

UM COMPARATIVO ENTRE DOIS SOFTWARES BIM PARA ANÁLISE E CÁLCULO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A COMPARISON BETWEEN TWO BIM SOFTWARES FOR ANALYSIS AND CALCULATION IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Glauco José de Oliveira Rodrigues

D.Sc., Departamento de Estruturas e Fundações, UERJ

Alex Leandro de Lima

M.Sc, Centro Universitário Augusto Motta, SUAM

Stephane Vannier Neto

Eng, TESE Engenharia

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho entre duas ferramentas para cálculo, análise e detalhamento estrutural em uma estrutura de concreto armado, o CYPECAD e o EBERICK, em termos de consumo de material sugerido pelas ferramentas, considerando também os métodos de análise numérica utilizado por ambos. Para tal análise, será elaborado o modelo de uma edificação residencial linear, com formas e cargas previamente estipuladas e idênticas em ambas ferramentas, que serão analisadas com a utilização de suas configurações padrão de instalação. Após esse processo será feita a comparação dos resultados de ambas ferramentas, taxas de armadura e consumo de material na estrutura como um todo e em seus elementos individuais, como vigas, pilares e lajes. Será feita também, uma comparação entre os resultados obtidos através de um artigo semelhante realizado em 2009, e os resultados do presente trabalho a fim de acompanharmos a evolução dos resultados de ambas as ferramentas supracitadas. Ressaltando que, o artigo original foi realizado com base na norma NBR 6118-2003, e o presente trabalho com a sua revisão de 2014.

Palavras-chave: Análise estrutural. Concreto armado. Cypecad. Eberick. BIM.

ABSTRACT: The aim of this work is to analyse the performance between two tools for calculation, analysis and structural detailing in reinforced concrete structure, CYPECAD and EBERICK, in terms of material consumption suggested by the tools, also considering the numerical analysis methods used by both. For this analysis, the model of a linear residential building will be elaborated, with previously stipulated and identical forms and loads in both tools, which will be analyzed with the use of its standard installation configurations. After this process will be made the comparison of the results of both tools, rates of reinforcement, and material consumption in the structure as a whole and in its individual elements, such as beams, pillars and slabs. It will also be made a comparison between the results obtained through a similar article carried out in 2009 and the results of the present work, in order to follow the evolution of the results of both tools mentioned above. Note that the original article was based on the NBR 6118-2003 standard, and the present work with its 2014 revision.

Keywords: Structural Analysis. Reinforced concrete. Cypecad. Eberick. BIM.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o ramo de atividades relacionadas ao desenvolvimento de projetos de estruturas em concreto armado encontra-se, em quase sua totalidade, dependente de *softwares* comerciais destinados à modelagem, processamento, análise, dimensionamento e detalhamento estrutural.

Esses *softwares* incorporam em suas estruturas de códigos, procedimentos de análise numérica, baseados em métodos sofisticados, tal como o método dos elementos finitos, que constitui o estado da arte em termos de análise estrutural. Esses e outros benefícios, aliados ainda, ao menor tempo investido nas concepções de projetos, têm impulsionado engenheiros projetistas a utilizarem cada vez mais essas ferramentas, e paralelamente, têm incentivando empresas a desenvolverem e aprimorarem essas ferramentas, de tal forma que sejam robustas e eficientes de forma a atender a demanda de projetos.

Dentre os usuários destes *softwares*, frequentemente é levantada a questão da economia de materiais, que consiste em uma exigência das empresas construtoras como forma de viabilização dos seus empreendimentos.

Neste contexto, podem ser destacados dois dentre os *softwares* comerciais mais utilizados pelos profissionais do ramo: O Eberick 2019 (ALTOQI, 2018) e o CYPECAD 2019.c (CYPE Ingenieros, 2018).

Para efeito de comparação, o presente trabalho irá tratar da modelação de uma edificação residencial simples, composta por apenas um pavimento, que será concomitantemente analisada pelas duas ferramentas computacionais citadas, com sua fôrma e cargas previamente definidas e idênticas, em ambas as ferramentas, adotando-se as suas configurações padrão de instalação.

Este trabalho tem por objetivo auxiliar no esclarecimento de parte das dúvidas dos usuários destes *softwares* no que tange às características e especificidades de cada um, tais como método de análise, quantitativos de materiais e esforços, bem como de que forma estes fatores se relacionam, à despeito de quaisquer aspectos comerciais.

Ressalta-se ainda, que não foram consultados os desenvolvedores dos programas acerca de esclarecimentos referentes a procedimentos internos de cada programa, tão somente houve consulta às documentações “abertas” dos respectivos *softwares*, bem como uma iteração com interface dos mesmos.

Este trabalho é uma continuidade de um artigo semelhante, já feito em 2009, sendo alterada apenas a planta de fôrma, a fim de compararmos mais uma vez as duas ferramentas, porém com uma estrutura diferente.

A motivação para este trabalho é, analisar e colaborar para que essas ferramentas se tornem cada vez mais eficientes em projeto de estruturas de concreto armado.

2 ESTRUTURA ANALISADA

A estrutura que foi analisada baseia-se em um sistema convencional de construção, com as lajes sobre as vigas, que por sua vez apoiam-se em pilares. Conforme demonstrado nas figuras a seguir:

Figura 1 – Planta de forma do pavimento térreo

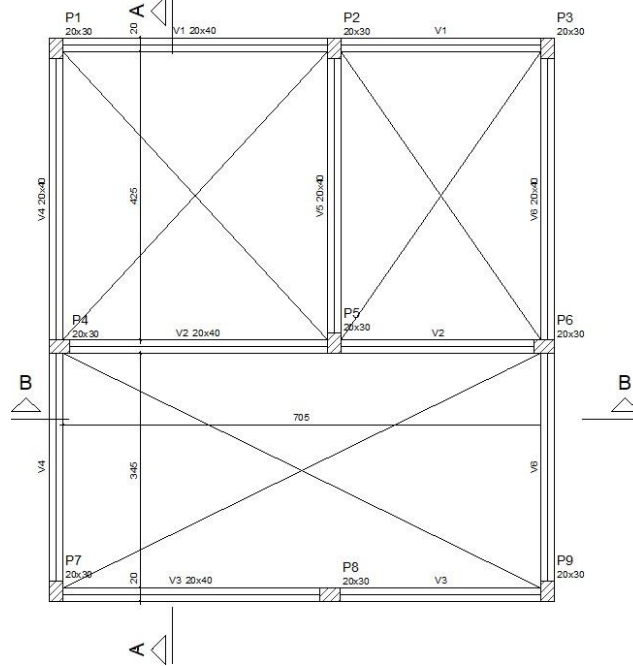


Figura 2 – Planta de forma da cobertura

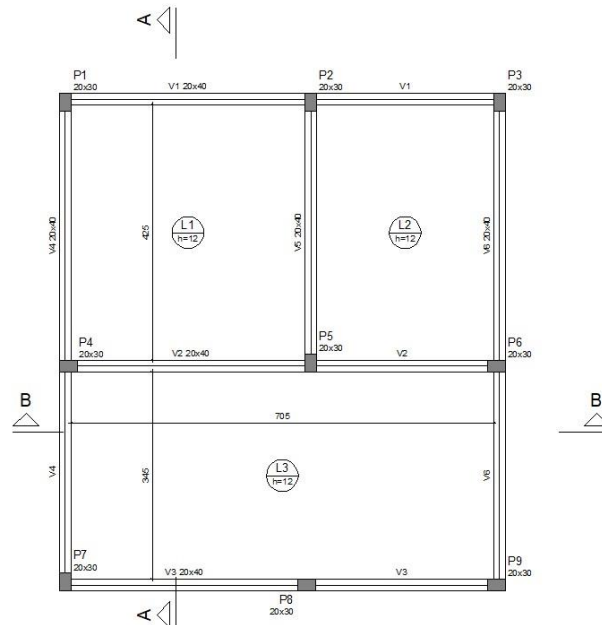


Figura 3 – Corte A-A

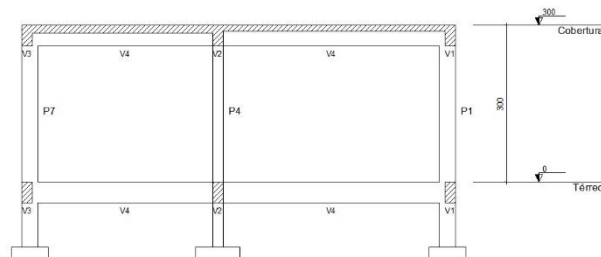
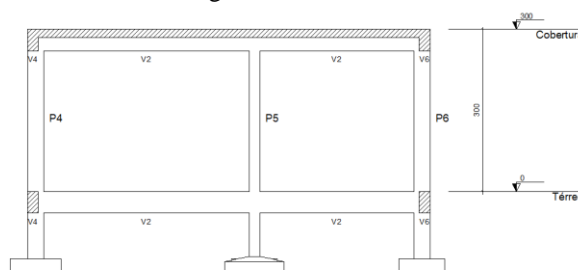


Figura 4 – Corte B-B



3 DADOS E CONSIDERAÇÕES DAS ANÁLISES

Os dados de carregamento e as considerações de análise utilizada em ambos os programas estão descritos a seguir.

3.1 CARREGAMENTOS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

As cargas utilizadas na estrutura em estudo estão descritas na tabela 1. Não foi considerado carregamento de vento, nem carga de alvenaria. O peso próprio da estrutura é calculado automaticamente pelos programas, sendo utilizado o peso específico de 25 kN/m³.

Tabela 1 – Cargas utilizadas

Carga	Valor
Peso Próprio	Automático
Sobrecarga	1.5 kN/m ²
Revestimento	1.0 kN/m ²

A tabela 2 apresenta as características de resistência do concreto e do aço utilizados.

Tabela 2 – Características dos Materiais

Material	Valor
Concreto	Classe C25 - 25 Mpa
Aço	CA50 e CA60

3.2 CONSIDERAÇÕES DAS ANÁLISES

Foram adotadas as seguintes considerações nas análises em ambos os programas:

- Foi desconsiderado o efeito global de segunda ordem (P-delta), já que não foram consideradas ações horizontais.
- As ligações dos pilares com a fundação foram consideradas rotuladas (o dimensionamento das fundações não foi comparado neste artigo)
- As lajes foram consideradas engastadas.

As bitolas de aço escolhidas para o dimensionamento da estrutura, em cada programa, estão descritas a seguir, na tabela 3.

Tabela 3 – Bitolas escolhidas nos programas

Elemento	Bitolas (mm)
Lajes	5,0 - 6,3 - 8,0 - 10,0
Vigas (Armadura <i>Longitudinal</i>)	8,0 - 10,0 - 12,5 - 16,0 - 20,0
Vigas (Armadura <i>Transversal</i>)	5,0 - 6,3 - 8,0 - 10,0
Pilares	10,0 - 12,5 - 16,0 - 20,0

Ficou determinada a classe de agressividade ambiental II (moderada), sendo assim foi utilizado cobrimento de 3,0 cm nos pilares e vigas, e 2,5 cm nas lajes. Com abertura limite para fissuras de 0,3 mm.

4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Foram comparados os seguintes resultados:

- Esforço em vigas;
- Deformações em vigas e lajes;
- Área de aço em seções de lajes, vigas e pilares;
- Cargas nas fundações;
- Área de forma;
- Volume de concreto;
- Peso total em barras de aço.

A figura 5 apresenta os diagramas de momento fletor e esforço cortante de projeto (envoltórias de esforços) para a viga V2 (figura 2), obtidos com o programa Cypecad; A figura 6 apresenta os diagramas de momento fletor e esforço cortante para essa mesma viga, com o programa Eberick. A tabela 4 apresenta uma comparação entre esforços de projeto, armaduras calculadas e deformação máxima diferida para a viga V2.

Figura 5 – Momento Fletor (kNm) e esforço cortante (kN) viga V2 – Cypecad.

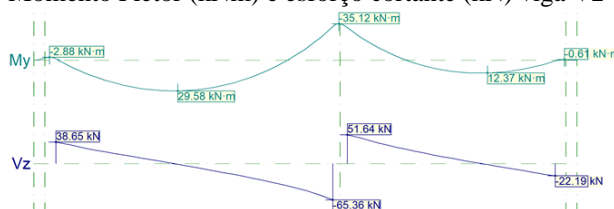


Figura 6 – Momento Fletor (kNm) e esforço cortante (kN) viga V2 – Eberick

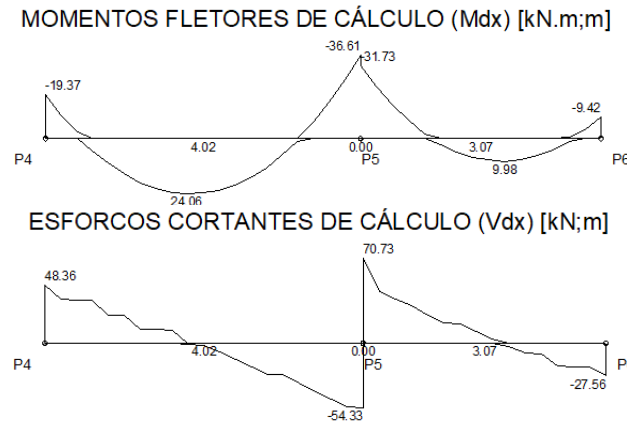


Tabela 4 – Comparação de esforços de projeto, armadura e deformação da viga V2.

Parâmetro	CYPECAD	EBERICK	Diferença %	Diferença % (Artigo 2009)
Momento <i>positivo</i> máximo (kNm)	29,58	24,06	22,94	28,40
Armadura <i>positiva</i> máxima (cm ²)	2,36	1,59	48,43	39,00
Momento <i>negativo</i> máximo (kNm)	35,12	36,61	4,07	1,50
Armadura <i>negativa</i> máxima (cm ²)	2,58	2,47	4,45	4,20
Flecha máxima no trecho entre pilares P4 e P5(cm)	0,24	0,2	20,00	0,40
Flecha máxima no trecho entre pilares P5 e P6(cm)	0,03	0,05	40,00	0,40
Cortante <i>positivo</i> máximo (kN)	51,64	70,73	27,00	3,00
Armadura de cisalhamento máxima <i>positiva</i> (cm ² /m)	1,9	2,05	7,32	13,00

As figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, os detalhes da viga V2 gerados pelos programas.

Figura 7 – Detalhamento viga V2 – Cypecad.

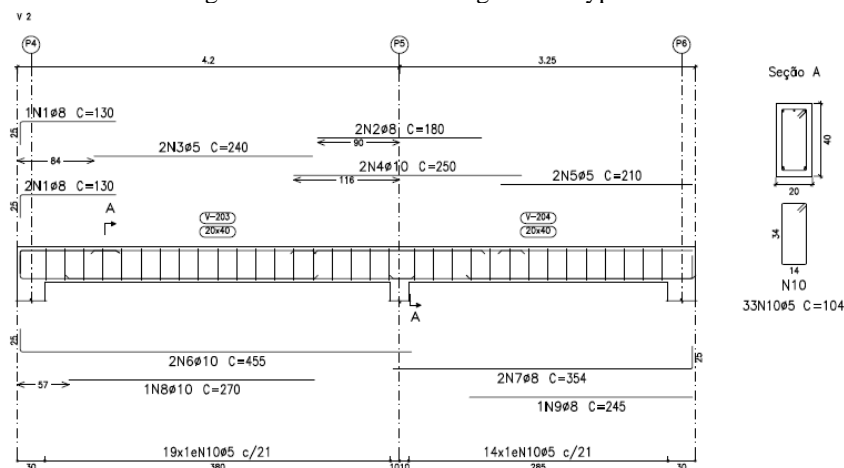
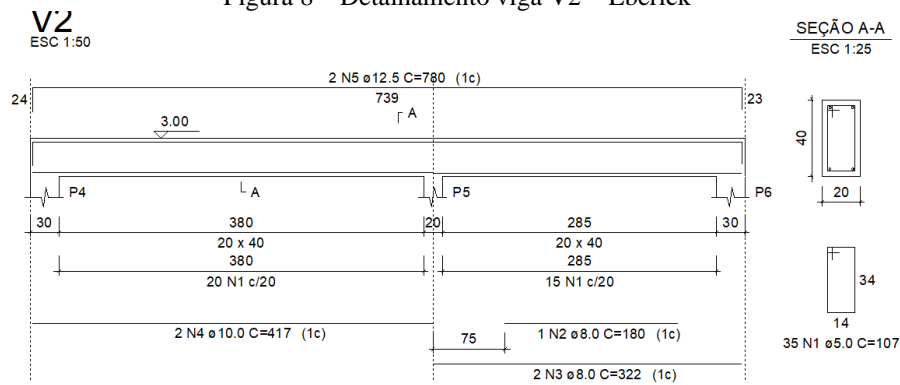


Figura 8 – Detalhamento viga V2 – Eberick



A tabela 5 apresenta uma comparação entre as áreas de aço adotadas por ambos os programas e flecha máxima para laje L1.

Tabela 5 – Comparação da armadura adotada e deformação na laje L1.

Parâmetro	CYPECAD	EBERICK	Diferença %	Diferença % (Artigo de 2009)
Armadura <i>positiva</i> adotada - x (cm ² /m)	1,27	1,21	4,96	62,10
Armadura <i>positiva</i> adotada - y (cm ² /m)	1,12	1,21	7,44	49,50
Armadura <i>negativa</i> sobre a V2 (cm ² /m)	2,49	2,78	10,43	44,60
Armadura <i>negativa</i> sobre a V5 (cm ² /m)	1,55	1,8	13,89	33,00
Flecha máxima (cm)	0,26	0,37	29,73	60,70

As figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, momentos fletores das lajes da cobertura na direção X e momentos fletores das lajes da cobertura na direção Y, obtidos através do programa Cypecad, que utiliza o método dos elementos finitos. A figura 11 apresenta momentos fletores das lajes da cobertura obtidos através do programa Eberick, que utiliza o método de analogia de grelhas.

Figura 9 – Momentos Fletores lajes da cobertura na direção X – Cypecad.

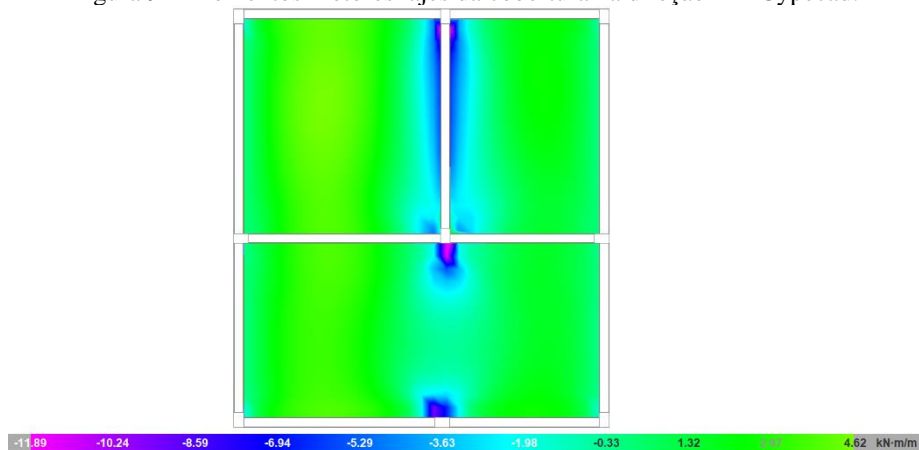


Figura 10 – Momentos Fletores lajes da cobertura na direção Y – Cypecad

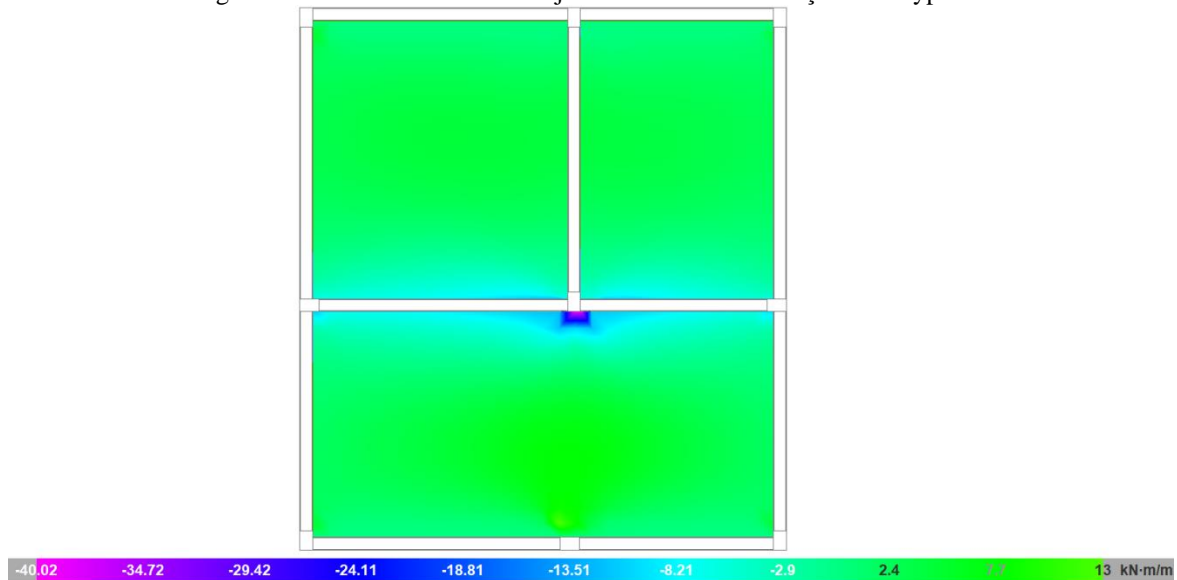
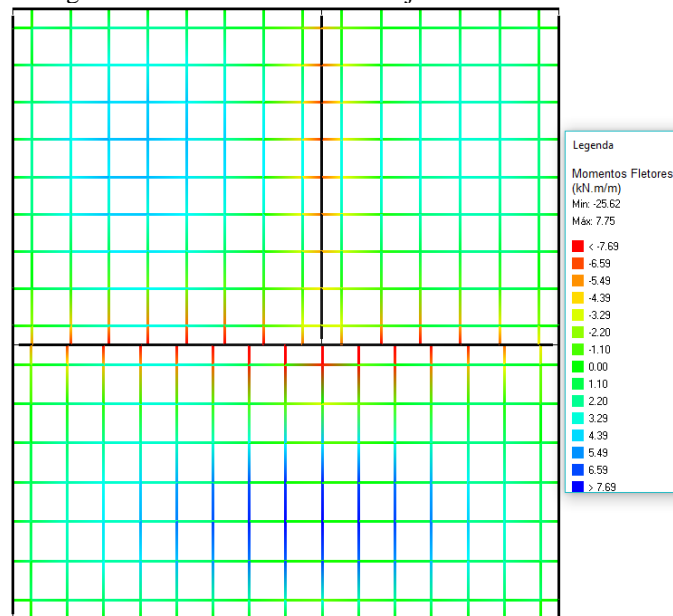


Figura 11 – Momentos Fletores lajes cobertura – Eberick.



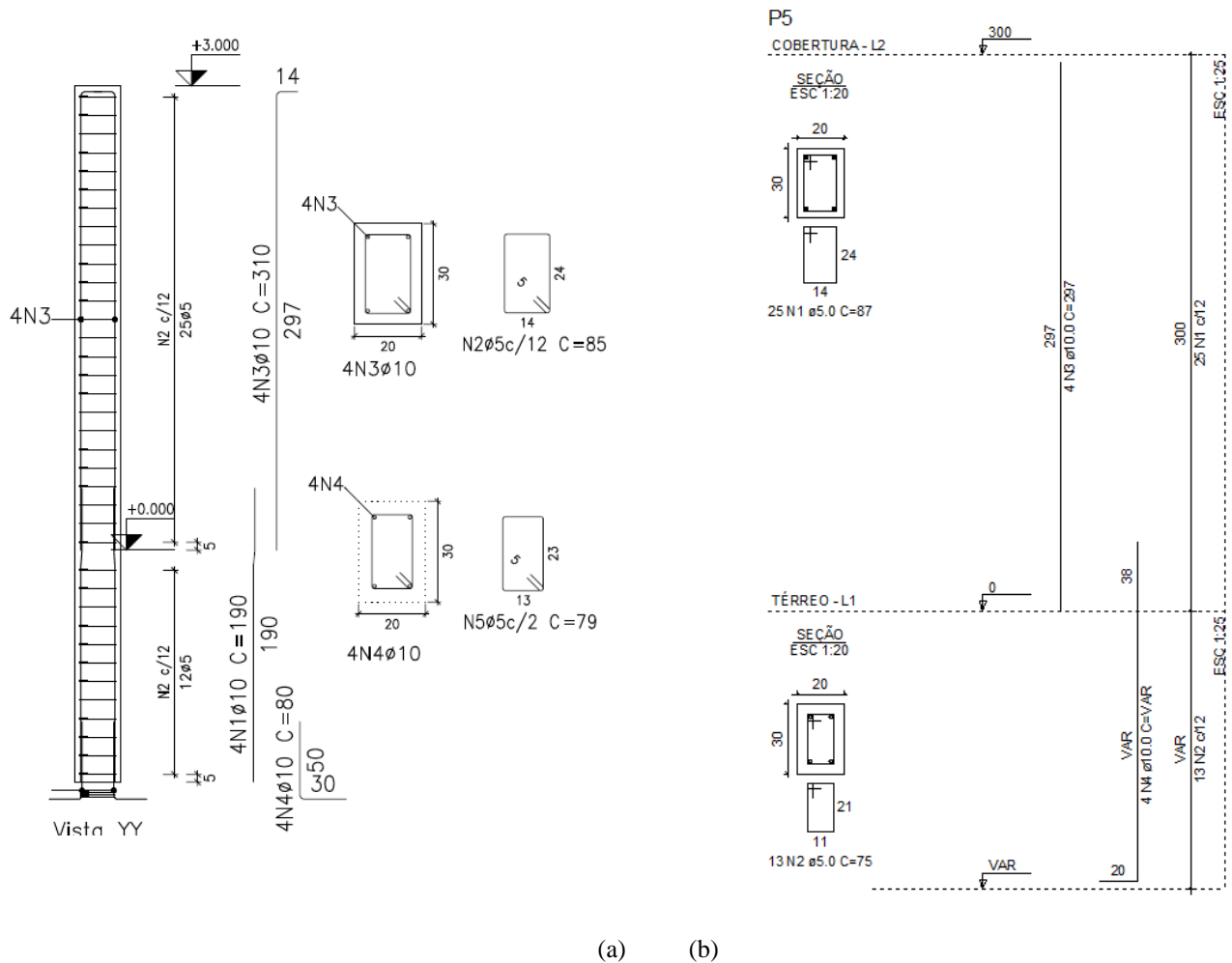
A tabela 6 apresenta uma comparação entre esforços máximos de projeto e áreas de aço do pilar P5.

Tabela 6 – Esforços e áreas de aço para o pilar P5.

Parâmetro	CYPECAD	EBERICK	Diferença %	Diferença % (Artigo de 2009)
Momento máximo topo (kNm)	4,6	8,78	47,61	30,00
Momento máximo base (kNm)	1,5	4,89	69,33	23,10
Esforço normal máximo (kN)	177,43	166,57	6,52	6,60
Armadura adotada (cm ²)	3,14	3,14	0,00	0,00

A figura 12 apresenta o detalhamento do pilar P5 em ambos os programas.

Figura 12 – Detalhes do pilar P5 – (a) Cypecad (b) Eberick.



A tabela 7 apresenta as cargas nas fundações. A ligação entre os pilares e as sapatas foram consideradas rotuladas.

Tabela 7 – Cargas nas fundações (kN)

Pilar	CYPECAD	EBERICK	Diferença %	Diferença % (Artigo de 2009)
P1	38,5	40,84	5,73	15,30
P2	75,9	78,77	3,64	1,60
P3	30,4	32,81	7,35	15,30
P4	79,7	79,45	0,31	2,40
P5	141,7	136,61	3,73	-
P6	61,9	63,24	2,12	2,40
P7	31,9	34,82	8,39	12,50
P8	57,3	54,28	5,56	1,50
P9	26,7	29,73	10,19	12,50
Total	544,00	550,55	1,19	4,60

A tabela 8 apresenta os quantitativos de materiais obtidos pelos programas, por cada pavimento, e a tabela 9 apresenta o total da obra.

Tabela 8 – Quantitativo de materiais por pavimento.

Pavimento	Consumo	CYPECAD	EBERICK	Diferença %	Diferença % (Artigo de 2009)
Cobertura	Área de Forma (m ²)	110,14	124,20	11,32	7,00
	Volume de concreto (m ³)	11,34	11,50	1,39	3,00
	Peso das Barras de aço (kg)	505,00	504,70	0,06	10,70
Térreo	Área de Forma (m ²)	49,20	57,10	13,84	23,40
	Volume de concreto (m ³)	4,12	4,30	4,19	13,20
	Peso das Barras de aço (kg)	194,00	199,10	2,56	32,30

Tabela 9 – Quantitativo total da obra.

Pavimento	Consumo	CYPECAD	EBERICK	Diferença %	Diferença % (Artigo de 2009)
Total da Obra	Área de Forma (m ²)	159,34	181,30	12,11	11,30
	Volume de concreto (m ³)	15,46	15,80	2,15	3,60
	Peso das Barras de aço (kg)	699,00	703,80	0,68	1,80
	Consumo de aço (kg/m ³)	45,21	44,54	1,50	1,70

5 CONCLUSÕES

Conforme o esperado, observa-se que os resultados apresentados para as comparações propostas não são idênticos. Em alguns casos apresentam grande proximidade, como por exemplo, no caso dos diagramas de esforços solicitantes, bem como os valores máximos para dimensionamentos, apresentados nas figuras 5 e 6, para momentos fletores na viga V2. A diferença de momentos nos apoios, entre os programas, pode ser justificada pelo fato de o Cypecad utilizar como coeficiente de engastamento um valor que varia de 0 a 1, onde 0 é apoio rotulado e 1 engastamento total, sendo utilizado como valor padrão o coeficiente 0,3 no último piso, enquanto no Eberick são apenas 3 opções, engastamento, nós semi-rígidos e rotulado. Quanto às diferenças encontradas nas áreas de aço, pode-se atribuí-la a graduação das tabelas de armadura *default* de instalação. A graduação de áreas de aço é função da quantidade de distribuição das possibilidades de combinações entre barras de aço nas seções de viga. Esta opção deve ser amplamente explorada pelos usuários das ferramentas, de modo a cobrir a maior quantidade de esforços de dimensionamento possível, sem comprometer a exequibilidade, e sem oneração na carga horária de tempo na edição de armaduras na preparação das pranchas para execução. Ainda para a viga V2, a flecha máxima obtida pelo Eberick teve uma diferença de 20% no trecho entre os pilares P4 e P5, e uma diferença ainda maior, de 40%, entre os pilares P5 e P6, essa diferença pode se dar ao fato delas serem calculadas por formas diferentes nos dois programas.

Analisando os resultados das diferenças entre os programas do artigo de 2009 com esse de agora, vemos uma grande semelhança entre os resultados dos momentos máximos negativos e positivos, entretanto, já nos esforços cortantes não há um acompanhamento desses resultados, assim como nas flechas,

que são superiores neste presente trabalho. O que pode ser devido a análise de uma estrutura completamente diferente do trabalho antigo.

No caso das áreas de aço para flexão em lajes apresentadas na tabela 5, observa-se que no tocante à economia, o programa Cypecad torna-se mais econômico que o Eberick quanto às armaduras de flexão tanto positivas, quanto negativas, e nessa última a diferença é ainda maior. Essas diferenças podem ser atribuídas à graduação das tabelas de armadura *default* de instalação dos programas. Observa-se ainda, que o programa Eberick apresenta maior flecha que o Cypecad, provavelmente pelo fato de o último, por determinar esforços e deslocamentos através do método dos elementos finitos, não conter a formulação não linear que considera o concreto no estado fissurado e nem considera o cálculo de flecha diferido no tempo, pode-se avaliar separadamente tais efeitos e, posteriormente, fazer a comparação com os resultados do EBERICK. Já na comparação entre os artigos vê-se uma clara diferença nos valores, que tiveram suas diferenças reduzidas consideravelmente no presente trabalho.

No que diz respeito aos pilares, apesar de apresentarem momentos fletores com uma diferença acentuada, as taxas de armaduras foram idênticas em ambos os programas, assim como os detalhamentos das armaduras longitudinais, e transversais, nesta última a pequena diferença foi no comprimento do estribo que é 2cm menor no programa Cypecad. O Eberick adota em seu método de dimensionamento, um processo iterativo, ou processo da linha neutra, que leva em conta o posicionamento das armaduras. Neste método, são traçados diagramas de interação entre os momentos resistentes e solicitantes de cálculo, para cada combinação, até atingir uma configuração de armadura que atenda as solicitações de projeto. Já o método de cálculo utilizado no CYPECAD, é a verificação das armaduras da tabela de armadura de pilares selecionada até que se encontre uma configuração de armadura que atenda a todas as combinações. No caso dos pilares, as diferenças entre os esforços normais são praticamente os mesmos, já quanto aos momentos, houve um aumento na diferença do presente trabalho e a armadura adota foi exatamente a mesma, como no antigo artigo também.

Observa-se através da análise da tabela 7, que a distribuição de cargas axiais nos pilares, apresenta pouca diferença, resumindo-se a comparação ao somatório de cargas nos pilares, com diferença na ordem de 1,2%. É possível que esta diferença esteja relacionada aos critérios adotados para a consideração da parcela devida ao peso próprio dos elementos estruturais, que por sua vez, é função direta dos volumes de concreto da obra. Ao compararmos esse resultado com o obtido no artigo de 2009, percebe-se uma diminuição na diferença de quase 75% com a do presente ano.

Analisando as tabelas 7 e 9, observa-se que o somatório das cargas nas fundações, obtido pelo Eberick, é superior ao obtido pelo Cypecad. Não por acaso, o volume de concreto apresentado pelo Eberick é superior ao apresentado pelo Cypecad. Quanto ao peso do aço, observa-se que o resumo do cálculo obtido a partir da utilização do programa Cypecad, apresenta um resultado da ordem de 0,7% mais econômico que o obtido com a utilização do programa Eberick. Mas, em se tratando do consumo de aço por metro cúbico de concreto, mostra que o Eberick é mais econômico. Essa inversão de resultado se explica pelo volume de

concreto estar superior no Eberick, que o calculado pelo Cypecad, fazendo-se com que se reduza esse índice. Esse resultado foi o mesmo obtido no artigo de 2009, e a diferença entre eles é menor que 12%.

Como foi apresentada uma diferença na área de forma utilizada, sendo maior no Eberick 12,1 %, foi feito um cálculo manual a fim de elucidar tal diferença, e constatou-se que os resultados são mais próximos ao obtido pelo programa Cypecad, sendo provável que, no cálculo realizado pelo programa Eberick haja duplicidade nas áreas entre as vigas e pilares. Esse mesmo fato foi constatado no artigo de 2009, e se manteve praticamente com a mesma diferença, sugerindo-se que não houve uma atualização neste quesito, porém no consumo geral, fazendo uma comparação entre as diferenças do presente trabalho e do realizado em 2009, percebe-se uma diminuição nas diferenças entre os programas.

Em síntese, podemos perceber, pelas análises feitas que apesar dos processos de análise estrutural terem as suas diferenças, os resultados em consumo são bem equivalentes. O programa Cypecad adota mais aço em vigas, e o programa Eberick adota mais aço em lajes, porém, pelo critério de consumo de materiais, utilizando-se a configuração *default*, assim como foi constatado também em 2009, sugere mais econômico o *software* Cypecad.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto armado- Procedimento - Rio de Janeiro, 2023.

CYPE INGENIEROS, Cypecad, <https://cype.com>

ALTOQI, Eberick 2019, <https://www.altoqi.com.br/eberick/>.

RODRIGUES, G. J. O.; DE LIMA, A.L.; NETO, S. V. Um Estudo Comparativo de Desempenho Entre Softwares de Dimensionamento e Detalhamento de Estruturas em Concreto Armado, Rio de Janeiro 2009.