. De acordo com a NBR 6118/2014 a flecha final deve ser comparada à flecha limite, e esta deve ser 2,46 vezes maior que a flecha elástica inicial, caso não seja

atendida deve-se calcular uma contra flecha de maneira que não ultrapasse o valor da flecha limite.

Diante destes critérios foi encontrado para a laje 1 e laje 2 os valores de 2,21 cm e 4,5 cm para a flecha no tempo infinito, sendo necessário o uso de contra flechas de 1,5 cm e 3 cm, atendendo assim as condições impostas pela norma em vigor.

Área de aço encontrada para a laje 1 foi de 7,41 cm² e 1,71 cm² em direção aos eixos x e y respectivamente, e para a laje 2 foi obtida uma área de 6,41 cm² para cada um dos eixos, conforme apresentado na tabela 1.3 abaixo.

RESULTADOS DA LAJE

fck = 25 Mpa

Aço: CA-50

cobr = 2.50 cm

Laje	Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (Kgf.m/m)	Asx	Asy	Contra Flecha
L1	15	745	3521	880	7,41 cm ² /m	1,71 cm ² /m	1,5 cm
L2	30	1.120	6720	6720	6,41 cm ² /m	6,41 cm ² /m	3 cm

Tabela 1.3 – Resultados obtidos através de cálculos manuais

Fonte: Elaborada pelos autores

A tabela 1.4 mostra as áreas de aço encontradas para cada um dos modos calculados, tendo a mesma como base para a comparação entre eles.

CÁLCULO DA LAJE - EBERICK x MANUAL

LAJE	EBERICK			MANUAL		
	Asx	Asy	Contra Flecha	Asx	Asy	Contra Flecha
L1	8,64 cm ² /m	2,98 cm ² /m	2,5 cm	7,41 cm ² /m	1,71 cm ² /m	1,5 cm
L2	9,54 cm ² /m	10,05 cm ² /m	4 cm	6,41 cm ² /m	6,41 cm ² /m	3 cm

Tabela 1.4 – Comparativo entre resultados Eberick x Manual

Fonte: Elaborada pelo autores

Diante dos dados obtidos referentes às áreas de aço das lajes, o cálculo manual apresentou uma quantidade de aço menor do que a gerada pelo Eberick para ambas as lajes. Como se sabe que em uma estrutura de concreto armado o aço tem como função básica resistir aos esforços de tração, pode-se dizer então que a área de aço gerada pelo software Eberick V8 – Gold apresenta uma quantidade de aço desnecessária, uma vez que o modo calculado manualmente também atende as normas estabelecidas pela NBR 6118/2014, sendo este o mais econômico devido aos custos dos materiais de armação.

2.4 Vigas

De acordo com a NBR 6118/2014 as vigas são definidas como elementos lineares em que a flexão é preponderante, sendo que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal.

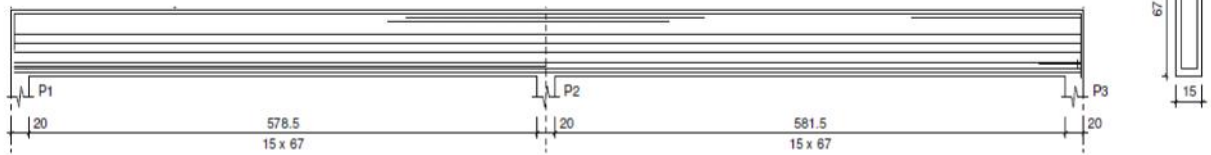
Primeiramente foi executado o cálculo através do software Eberick V8 – Gold, onde foram inseridos os dados das vigas a serem calculadas. Para este procedimento foi necessário inserir as vigas uma a uma, porém devido ao cumprimento e cargas iguais, algumas foram pré-dimensionadas de forma idênticas. Além do posicionamento correto das vigas na estrutura, foram inseridos alguns dados no software, como por exemplo, o tipo de viga, a seção (base e altura) e as cargas atuantes, para cada uma das sete vigas.

Na figura 3 são apresentadas todas as vigas que foram utilizadas para o cálculo da armadura, sendo detalhado o seu comprimento, base, altura e os respectivos pilares que as mesmas são apoiadas.

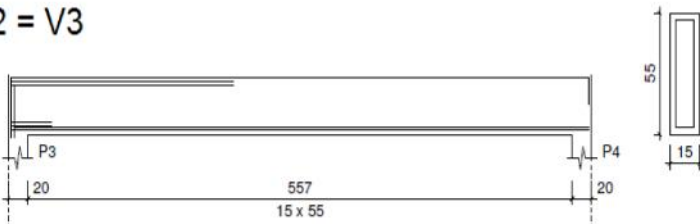
A tabela 2 mostra os resultados gerados pelo software Eberick, onde apresenta as áreas de aço necessárias para cada viga calculada. É importante ressaltar que neste procedimento, todos os cálculos foram realizados pelo software, sendo necessária apenas a inserção dos dados utilizados como pré-dimensionamento para obtenção dos resultados gerados.

Relação das Vigas para Cálculo

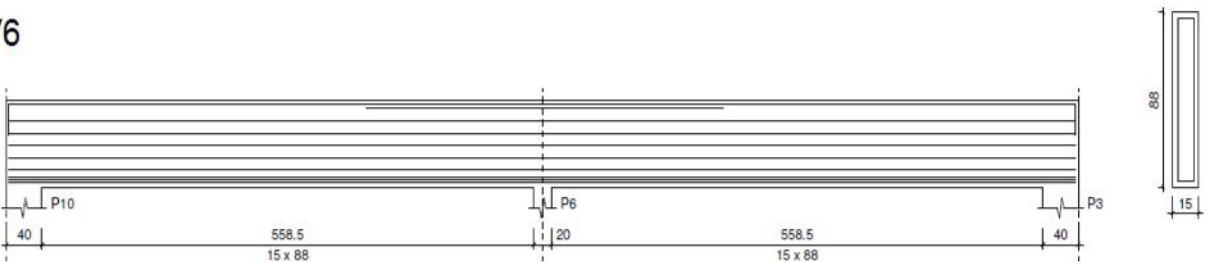
V1 = V4 = V5



V2 = V3



V6



V7

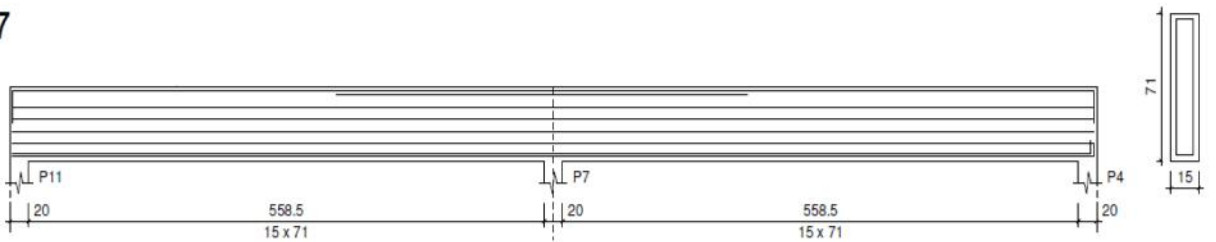


Figura 3 – Formas e seções das vigas para cálculo

Fonte: Eberick V8 - Gold

AltoQi Eberick V8 Gold

Guilherme Moraes
GMEstrutural

1

13/10/2014
13:48:59



Resultados das Vigas

$f_{ck} = 250 \text{ kgf/cm}^2$

Cobrimento = 3.00 cm

Peso específico = 2500.00 kgf/m³

Viga	Seção	Vãos		Armadura de Cisalhamento			Avisos
		Md (kgf.m)	As	Dados cisalhamento	Armadura mínima	Als	
V1	retangular bw = 15.00 cm h = 67.00 cm	9167.51	As = 3.66 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 61.10 cm Vc0 = 7.05 tf k = 1.00	Vmin = 5.49 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
		7172.94	As = 2.79 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 61.70 cm Vc0 = 7.12 tf k = 1.00	Vmin = 3.84 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
V2	retangular bw = 15.00 cm h = 55.00 cm	6047.56	As = 2.97 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 49.70 cm Vc0 = 5.74 tf k = 1.00	Vmin = 3.09 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
V3	retangular bw = 15.00 cm h = 55.00 cm	6047.56	As = 2.97 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 49.70 cm Vc0 = 5.74 tf k = 1.00	Vmin = 3.09 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
V4	retangular bw = 15.00 cm h = 67.00 cm	9167.51	As = 3.66 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 61.10 cm Vc0 = 7.05 tf k = 1.00	Vmin = 5.49 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
		7172.94	As = 2.79 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 61.70 cm Vc0 = 7.12 tf k = 1.00	Vmin = 3.84 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
V5	retangular bw = 15.00 cm h = 67.00 cm	9167.51	As = 3.66 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 61.10 cm Vc0 = 7.05 tf k = 1.00	Vmin = 5.49 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
		7172.94	As = 2.79 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 61.70 cm Vc0 = 7.12 tf k = 1.00	Vmin = 3.84 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
V6	retangular bw = 15.00 cm h = 88.00 cm	15590.80	As = 4.62 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 82.00 cm Vc0 = 9.46 tf k = 1.00	Vmin = 6.63 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
		15419.58	As = 4.57 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 82.00 cm Vc0 = 9.46 tf k = 1.00	Vmin = 6.63 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
V7	retangular bw = 15.00 cm h = 71.00 cm	5368.21	As = 1.91 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 66.40 cm Vc0 = 7.66 tf k = 1.00	Vmin = 4.13 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		
		8422.94	As = 3.06 cm ² As' = 0.00 cm ²	d = 66.25 cm Vc0 = 7.65 tf k = 1.00	Vmin = 4.12 tf Aswmin = 1.54 cm ² (2 ramos)		

Tabela 2 – Áreas de aço para as vigas

Após a obtenção dos cálculos manuais, primeiramente foram identificados alguns dados como, por exemplo, a classe do concreto, do aço e do cobrimento, a forma estrutural do tabuleiro com as dimensões preliminares da planta, as reações de apoio das lajes, as cargas das paredes por metro quadrado e as dimensões das seções transversais das vigas já pré-dimensionadas.

Antes de calcular as armaduras foi verificado se a seção transversal era suficiente para resistir aos esforços de flexão e cisalhamento, identificando se seria necessária a utilização de armadura simples ou dupla. Logo após essa verificação, foi calculada a armadura para combater os esforços por tração atuantes ao longo da viga. Este procedimento possibilitou a comparação entre as áreas de aços geradas pelo software e as encontradas manualmente.

Na tabela 2.1, são apresentados os resultados que foram encontrados no cálculo manual.

Resultados das Vigas

$f_{ck}=25\text{MPa}$ $\text{cob.} = 3 \text{ cm}$
aço CA-50

Viga	Seção	Md (kgf.m)	As (cm ²)
V1	15 x 67	9168	3,47
		7173	2,69
V2	15 x 55	6048	2,82
V3	15 x 55	6048	2,82
V4	15 x 67	9168	3,47
		7173	2,69
V5	15 x 67	9168	3,47
		7173	2,69
V6	15 x 88	15591	4,44
		15420	4,39
V7	15 x 71	5368	1,86
		8423	2,97

Tabela 2.1 – Resultados obtidos através de cálculos manuais

Fonte: Elaborada pelos autores

Diante dos resultados obtidos, percebe-se uma pequena diferença em relação à área de aço gerada pelo software e a obtida manualmente, sendo que para o primeiro método a quantidade apresentada é maior que para o segundo, mesmo esta diferença sendo mínima. Desta forma, assim como nos resultados apresentados pelas lajes, o software proporciona uma área de aço desnecessária e antieconômica em relação ao modo manual, uma vez que ambos os modos calculados atendem as normas prescritas na NBR 6118/2014. A tabela 2.2 abaixo mostra o comparativo entre ambos os métodos na qual poderá perceber-se a diferença entre as áreas de aço encontradas.

CÁLCULO DAS VIGAS - EBERICK X MANUAL

Viga	EBERICK	MANUAL
	As (cm ²)	As (cm ²)
V1	3,66	3,47
	2,79	2,69
V2	2,97	2,82
V3	2,97	2,82
V4	3,66	3,47
	2,79	2,69
V5	3,66	3,47
	2,79	2,69
V6	4,62	4,44
	4,57	4,39
V7	1,91	1,86
	3,06	2,97

Tabela 2.2 – Comparativo entre resultados Eberick x Manual

Fonte: Elaborada pelo autores

2.5 Pilares

Os pilares são definidos pela NBR 6118/2014 como sendo elementos lineares de eixos retos, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes. A função principal destes elementos é receber as ações atuantes nos diversos níveis e conduzi-las até as fundações.

Assim como nos demais elementos estruturais calculados anteriormente foi realizado primeiramente os cálculos através do software Eberick V8 – Gold. Os dados inseridos para cálculo foram o tipo de seção, base e altura. Para este projeto foi alocado um total de 11 pilares que irão sustentar as cargas atuantes ao longo da estrutura.

A tabela 3 apresenta os resultados gerados pelo programa, assim como a carga normal utilizada para cálculo e a armadura necessária para combater os esforços de tração.



AltoQi Eberick V8 Gold

Guilherme Moraes
GMEstrutural

27/10/20
16:32:

Resultados dos Pilares

$f_{ck} = 250.00 \text{ kgf/cm}^2$

$c_{obr} = 3.00 \text{ cm}$

Peso Espec – 2500 kgf/m^3

Pilar	Seção (cm)	Nível Altura (cm)	Dados			Resultados
			Nd máx (tf)	MBd (kgf.m)	MIIId (kgf.m)	As cm ²
P1	20.00 X 20.00	280	12.29	1887	2526	6.28
P2	20.00 X 20.00	280	55.48	776	1267	7.74
P3	20.00 X 40.00	280	29.48	1593	8589	6.03
P4	20.00 X 20.00	280	12.44	2285	1774	6.28
P5	20.00 X 20.00	280	55.48	776	1267	7.74
P6	20.00 X 20.00	280	75.97	1720	619	2.89
P7	20.00 X 20.00	280	25.81	546	625	1.57
P8	20.00 X 20.00	280	12.29	1887	2526	6.28
P9	20.00 X 20.00	280	55.48	776	1267	7.74
P10	20.00 X 40.00	280	29.48	1593	8589	6.03
P11	20.00 X 20.00	280	9.80	2273	1300	6.28

Para c Tabela 3 – Áreas de aço para os pilares os dados inseridos no software Eberick. Primeiramente foram calculados os esforços solicitantes (força normal), o índice de esbeltez, o momento fletor, a esbeltez limite, o momento de 2ª ordem e por fim a armadura. Todos estes procedimentos foram executados de acordo com o pré-dimensionamento da seção do pilar tendo como base o projeto arquitetônico elaborado previamente e de acordo com a NBR 6118/2014.

A tabela 3.1 mostra os resultados encontrados após a realização dos cálculos de forma manual.

Resultados Pilares

Pilar	Seção (cm)	Altura (cm)	Força Normal Nd - tf	Momento Fletor (Kgf.m)	As (cm ²)
P1	20 X 20	280	12,30	2526	5,75
P2	20 X 20	280	55,50	1267	4,10
P3	20 X 40	280	29,50	8589	6,57
P4	20 X 20	280	12,40	1774	2,46
P5	20 X 20	280	55,50	1267	4,10
P6	20 X 20	280	75,98	619	3,03
P7	20 X 20	280	25,80	625	0,82
P8	20 X 20	280	12,30	2526	5,75
P9	20 X 20	280	55,50	1267	4,10
P10	20 X 40	280	29,50	8589	6,57
P11	20 X 20	280	9,80	1300	1,64

Tabela 3.1 – Resultados encontrados através de cálculos manuais

Fonte: Elaborada pelos autores

Diante dos resultados apresentados, percebe-se uma variação em relação ao modo de cálculo que determina uma maior área de aço. Os pilares P1, P2, P4, P5, P7, P8, P9 e P11, por exemplo, apresentaram uma área de aço maior no software do que no cálculo manual, porém os pilares P3, P6 e P10 obtiveram uma armadura maior

calculada manualmente, conforme mostra a tabela 3.2. Como se trata de uma diferença mínima para estes pilares, a quantidade de aço para determinação da armadura não sofre influência significativa. Pode-se dizer então que assim como no cálculo dos demais elementos estruturais apresentados anteriormente, o resultado gerado pelo software Eberick V8 – Gold apresenta uma quantidade de aço desnecessária, tornando-se antieconômica em relação ao modo calculado manualmente.

Cálculo dos Pilares – Eberick x Manual

Pilar	EBERICK	MANUAL
	As (cm ²)	As (cm ²)
P1	6,28	5,75
P2	7,74	4,10
P3	6,03	6,57
P4	6,28	2,46
P5	7,74	4,10
P6	2,89	3,03
P7	1,57	0,82
P8	6,28	5,75
P9	7,74	4,10
P10	6,03	6,57
P11	6,28	1,64

Tabela 3.2 Comparativo entre resultados Eberick x Manual

Fonte: Elaborada pelos autores

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou uma análise comparativa entre dois métodos utilizados para elaboração de projetos estruturais, apresentando os resultados encontrados para cada elemento estrutural e obedecendo as normas estabelecidas pela NBR 6118/2014. O trabalho consistiu na determinação da área de aço obtida para

cada elemento, servindo como parâmetro de comparação entre os modos de cálculo manual e através do software.

Analisando os resultados obtidos em geral, percebe-se que o cálculo feito através do software Eberick V8 – Gold apresentou maiores áreas de aço para cada elemento estrutural, sendo economicamente inviável em relação ao modo manual, pois quanto menos aço se utilizar mais significativa será a economia do valor gasto na execução da obra. Porém como as diferenças encontradas na maioria dos elementos estruturais deste trabalho foram mínimas, não seria considerada uma economia significativa para o projeto arquitetônico proposto.

Desta forma a maneira mais ágil, segura e econômica para execução de um projeto estrutural é aquela que se utiliza de algum software confiável, pois além da eficiência para execução dos cálculos a possibilidade de erros e falhas devido ao trabalho manual é muito menor. É importante ressaltar ainda que o software é apenas um sistema que tem algumas informações alimentadas pelos usuários, ou seja, a utilização de uma ferramenta computacional é apenas um auxílio ao profissional, que quando a utiliza de maneira responsável e criteriosa, proporciona enormes vantagens a elaboração de um projeto, principalmente em relação à produtividade, qualidade e segurança. É extremamente importante manter o programa sempre atualizado com as normas em vigor.

Diante do exposto, pode-se concluir que o software Eberick V8 – Gold é o mais recomendado para a elaboração do projeto estrutural proposto em comparação ao cálculo manual, pois além de apresentar uma margem de erros menor, o mesmo proporciona ao usuário uma eficácia muito maior. No entanto, ressalta-se a importância que tem o Engenheiro Civil na elaboração de um projeto estrutural, pois cabe ao mesmo executar todas as funções que exigem raciocínio, lógica e discernimento, tornando o software apenas uma ferramenta auxiliar para a elaboração do projeto.

4 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do Concreto Armado. 2006. 98 f. Estruturas de Concreto I, Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Bauru, 2006.

DUCATTI, V. A. *Concreto de elevadodesempenho: estudo da aderência com aarmadura*. 1993. 259f. Tese (DoutoradoemEngenharia) - EscolaPolitécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.1993.

KIMURA, Alio. *Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais*. Editora PINI, 632 p. São Paulo, 2007

ROCHA, A. M., *Concreto Armado, Volume 1*, Editora Nobel, São PauloRio de Janeiro,1981.

RODRIGUES, Paulo Cesar. *Notas de Aula da disciplina de Estruturas deConcretoArmado I. Curso degraduaçãoemEngenharia Civil.UniversidadeRegional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul*. Ijuí, 201.

SILVA, Ney Amorim.*ConcretoArmado I – (Apostilautilizadaemsala de aula) Escola de Engenharia da UFMG, Departamento de Engenharia de Estruturas DEEs, Belo Horizonte 2005*

TASSIOS, T. *Properties of Bond Between Concrete and Steel under Load Cycles Idealizing Seismic Actions*.*CEB, Bulletin d'Information*, Roma, v.1, n. 131, 1979,p. 67-122.