

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES COMERCIAIS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.

Marcos Roberto de Souza (1), Alexandre Vargas (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)marcosrs.ec@gmail.com, (2)avargas@unescc.net

RESUMO

A existência de uma variedade de softwares de cálculo estrutural no mercado tem gerado uma série de dúvidas, tanto a engenheiros quanto de estudantes de engenharia, sobre qual programa usar, qual o mais econômico, quais as diferenças existentes entre eles e quais os resultados mais próximos do real comportamento das estruturas de concreto armado. O presente estudo tem como objetivo analisar e comparar dois softwares comerciais utilizados no dimensionamento e detalhamento de estruturas em concreto armado. O primeiro programa, que é denominado Cypecad, um software de CAD tradicional desenvolvido na Espanha usado geralmente para o dimensionamento de estruturas monolíticas de concreto armado. O segundo programa, conhecido como Eberick, também tem as mesmas atribuições do primeiro, porém os seus desenvolvedores são brasileiros. A norma adotada para o dimensionamento foi NBR 6118:2007. Para a realização do estudo foram lançadas nos programas duas estruturas idênticas (estrutura piloto), com os mesmos elementos e os mesmos parâmetros de cálculo, uma em cada software, foram feitas as devidas adequações e executado o processo de dimensionamento. O primeiro passo do estudo foi analisar as cargas nas fundações, o peso total da estrutura ficou em torno de 1% maior no Eberick. A segunda análise feita foi o volume de concreto, que ficou 2,90% maior também para este último. A terceira análise feita foi a da taxa de armadura, correspondente a 8,38% a mais no Eberick. A quarta análise foram flechas nas vigas, onde a maior diferença encontrada foi de 2,73cm. Para o último comparativo, de flechas nas lajes, o maior contraste foi de 0,79cm.

Palavras-Chave: Software, projeto estrutural, estrutura em concreto armado, Cypecad, Eberick.

1. INTRODUÇÃO

Programas computacionais utilizados em cálculo de estruturas de concreto armado surgiram como uma ferramenta facilitadora do trabalho do engenheiro civil. Atualmente existem no mercado uma variedade de softwares que, além de fornecerem a completa modelagem da estrutura, provêm também todo o seu detalhamento. Dentro de um contexto atual não há como imaginar a Engenharia Civil sem o uso da ferramenta computacional. No entanto, é mais do que comprovado

que tais instrumentos não dispensam o conhecimento e experiência de um bom engenheiro, embora auxiliam muito na execução de tarefas do dia a dia. Figueiras (1999) afirma que, através do crescente desenvolvimento de métodos numéricos e correspondentes modelos computacionais, estruturas em concreto armado podem ser analisadas com elevado grau de precisão. Para Soriano (2003), sistemas de análise computacional não estão livres de erros tanto na sua parte lógica quanto no seu processamento, apenas o continuado uso do programa conduz à confiabilidade. A ideia fundamental, do presente estudo, é conhecer e analisar dois softwares amplamente utilizados na região de Criciúma/SC que servem para modelamento, dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado e, através disso, determinar possíveis diferenças ou semelhanças existentes. São verificados: cargas nas fundações; volume de concreto; taxa de armadura; flechas nas vigas e flechas nas lajes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

O primeiro programa, **Cypecad, versão 2012.i**, é desenvolvido na Espanha, possui uma plataforma de CAD (Desenho por Auxílio de Computador) própria facilitando o trabalho em sua interface gráfica. Ele é usado geralmente para o dimensionamento de estruturas monolíticas de concreto armado.

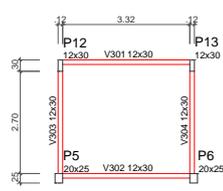
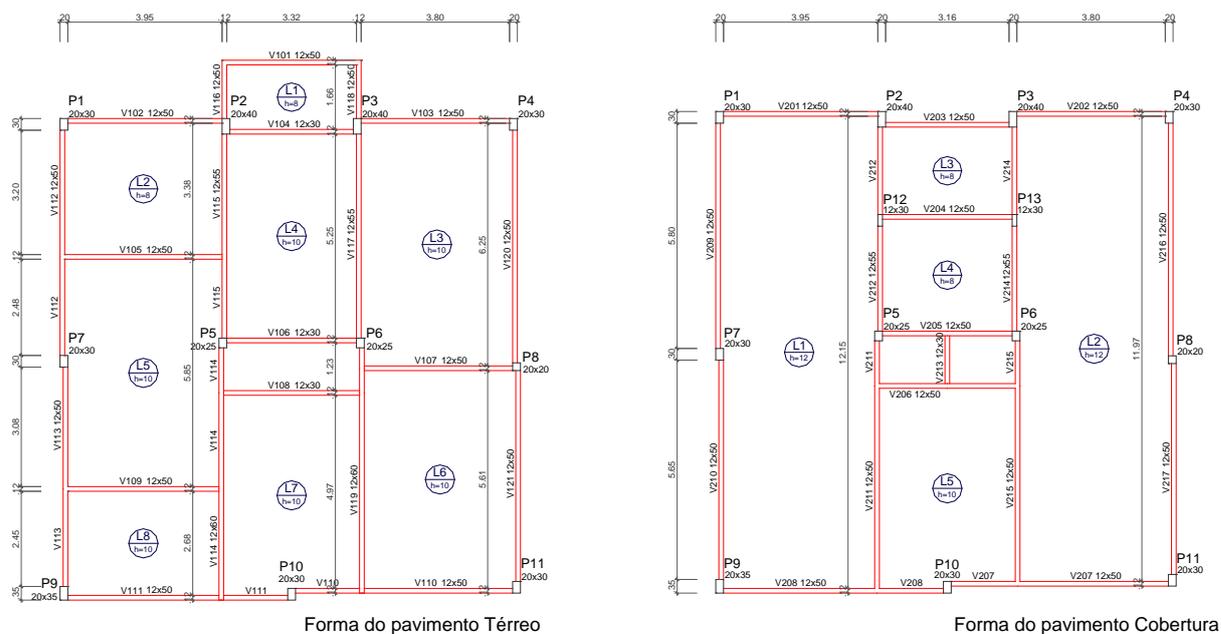
O segundo software, **Eberick V8, versão 2013.7**, é também baseado em uma plataforma de desenho CAD, como o primeiro e, habitualmente é usado para o dimensionamento de estruturas monolíticas de concreto armado. Os seus desenvolvedores são brasileiros.

Para efetuar a análise, em cada um dos programas, foi utilizada a mesma estrutura piloto fundamentada em uma edificação multifamiliar. A edificação, conforme ilustra a Figura 1, é composta por:

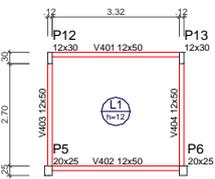
- Fundação, em sapatas mais arranque de pilares (cota -0,85m);
- Pavimento térreo, com lajes maciças, pilares e vigas (cota 0,80m);
- Pavimento Cobertura, com lajes maciças, pilares e vigas (cota 3,60m);
- Pavimento Cintamento, composto por pilares e vigas (cota 6,40m);

- Pavimento Fundo Reservatório, composto por lajes maciças, pilares e vigas (cota 7,90m);
- Pavimento Teto Reservatório também com a mesma composição estrutural. (cota 10,40m)

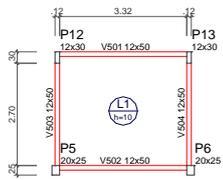
Figura 1 – Plantas baixas e perspectiva da estrutura piloto



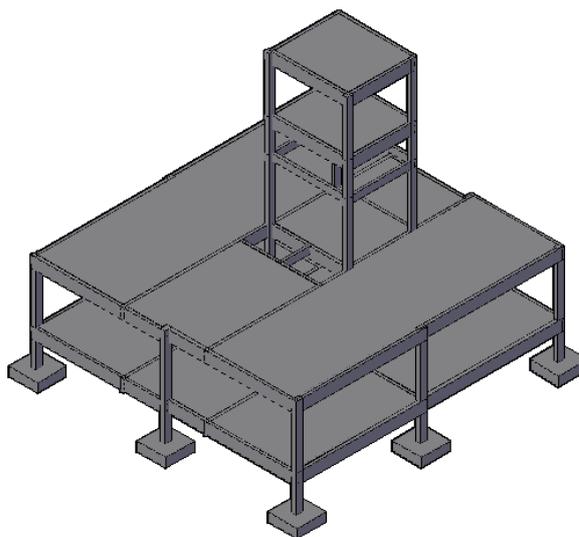
Pavimento Cintamento



Pavimento Fundo Reservatório



Pavimento Teto Reservatório



Fonte: do autor (2014).

2.2 MÉTODOS

O processo utilizado por cada software é o de analisar as solicitações através do Método dos Deslocamentos com formulação matricial de pórtico espacial, transmitindo os esforços através de barras ligadas por nós, considerando seis graus de liberdade em cada nó. Martha (1994, p. 5) afirma que, “a formulação matricial pelo Método dos Deslocamentos de estruturas aperticadas é o próprio Método dos Elementos Finitos na sua formulação em deslocamentos.” Conforme a definição, o Método dos Elementos Finitos, pode ser aplicado como modelo de cálculo adotado nos programas computacionais. Para Martha (1994, p. 5), “o Método dos Elementos Finitos pode ser interpretado como uma generalização dos procedimentos adotados em uma análise estrutural convencional de sistemas reticulados.” Isso torna o processo de cálculo muito semelhante nos dois softwares, deixando a discretização dos elementos como diferença básica entre o eles.

O lançamento da estrutura obedeceu aos mesmos parâmetros para ambos os softwares. Os elementos (vigas, pilares, lajes) mantiveram a mesma seção transversal, assim como o seu comprimento, isso é necessário para que se tenha uma correta análise dos modelos de cálculos utilizados. Parâmetros como engastamento dos elementos, ponderação dos esforços, tipo de concreto utilizado no elemento e cargas atuantes também foram configurados igualmente. A Norma utilizada para o estudo foi a Norma NBR 6118/2007. Para cargas atuantes foram seguidos os parâmetros de uso e ocupação fornecidos pela NBR 6120/1980, no que diz respeito a edificações residenciais. Adotaram-se cargas para os dois softwares conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Cargas atuantes

Pavimento	Categoria de Uso	Sobre Carga (kN/m²)	Carga Permanente (kN/m²)
Teto Reservatório	Edificação Residencial	0,50	1,20
Fundo Reservatório	Edificação Residencial	0,50	0,00
Cintamento	Edificação Residencial	0,00	0,00
Cobertura	Edificação Residencial	0,50	1,50
Térreo	Edificação Residencial	2,00	1,50
Fundação	Edificação Residencial	0,00	0,00

Fonte: do autor (2014).

Além das cargas pontuadas na Tabela 1, foi adotado para o Pavimento Fundo do Reservatório o valor de carga de 4,845 kN/m², simulando uma caixa de água de 5.000 litros distribuídos pela laje.

Procurou-se uma forma de engastamento na estrutura, que servisse de parâmetro semelhante para ambos, considerando que condições de pilares rotulados em estruturas de concreto monolíticas não correspondem a uma situação real.

[...] pode ser utilizado o modelo clássico de viga contínua, simplesmente apoiada nos pilares, para o estudo das cargas verticais, observando-se a necessidade das seguintes correções adicionais:

- a) não devem ser considerados momentos positivos menores que os que se obteriam se houvesse engastamento perfeito da viga nos apoios internos;
- b) quando a viga for solidária com o pilar intermediário e a largura do apoio, medida na direção do eixo da viga, for maior que a quarta parte da altura do pilar, não pode ser considerado momento negativo de valor absoluto menor do que o de engastamento perfeito nesse apoio;
- c) quando não for realizado o cálculo exato da influência da solidariedade dos pilares com a viga, deve ser considerado, nos apoios externos, momento fletor igual ao momento de engastamento perfeito multiplicado pelos coeficientes estabelecidos na norma. (NBR 6118, 2007, p. 82).

Para engastamento dos elementos, considerou-se a estrutura parcialmente engastada (pilares e vigas), totalmente engastada (vigas internas e lajes) ou apoiada (faces das vigas de contorno nas lajes), respeitando as configurações de cada software. Adotou-se a menor seção possível para cada elemento estrutural, obtendo a igualdade das seções nos dois programas.

2.2.1 Configuração adotada para o Cypecad

Neste software as configurações como a norma a ser utilizada, tipo de concreto, aço, ações de vento e coeficientes de ponderação podem ser configurados logo no início do lançamento da estrutura, através de uma janela de interface gráfica que contém todos estes dados para serem definidos pelo usuário.

Para o presente estudo, configurou-se o Cypecad, com concreto de C25 para pilares e pisos (lajes e vigas), e C20 para fundações. Módulo de Elasticidade de acordo com a Equação 1.

$$E_{ci} = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

Equação 1

Sendo:

E_{ci} – Módulo de Elasticidade Inicial

f_{ck} – Resistência do Concreto

Coeficientes de ponderação no ELU de acordo com a NBR 6118:2007, concreto com coeficiente desfavorável de 1,4. Aço CA 50 e CA 60 com coeficiente desfavorável de 1,15. A ação do vento será desprezada, uma vez tratar-se de uma estrutura com apenas 2 pavimentos e protegida. O lançamento da estrutura efetuou-se em ambiente de CAD próprio do software, seguindo os tutoriais e manuais do fabricante. Foi utilizada a planta piloto da estrutura em formato DWG, como máscara de base para o lançamento, que se dá de forma relativamente simples.

O software conta com a opção de um coeficiente de engastamento, definindo a proporcionalidade de engastamento da estrutura, com valores que variam de 0 a 1. Este coeficiente pode ser usado no engastamento de pilares com vigas, vigas com lajes e entre as lajes.

O programa tem uma infinidade de outros coeficientes como, configuração de flambagem nos pilares, redução de rigidez à torção, dentre outros.

Para o presente estudo foi dada maior ênfase aos coeficientes de engastamento e flambagem.

Para o engaste de pilares com vigas foi utilizado o coeficiente de 0,5. Nas faces das vigas de contorno com as lajes adotou-se 0,00; e nas faces das vigas internas com as lajes 1,00. Coeficiente de engastamento entre lajes 1,00. No caso da flambagem dos pilares o valor adotado foi 1,00, ou seja, sem redução do comprimento de flambagem. Para os demais casos foram mantidos os valores de instalação do programa.

2.2.2 Configuração adotada para o Eberick

O lançamento da estrutura é muito semelhante à maneira que é feita no Cypecad. O Eberick também possui ambiente de CAD próprio facilitando o modelamento dos elementos, que podem ser lançados sobre uma máscara arquitetônica de extensão de arquivo DWG ou DXF.

Para definir o engastamento, o software não possui os parâmetros variando de 0 a 1, como o Cypecad. Aqui, apenas pode-se informar se a estrutura está engastada, semi-engastada ou apoiada, dependendo é claro do elemento estudado. Para efeito de simplificação do estudo, as estruturas foram consideradas simplesmente apoiadas (situações das vigas de contorno com as lajes), semi-engastadas (casos de ligação pilar e viga) ou totalmente engastadas (situação das vigas com as lajes

internas), assim pode-se considerar, no Cypecad apenas os coeficientes 0; 0,5 e 1, no Eberick elemento estrutural apoiado, semi-engastado ou engastado.

Como realizado no Cypecad o engaste de pilares com vigas foi de 0,5, através da utilização de nós semi-rígidos, simulando um semi-engaste, no lançamento da estrutura. O programa não permite o engastamento entre lajes e vigas de contorno, apenas o engastamento total nas vigas internas do pavimento. Leet (1991) alega que, nos apoios extremos das lajes carregadas apenas de um lado, a viga é girada pela rotação da laje. Entretanto, como rigidez à torção da viga é quase inexistente, ela pode não oferecer nenhuma resistência significativa a essa rotação. Com base nisso pode-se assumir uma condição de apoio equivalente a uma rotula contínua nessa ligação viga e laje.

Para simular uma situação semelhante a existente no outro software, as lajes internas foram consideradas todas engastadas, o que corresponderia ao coeficiente 1,00 no Cypecad, já neste último o coeficiente de engastamento atribuído para as vigas de contorno foi 0,0.

No caso de flambagem dos pilares o valor adotado foi 1,00. O programa determina o índice de esbeltes dos pilares automaticamente com base no lançamento da estrutura, definindo-os como rotulados-rotulados ou engastados-livres, após o processamento isso pode ser reconfigurado. Primeiramente o software considera os pilares com dois apoios nas extremidades, conforme a NBR 8800 (2008), pilares com rotação livre e translação impedida nas extremidades possuem coeficiente de flambagem $K=1,00$. Como esse valor foi o mesmo adotado para o Cypecad, a configuração foi mantida.

Para os demais casos foram mantidos os valores de instalação do programa.

O coeficiente de ponderação dos esforços (carga permanente mais carga acidental) que foi adotado é de 1,4. Concreto de 25 MPa para vigas e pilares e 20 MPa para fundações, com coeficiente desfavorável de 1,4. Módulo de Elasticidade conforme a Equação 1. Aço CA 50 e CA 60 com coeficiente desfavorável de 1,15.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os quantitativos contidos em cada Tabela deste item foram retirados das opções de relatórios e resumos fornecidas pelos programas. Também foram colhidos dados, tais como deslocamentos em lajes e vigas, diretamente do ambiente

de CAD de cada software. Durante o lançamento e processamento da estrutura no software

Eberick, as vigas V107 e V114 tiveram que ter um de seus apoios definido como rotulado respectivamente nas vigas V119 e V111, tal fato deve-se a impossibilidade de dimensionamento da seção ao esforço de torção, porém essa alteração não teve grande diferença no valor de momento das vigas já que, os dois programas consideram esse valor praticamente nulo para ligação viga com viga. A seguir são apresentados os resultados e discutidos acerca dos valores obtidos.

3.1 CARGAS NAS FUNDAÇÕES

Neste parâmetro, os programas apresentaram diferença. A discretização do elemento laje e viga pode estar ligada a isso. O Cypecad gera uma malha de elementos finitos de 25x25cm para discretização das lajes, e segmentos 25cm para viga, enquanto o Eberick trabalha com uma analogia de grelha de 50x50cm configurável, embora para o presente estudo não foi possível a utilização de uma malha menor neste último. Vergutz e Custódio (2010) alegam que, deve-se tomar cuidado quanto à distribuição dos esforços nas lajes sobre as vigas, pois os métodos de grelha e elementos finitos apresentam comportamentos diferentes. Considerando essa afirmação, pode-se dizer que a discretização dos elementos através analogia de grelha em cada software apresenta diferença. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para a carga individualizada por pilar na fundação.

Tabela 2 – Cargas nas fundações

Pilar	Cypecad N (kN)	Eberick N (kN)
P1	99,5	105,1
P2	248,0	263,9
P3	243,1	260,9
P4	94,7	100,9
P5	545,7	527,1
P6	534,5	512,4
P7	206,6	197,3
P8	204,4	199,1
P9	135,5	157,1
P10	278,9	280,0
P11	118,5	136,1
Total de Carga da Estrutura	2709,4^(1,00)	2739,9^(1,01)

Fonte: do autor (2014).

O valor de cargas na fundação foi 1,13% maior no Eberick em relação ao Cypecad, correspondente a 30,5 kN de carga total. Vergutz e Custódio (2010) chegaram um valor aproximadamente 1,00% superior para o Eberick.

3.2 VOLUME DE CONCRETO

Acerca do volume de concreto existiu diferença. Para melhor análise dos resultados de cada software foi realizado o cálculo do volume de concreto manualmente. Desconsiderou-se o pavimento fundação. Na Tabela 3, estão compilados os resultados obtidos por elemento para cada pavimento.

Tabela 3 – Volume de concreto por elemento e por pavimento

Pavimento	Elementos Estruturais	Cypecad (m ³)	Eberick (m ³)	Cálculo Manual (m ³)
Teto Reservatório	Lajes	0,96	1,00	0,96
	Vigas	0,83	0,80	0,72
	Pilares	0,34	0,40	0,43
	Total Pavimento (m ³)	2,13	2,20	2,11
Fundo Reservatório	Lajes	1,15	1,10	1,15
	Vigas	0,83	0,80	0,72
	Pilares	0,18	0,30	0,26
	Total Pavimento (m ³)	2,16	2,20	2,13
Cintamento	Lajes	0,00	0,00	0,00
	Vigas	0,50	0,50	0,43
	Pilares	0,44	0,50	0,48
	Total Pavimento (m ³)	0,94	1,00	0,91
Cobertura	Lajes	14,43	14,50	14,43
	Vigas	5,20	5,20	4,80
	Pilares	1,51	1,90	1,88
	Total Pavimento (m ³)	21,14	21,60	21,11
Térro	Lajes	12,95	13,00	12,95
	Vigas	5,92	6,10	5,54
	Pilares	0,76	1,10	1,11
	Total Pavimento (m ³)	19,63	20,20	19,61
Volume Total (m³)		46,00 ^(1,003)	47,20 ^(1,028)	45,87 ^(1,000)

Fonte: do autor (2014).

Observou-se no estudo, variação entre os elementos dos pavimentos. Com o objetivo de definir melhor e classificar os volumes de concreto por elemento (lajes, vigas e pilares) foi elaborada a Tabela 4, apresentada à seguir:

Tabela 4 – Volume de concreto total por elementos

Elemento Estrutural	Cypecad (m ³)	Eberick (m ³)	Cálculo Manual (m ³)
Lajes	29,49	29,50	29,49
Vigas	13,28	13,50	12,21
Pilares	3,23	4,20	4,16
Volume Total (m³)	46,00^(1,003)	47,20^(1,028)	45,87^(1,000)

Fonte: do autor (2014).

Existe maior diferença entre os volumes de concreto dos pilares. De fato há contraste no modelo de cálculo de volumes. A Tabela 4 retrata que o modelo do Cypecad é mais próximo do cálculo manual. O volume de concreto do Cypecad é 0,28% maior que o volume manual equivalente a 0,13 m³. Já o Eberick possui um volume de concreto 2,90% maior, equivalente a 1,33 m³. Em relação ao Cypecad o volume de concreto do Eberick foi 2,61% maior o que equivale a 1,20 m³.

3.3 TAXA DE ARMADURA

A Tabela 5 apresenta o consumo de aço para cada um dos softwares, além da taxa de armadura (consumo de aço dividido pelo consumo de concreto).

Tabela 5 – Consumo de aço e taxa de armadura

Software	Elemento	Volume de concreto (m ³)	Peso do aço (kg)	Consumo de aço (kg/m ³)
Eberick	Lajes	29,50	1707,84	57,89 ^(1,13)
	Vigas	13,50	1105,74	81,91 ^(0,95)
	Pilares	4,20	542,61	129,19 ^(1,19)
	Total	47,20	3356,19	71,11^(1,08)
Cypecad	Lajes	29,49	1516,00	51,41 ^(1,00)
	Vigas	13,28	1150,00	86,60 ^(1,00)
	Pilares	3,23	352,00	108,98 ^(1,00)
	Total	46,00	3018,00	65,61^(1,00)

Fonte: do autor (2014).

A taxa de armadura no Eberick foi 8,38% maior que no Cypecad equivalente a 5,50 kg/m³. A maior diferença existe nos elementos pilares 18,55% correspondente a 20,21 kg/m³. Nas Lajes a diferença foi de 12,62% a mais para o Eberick, análogo a 6,49 kg/m³. O fato curioso é que as vigas no software Eberick apresentaram um consumo de aço menor que no Cypecad, 5,73% maior neste último, o que equivale a 4,69 kg/m³ de consumo de aço.

3.4 FLECHAS NAS VIGAS

Neste item foram comparados os deslocamentos totais e imediatos nas vigas. Segundo Bittencourt e Assis (2003), os deslocamentos imediatos são os deslocamentos que ocorrem logo após a aplicação da carga na estrutura, já os deslocamentos diferidos ocorrem ao longo do tempo de utilização desta, devido à retração do concreto e à fluência. A soma dos deslocamentos imediatos com os deslocamentos diferidos é a flecha total. Vale lembrar que parâmetros como retração do concreto e fluência dependem de fatores ambientais, geometria da peça, temperatura, velocidade de endurecimento e hidratação do cimento, entre outros. Para este estudo não foram averiguados quais fatores cada software considera. Conforme a memória de cálculo do fabricante (existente dentro do próprio software), os deslocamentos imediatos em vigas, no Software Cypecad, correspondem ao item flecha instantânea total, e o deslocamento total corresponde à flecha total no infinito. A Tabela 6 mostra as flechas imediatas e totais obtidas em cada programa.

Tabela 6 – Flechas nas vigas (Continua)

Viga	Cypecad		Eberick		Relação Flecha Total Cypecad/Eberick
	Flecha Imediata (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Imediata (cm)	Flecha Total (cm)	
V101	0,06	0,15	0,28	0,59	0,25
V102	0,07	0,17	0,06	0,14	1,21
V103	0,07	0,17	0,06	0,12	1,39
V104	0,08	0,19	0,15	0,31	0,63
V105	0,29	0,64	0,71	1,36	0,47
V106	0,05	0,13	0,11	0,22	0,58
V107	0,26	0,57	0,41	0,80	0,72
V108	0,24	0,59	1,03	2,01	0,29
V109	0,28	0,63	1,08	2,09	0,30
V110	0,58	1,36	0,73	1,41	0,97
V111	0,57	1,36	0,81	1,58	0,86
V112	0,58	1,36	0,74	1,45	0,94
V113	0,49	1,18	0,67	1,31	0,90
V114	0,89	2,10	1,60	3,04	0,69
V115	0,29	0,63	0,41	0,76	0,83
V116	0,14	0,35	0,15	0,33	1,07

Tabela 6 – Flechas nas vigas

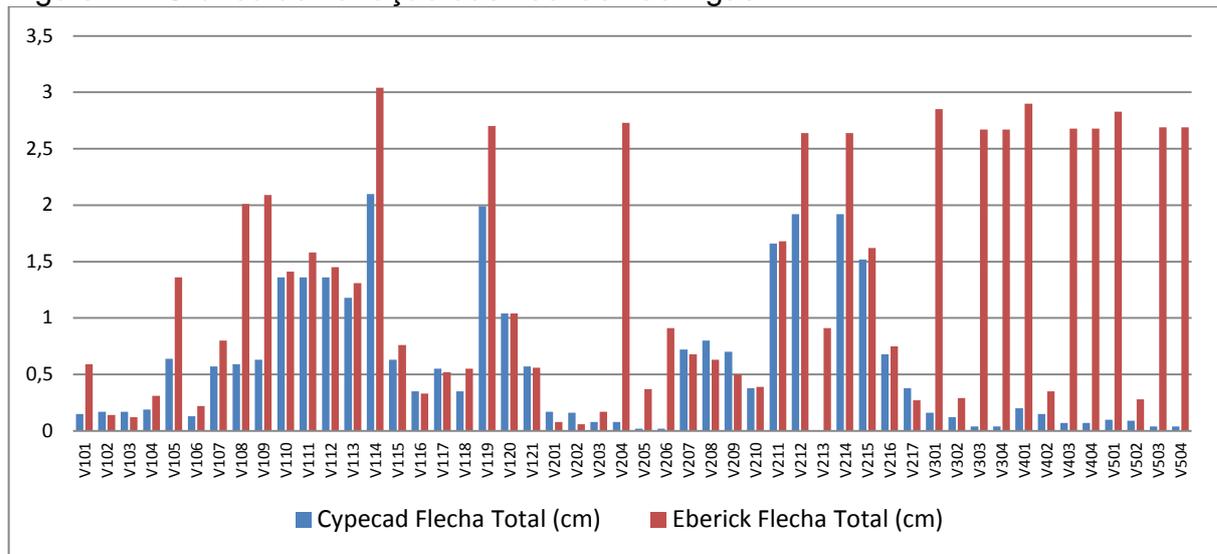
(Conclusão)

Viga	Cypecad		Eberick		Relação Flecha Total Cypecad/Eberick
	Flecha Imediata (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Imediata (cm)	Flecha Total (cm)	
V117	0,26	0,55	0,28	0,52	1,05
V118	0,14	0,35	0,26	0,55	0,64
V119	0,86	1,99	1,41	2,70	0,74
V120	0,45	1,04	0,53	1,04	1,00
V121	0,25	0,57	0,29	0,56	1,01
V201	0,07	0,17	0,03	0,08	2,18
V202	0,06	0,16	0,02	0,06	2,63
V203	0,03	0,08	0,07	0,17	0,46
V204	0,03	0,08	1,38	2,73	0,03
V205	0,01	0,02	0,17	0,37	0,04
V206	0,01	0,02	0,45	0,91	0,03
V207	0,29	0,72	0,33	0,68	1,06
V208	0,32	0,80	0,30	0,63	1,28
V209	0,28	0,70	0,24	0,50	1,41
V210	0,15	0,38	0,18	0,39	0,97
V211	0,66	1,66	0,84	1,68	0,99
V212	0,73	1,92	1,34	2,64	0,73
V213	0,00	0,00	0,45	0,91	0,00
V214	0,73	1,92	1,35	2,64	0,73
V215	0,61	1,52	0,81	1,62	0,94
V216	0,27	0,68	0,36	0,75	0,91
V217	0,15	0,38	0,13	0,27	1,41
V301	0,06	0,16	1,32	2,85	0,06
V302	0,04	0,12	0,06	0,29	0,41
V303	0,01	0,04	1,23	2,67	0,01
V304	0,02	0,04	1,23	2,67	0,01
V401	0,08	0,20	1,34	2,90	0,07
V402	0,05	0,15	0,09	0,35	0,41
V403	0,03	0,07	1,23	2,68	0,03
V404	0,03	0,07	1,24	2,68	0,03
V501	0,04	0,10	1,30	2,83	0,03
V502	0,03	0,09	0,05	0,28	0,31
V503	0,02	0,04	1,24	2,69	0,02
V504	0,02	0,04	1,24	2,69	0,02

Fonte: do autor (2014).

Na coluna que define a relação Cypecad/Eberick os valores menores que 1,00 representam menor flecha no Cypecad, conseqüentemente valores maiores que 1,00 representam menor flecha no Eberick. Considerando tal relação, 78% das flechas em vigas no Cypecad tiveram menor valor que no Eberick. A máxima flecha no Cypecad ocorreu na viga V114 com 2,10 cm, mesma viga para o Eberick, porém o valor neste foi 3,04 cm. A maior diferença foi encontrada na V501, com 2,73 cm a mais para o Eberick. A Figura 2 ilustra de uma melhor forma a variação das flechas totais nos elementos vigas, é observada uma maior variação nas flechas dos últimos pavimentos.

Figura 2 – Gráfico de variação das flechas nas vigas



Fonte: do autor (2014).

3.5 FLECHAS NAS LAJES

Segundo Trajano (2009), o programa Cypecad não verifica flechas nas lajes, apenas apresenta ao usuário o valor de flecha imediata. Com base nessa consideração, a Tabela 7 exhibe apenas os valores de flechas imediatas nas lajes.

Tabela 7 – Flechas nas lajes

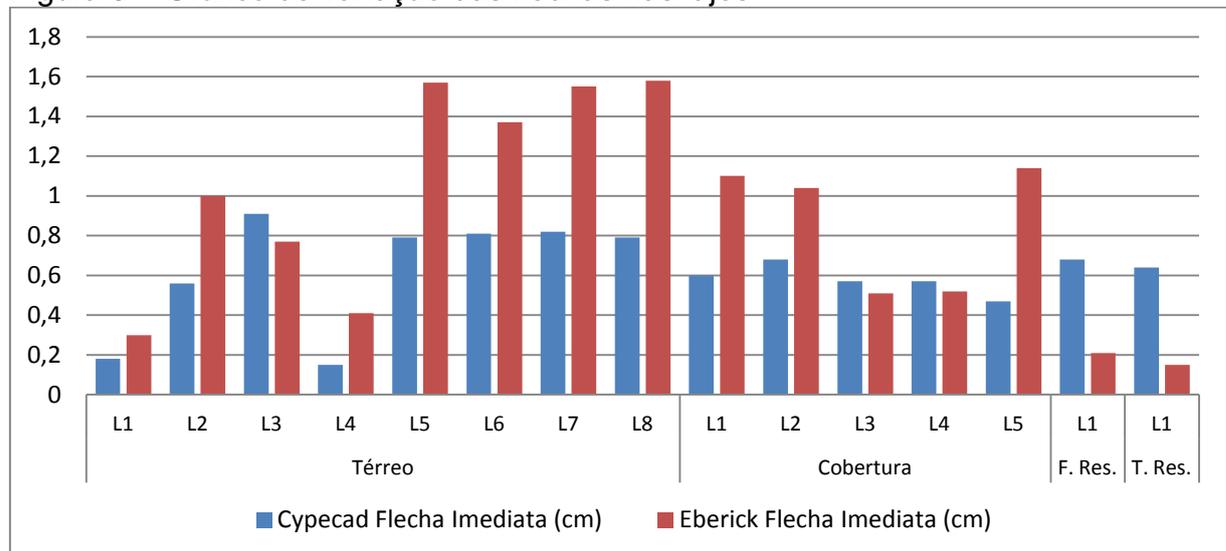
Pavimento	Numeração da Laje	Cypecad Flecha Imediata (cm)	Eberick Flecha Imediata (cm)	Relação Flecha Cypecad/Eberick
Térreo	L1	0,18	0,30	0,60
	L2	0,56	1,00	0,56
	L3	0,91	0,77	1,18
	L4	0,15	0,41	0,37
	L5	0,79	1,57	0,50
	L6	0,81	1,37	0,59
	L7	0,82	1,55	0,53
	L8	0,79	1,58	0,50
Cobertura	L1	0,60	1,10	0,55
	L2	0,68	1,04	0,65
	L3	0,57	0,51	1,12
	L4	0,57	0,52	1,10
	L5	0,47	1,14	0,41
Cintamento	-	-	-	-
F. Reservatório	L1	0,68	0,21	3,24
T. Reservatório	L1	0,64	0,15	4,27

Fonte: do autor (2014).

Considerando a mesma forma como foram analisadas as vigas; na coluna onde se define a relação Cypecad/Eberick os valores menores que 1,00 representam menor flecha no Cypecad, consequentemente valores maiores que 1,00 representam menor flecha no Eberick. 67% das flechas em lajes no Cypecad tiveram menor valor que no Eberick. A máxima flecha no Cypecad ocorreu na laje L3 do pavimento térreo, com 0,91 cm, para o Eberick ocorreu na Laje L8 também do mesmo pavimento onde apresentou o valor de 1,58 cm. A maior diferença foi encontrada justamente na Laje L8, com 0,79 cm a mais para o Eberick.

A Figura 3 ilustra de uma melhor forma a variação das flechas totais nos elementos lajes.

Figura 3 – Gráfico de variação das flechas nas lajes



Fonte: do autor (2014).

3.6 COMPARATIVOS DAS PRINCIPAIS CONFIGURAÇÕES E CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO EM CADA SOFTWARE

Durante a elaboração deste estudo foram encontradas várias diferenças, tais como parâmetros de análise, configurações e considerações que podem ser definidas ou não pelo usuário dentro de cada programa. Com o intuito de elencar os principais contrastes ou similaridades foi elaborada a Tabela 8, tendo em seu conteúdo uma generalização de alguns itens configuráveis ou diferenciados entre os softwares. Lembrando que os itens levantados foram determinados no lançamento e dimensionamento da estrutura piloto deste estudo, os programas contam ainda com

uma infinidade de outros componentes, coeficientes e configurações que não foram mencionados aqui.

Tabela 8 – Comparativo de configurações

Item	Cypecad	Eberick
Engastamento de pilares com vigas	Coeficiente de engastamento variando de 0 a 1, onde 0 é apoio rotulado e 1 engastamento total, possibilita maior variação.	Engastamento, nós semi-rígidos, e rótulas.
Flambagem dos pilares	Cofigurável segundo a normatização.	Configurável (engastado-livre, rotulado-rotulado).
Ponderação dos esforços	Definido por Norma ou configurável.	Definido por Norma ou configurável.
Rigidez à torção	Configurável.	Configurável.
Discretização das lajes	25x25cm.	50x50cm, configurável.
Verificação das flechas nas lajes	Não verifica flechas nas lajes.	Verifica as flechas e são emitidos avisos.
A_s de pele	Configurável, já vem configurado com 61 cm de altura inicial da viga.	Configurável, é necessário aumentar a altura inicial da viga para 61cm.
Perda de Aço	Configurável. Usado 10%	Adota 10% de perda, não configurável.
Tamanho do agregado	15mm, na instalação	19mm, na instalação, alterado para 15mm.
Engastamento das Lajes	Configurável sob a forma de momentos mínimos a cobrir com armaduras nas lajes.	Para momento elevado permite engastamento na laje adjacente se for de mesma espessura.
Momento a ser considerado na ancoragem das lajes	Configurável sob a forma de momentos mínimos a cobrir com armaduras nas lajes.	Configurável, aumenta a taxa de armadura, situações onde não é possível ancorar dentro da viga.
Relação Centro de Gravidade da Armadura (CG)	Não determinado, porém emite avisos quanto a existência de armaduras em várias camadas.	Configurável para até 20% a critério do usuário.
Modelo de Fundação	Dimensiona as sapatas abaixo da linha do modelo de apoio da fundação.	Dimensiona as sapatas acima da linha de apoio da fundação no modelo.
Tipo de Concreto (Fck)	Vem com uma lista pré-configurada. Variando de 15 a 50MPa.	Vem com uma lista pré-configurada, porém podem ser criados Fcks.
Norma	Pode-se adotar a norma a ser utilizada, conseguindo-se inclusive utilizar a NB-1.	Já vem configurado com a norma vigente.

Fonte: do autor (2014).

A relação CG (Centro de gravidade das Armaduras) pode ser configurada no Eberick. O software permite que esse valor seja configurado para até 20% de h (altura da viga), durante o processamento da estrutura ocorreu um problema com o dimensionamento das vigas V114 e V115, tinha-se a opção de manter a mesma seção transversal (12x50 e 12x55 cm, respectivamente) e aumentar essa relação CG para 12% no Eberick, esse valor não é normativo. Segundo a NBR 6118 (2007, p. 114), “Os esforços nas armaduras podem ser considerados concentrados no centro de gravidade correspondente, se a distância deste centro ao ponto da seção de armadura mais afastada da linha neutra, medida normalmente a esta, for menor que 10% de h (altura da Viga)”. Carvalho e Figueiredo Filho (2007) afirmam que, se esse valor não for possível, deve-se considerar a deformação específica do aço em cada nível. Para o presente estudo optou-se por aumentar as seções para 12x55 cm na V115 e 12x60 cm na V114 e manter a relação CG em 10% de h . Esse aumento de seção também foi repassado para o Cypecad para manter o comparativo de volumes de concreto e demais considerações.

A laje L5 também teve um problema no seu dimensionamento no programa Eberick. Existiam duas opções para solução; podia manter-se a mesma dimensão dos elementos, porém o momento positivo mínimo a ser considerado na ancoragem no programa teria que ser aumentado de 1,00 kN.m para 1,20 kN.m. Essa configuração admite a ancoragem de bitolas de aço maiores dentro das vigas. Poder-se-ia também aumentar a espessura da laje adjacente, L8 para 10 cm, proporcionando a ancoragem nesta laje, esta foi a opção adotada neste estudo, pois aceita menores bitolas de aço para as lajes. Esse aumento da espessura da laje L8 também foi repassado ao Cypecad para comparar de mesma forma os volumes de concreto e demais considerações.

O tamanho do agregado interferiu no detalhamento da armadura nos softwares. Observou-se que o Cypecad utiliza um tamanho de agregado menor para o detalhamento (15 mm). Foi configurado no Eberick o mesmo diâmetro de agregado do Cypecad, o que permitiu um uso de armaduras maiores, de $\varnothing 20$ mm no detalhamento de vigas.

Com relação à discretização dos elementos lajes, o software Cypecad gera uma grelha de discretização de 25x25 cm, enquanto o Eberick vem configurado na instalação com uma malha de 50x50 cm, esse valor pode ser reconfigurado. Durante este estudo testou-se neste último uma grelha de 25x25 cm, porém esta redução na

malha do Eberick provocou um aumento na espessura de 60% dos elementos lajes de toda a estrutura, numa visão generalista um aumento médio de 4 cm por laje, por esta razão optou-se por manter a grelha de 50x50 cm.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo mostram que o software Cypecad é mais preciso com relação ao volume de concreto. Existe um superdimensionamento do programa Eberick em relação ao Cypecad, o que torna a estrutura processada neste último mais econômica, principalmente na relação taxa de armadura.

Há diferença no modelo de cálculo de cargas nas fundações, este valor foi em torno de 1% maior no Eberick, confirmando o resultado obtido por Vergutz e Custódio (2010). Além ainda, da divergência existente entre cargas por pilar que, variou em média 13,0kN. Pode-se afirmar, observando os resultados, que a redistribuição dos esforços nos pilares se dá de forma diferente. O Cypecad concentra mais as cargas nos pilares do centro (P5, P6, P7, P8) como verificado na Tabela 2, enquanto o Eberick nos pilares de bordo (P1, P2, P3, P4, P9, P10, P11).

Com relação ao volume de concreto, a discrepância é evidente, pois o volume de concreto calculado no Cypecad é bem próximo ao real, enquanto no Eberick foi 2,90% maior. Essa diferença pode estar atrelada a parte do topo do pilar da estrutura que faz ligação com a viga. Pode-se observar, através do cálculo do volume de concreto manualmente, que ambos os programas somam o topo do pilar, na região em contato com a viga, como parte da mesma; porém somente o Cypecad desconta esse volume de concreto dos pilares, conforme exposto na Tabela 04 deste artigo.

Para taxa de armadura, a diferença significativa que existiu entre os elementos pilares e foi maior para o Eberick, pode estar ligada ao modelo de cálculo do qual resulta a discrepância de cargas dos elementos. É necessário um estudo mais aprofundado para determinar a causa da diferença. Pode-se observar no estudo que os valores de envoltória de momento foram próximos para ambos os programas, o que explica a taxa de armadura muito próxima nas vigas.

As flechas em lajes e vigas, na maioria dos elementos analisados, foram maiores no software Eberick, como se pode verificar nas Figuras 3 e 4, não sendo possível, no

presente estudo, determinar a origem de tal diferença. É preciso uma análise específica, junto a métodos de cálculo manuais, para que se possa determinar a origem das discrepâncias.

Vale lembrar que todas essas observações são válidas para este estudo específico. Análises com diferentes tipos de estruturas são necessários para uma correta determinação das divergências, como também a análise de outras versões dos programas, ou de outros softwares existentes no mercado.

Por fim conclui-se que esse tipo de comparativo é fundamental para determinação dos critérios de uso de softwares existentes no mercado. É importante a continuidade da análise para que o usuário final possa decidir e se adequar ao programa com o qual irá exercer sua profissão. Somente a experiência e continuado uso do software dará ao engenheiro confiabilidade em seu uso.

Como sugestões para continuidade dessa pesquisa, podem ser determinadas as causas das diferenças entre flechas nas vigas e lajes, verificando, junto com discretização das grelhas e métodos de cálculo manuais, as considerações de computação de cada software, como também os parâmetros de cálculo que os programas utilizam para a fluência. Definir ainda, a razão de diferença de cargas que existe entre os pilares, e se esta divergência está ligada à discretização dos elementos.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 221 p.

BITTENCOURT, Túlio Nogueira; ASSIS, Wayne Santos de. **Verificação dos deslocamentos em vigas de concreto armado**. São Paulo: EPUSP, 2003.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 2. ed São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2007. 374 p.

FIGUEIRAS, Joaquim A; **Aplicação de modelos computacionais à análise de estruturas de betão**. Artigo (Ibracon, 1999) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 1999. 19 p.

LEET, Kenneth. - **Reinforced Concrete Design** - MacGraw-Hill - New York - 1991.
MARTHA, Luiz Fernando; **Método dos elementos finitos: modelos de elementos finitos para análise estrutural**. Rio de Janeiro: PUC-Rio. 1994. 52 p.

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. **CYPECAD – Manual do Usuário**. São Paulo, 2010.

ALTOQI INFORMÁTICA. **AltoQi Eberick – Manual do Usuário**. Florianópolis, SC, 2000.

SORIANO, Humberto Lima; LIMA, Silvio de Souza. **Método de elementos finitos em análise de estruturas**. São Paulo: EDUSP, 2003.

TRAJANO, Evilásio de Souza. **Comparação entre programas computacionais para análise de uma estrutura e verificação dos resultados de acordo com a NBR 6118/2003**. Rio de Janeiro: EP/UFRJ. 2009. 81 p.

VERGUTZ, Juliano André; CUSTÓDIO, Ricardo. **Análise comparativa de resultados obtidos de softwares de dimensionamento de estruturas de concreto**. 2010. 189 p. TFC (Graduação no Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná.