

Estudo comparativo dos esforços de cálculo encontrados por *softwares* estruturais de elementos em concreto armado

Comparative study of the calculation efforts found by structural softwares for reinforced concrete elements

RESUMO

Com o avanço tecnológico, o cálculo estrutural foi sendo cada vez mais aprimorado, surgindo *softwares* de dimensionamento que calculam todos os esforços solicitantes na estrutura, oriundos do carregamento previamente lançado, e dimensionam todos os elementos, sendo estes as vigas, lajes e pilares. Portanto, o objetivo deste trabalho é lançar uma estrutura em concreto armado em dois *softwares* comerciais de cálculo estrutural distintos (TQS 2020 e Eberick 2020) e comparar estes esforços calculados por ambos, nos elementos estruturais existentes no edifício, identificando possíveis diferenças e exemplificando assim as diferentes soluções possíveis de se realizar um projeto estrutural. Após processado o edifício em ambos os programas, foi identificada diferença nos valores encontrados, causada pela diferente maneira que cada *software* considera seus apoios e vinculações, mas apesar de diferentes os valores são condizentes com a realidade e seguros, pois ambos os programas computacionais seguem rigorosamente todos os parâmetros, critérios e condições da ABNT NBR 6118 (2014).

PALAVRAS-CHAVE: Cálculo estrutural. Modelagem. Esforços.

ABSTRACT

With technological advances, structural calculations have been improved, with softwares that calculates all the stresses on the structure, originating from the previously launched load, and detailing all elements, these being beams, slabs and columns. Therefore, the objective of this project is to launch a reinforced concrete structure in two different commercial structural calculation softwares (TQS 2020 and Eberick 2020) and to compare these efforts calculated by both, in the structural elements existing in the building, identifying possible differences and thus exemplifying the different possible solutions for carrying out a structural project. After the building was processed in both programs, a difference in the values found was identified, caused by the different way that each software considers its supports and links, but despite being different, the values are consistent with reality and safe, since both computer programs strictly follow all the parameters, criteria and conditions of ABNT NBR 6118 (2014).

KEYWORDS: Structural calculation. Modeling. Efforts.

Guilherme de Oliveira Lechado
guilhermelechado@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Gustavo Lacerda Dias
lacerda@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dimensionar elementos estruturais em concreto armado, quantificar e detalhar armaduras e garantir a estabilidade e durabilidade de um edifício, o chamado cálculo estrutural surge, dando vida ao chamado projeto estrutural.

De acordo com Liserre e Ramalho (2003), a análise de edifícios é um tópico de grande importância para a Engenharia de Estruturas, pois o desenvolvimento técnico obtido nessa área produz um benefício sensível para toda a sociedade, visto que o número de edifícios existentes hoje é expressivo, deixando outras estruturas em situação de menor destaque.

Antigamente, cada elemento do projeto estrutural era analisado individualmente, sem levar em consideração a interação entre eles e também com o solo (LISERRE; RAMALHO, 2003). Sendo assim, os modelos estruturais de concreto armado eram bem menos complexos, necessitando de melhorias que foram chegando com o passar dos anos.

O avanço tecnológico colaborou muito para o avanço do cálculo estrutural, introduzindo *softwares* de dimensionamento a fim de simplificar e facilitar o lançamento da estrutura, assim como sua visualização, conduzindo a solução a um nível de precisão satisfatório simulando o comportamento físico da estrutura com o mais próximo que ocorre na realidade. Porém, segundo Kimura (2007), “A informática na sua essência, veio para aperfeiçoar a Engenharia de Estruturas, e jamais substituí-la”. Independentemente dos resultados encontrados através dos programas computacionais, é necessária experiência do engenheiro e atenção na conferência dos parâmetros e critérios adotados.

A ABNT NBR 6118 (2014) – Projeto de Estrutura de Concreto, estabelece a maioria dos critérios e parâmetros a serem admitidos pelo projetista, porém existem também alguns critérios não detalhados ou omitidos. Portanto, este trabalho tem o intuito de analisar os resultados dos esforços obtidos através do lançamento estrutural de um edifício residencial, localizado em Pato Branco, realizado por dois *softwares* distintos (Eberick 2020 e TQS 2020), comparando os resultados encontrados e identificando possíveis diferenças, exemplificando assim as diferentes soluções possíveis de se realizar um projeto estrutural.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto estrutural a ser concebido foi feito com base no projeto arquitetônico de um pequeno edifício residencial localizado na cidade de Pato Branco – PR, disponibilizado por uma empresa local de arquitetura, que foi calculado todo em concreto armado e lajes maciças. O edifício residencial é composto por subsolo (fundação), pavimento térreo, pavimento superior, cobertura e compartimento da caixa d’água, atingindo uma altura máxima de 9,25m.

Para que os resultados pudessem ser comparados, foi lançado em ambos *softwares* a mesma estrutura em concreto armado, com dimensões de vigas, lajes e pilares pré-definidas pela empresa que concedeu o projeto, assim como suas posições em planta.

Com relação as lajes, os únicos pavimentos que as possuem são o pavimento superior e cobertura, todas contendo 12 cm de espessura, e cada uma possui sua parcela de carregamento conforme sua utilização residencial de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) e ABNT NBR 6120 (2019).

Além das dimensões lançadas em ambos os programas serem idênticas, os dois *softwares* foram configurados igualmente, com a mesma classe de concreto para a estrutura, classe de agressividade ambiental, cobrimentos, mesmas ligações/vinculações entre os elementos e mesmas cargas atuantes, conforme disponibilizadas pela empresa (Tabela 1).

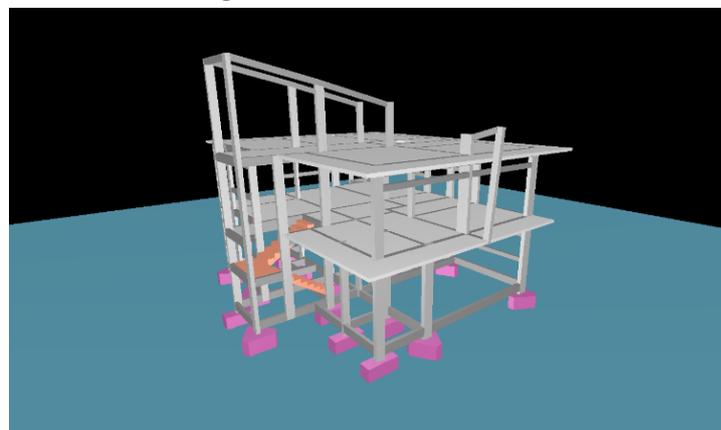
Tabela 1 – Informações padronizadas para a análise estrutural.

Critérios	Informações adotadas
Modelo Estrutural Eberick	Grelhas + Pórtico Espacial
Modelo Estrutural TQS	Modelo IV
Material	Concreto Armado
Classe de Agressividade	II – Moderada – Urbana
Classe de Concreto	C30
Cobrimentos	Viga – 3 cm Pilar – 3 cm Lajes – 2,5 cm Fundação – 3 cm
Ponderadores de cargas	Cargas permanentes: Peso Próprio – Gama F = 1,4 Adicional – Gama F = 1,4 Cargas acidentais: Gama F = 1,4

Fonte: Autoria Própria (2020).

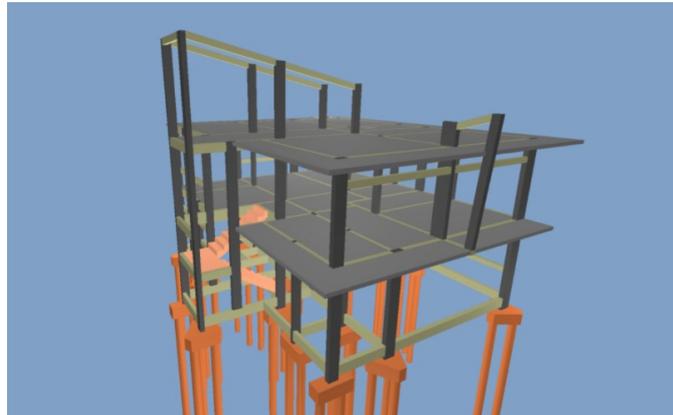
Após configurado e lançado as informações disponibilizadas acima no TQS e no Eberick, fez-se uma visualização 3D da estrutura nos dois *softwares*, afim de conferir se todos os elementos e etapas do lançamento foram feitas corretamente (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Estrutura 3D no TQS.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 2 - Estrutura 3D no Eberick.



Fonte: Autoria Própria (2020).

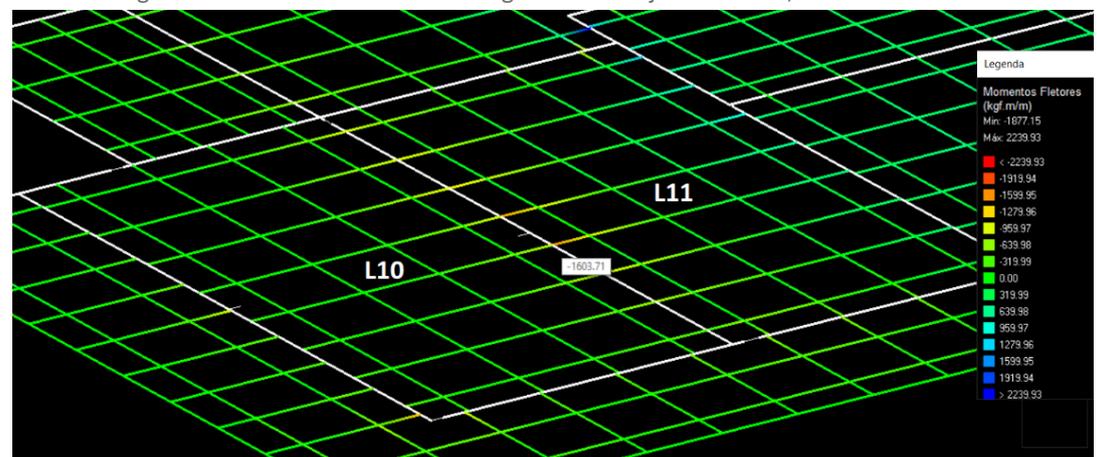
Como não foi visualizado nenhum problema de lançamento, a estrutura foi processada em ambos os programas para que quaisquer erros que pudessem surgir devido ao dimensionamento fossem corrigidos, para então, obter os esforços reais que a estrutura possui, demonstrados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os modelos escolhidos para ambos os *softwares*, as lajes são calculadas através do processo de Análise de Grelhas, onde os esforços são obtidos em cada barra da grelha, calculando ponto a ponto a composição entre os momentos de flexão e torção, sendo possível obter esforços finais para dimensionamento que já cobrem os momentos volventes nas lajes, diferente do cálculo manual, onde os esforços são obtidos através de tabelas.

Como exemplo, na Figura 3 a seguir, é possível verificar as barras da grelha calculados pelo Eberick entre as lajes engastadas L10 e L11. O maior esforço de momento fletor negativo calculado pelo Eberick entre o primeiro vão da continuidade entre essas lajes foi de -1603,71 kgf.m/m ou -15,727 kN.m/m, estando este esforço já majorado (Md).

Figura 3 - Momento fletor entre as grelhas das lajes L10 e L11, Eberick.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Com relação ao *software* TQS, ao comparar os momentos fletores gerados na grelha entre as mesmas lajes, identificou-se que o maior momento fletor negativo encontrado entre ambos os lados equivale a um $M_d = -948.5 \text{ kgf.m/m}$ ou $-9,302 \text{ kN.m/m}$, localizado no mesmo ponto do maior momento fletor negativo deste vão na grelha do Eberick, sendo o valor encontrado pelo TQS 40% menor. Estes foram os valores utilizados por cada programa para dimensionar as armaduras negativas de continuidade, nesta região.

Já ao analisar os momentos positivos da mesma laje L11, nas direções X e Y, responsáveis pela adição de armaduras inferiores (positivas), os *softwares* também apresentarem diferenças em seus valores, como é possível verificar na Tabela 2 apresentada a seguir.

Tabela 2 - Momentos fletores positivos da laje L11.

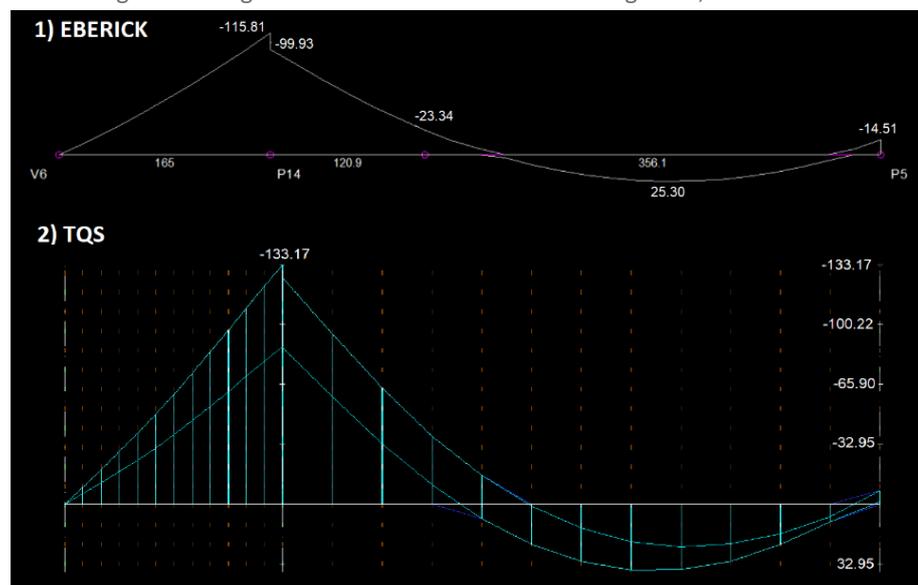
Software	LAJE L11 (kN.m/m)	
	Mdx	Mdy
Eberick	13,51	4,46
TQS	7,24	6,56
Diferença %	46,41%	32,01%

Fonte: Autoria Própria (2020).

O dimensionamento de vigas, tanto no Eberick quanto no TQS, não difere muito um do outro. Isso porque o processo de cálculo e análise de uma viga é mais simples, sendo este processo semelhante ao cálculo manual que faz parte do *curriculum* das principais escolas de engenharia civil, estando ambos os *softwares* perfeitamente de acordo com todos os parâmetros, critérios e condições da ABNT NBR 6118 (2014).

A seguir serão apresentados os diagramas de momentos fletores gerados por ambos os programas da viga V16, uma viga interna do pavimento superior, em kN.m. Os valores apresentados a seguir já estão majorados (M_d).

Figura 4 - Diagramas de momentos fletores da viga V16, em kN.m.



Fonte: Autoria Própria (2020).

A tabela 2 a seguir transcreve esses valores máximos de momentos da figura anterior, além de mostrar também os valores máximos dos esforços cortantes na mesma viga gerados por cada *software*, para melhor comparação. Apesar da pouca diferença de valores, todas as vigas do projeto apresentaram diagramas semelhantes, com o mesmo formato e mesmos pontos de momentos máximos, tanto positivos quanto negativos. O mesmo aconteceu com os outros diagramas, como o de esforço cortante.

Tabela 2 - Valores máximos dos momentos e esforços cortantes positivos e negativos.

Software/Vigas	V16 (pav. superior)			
	Md máx + (kN.m)	Md máx - (kN.m)	Vd máx + (kN)	Vd máx - (kN)
Eberick	25,30	-115,81	71,88	-84,53
TQS	32,95	-133,17	78,25	-90,61

Fonte: Autoria Própria (2020).

Quanto aos pilares, através da interação de todos os elementos, cada *software* calculou a carga total de cada pilar que chega na fundação da estrutura, apresentado na Tabela 3 a seguir. A diferença total entre cada programa é de cerca de 13%, mostrando uma coerência entre valores e um lançamento correto da estrutura.

Tabela 3 - Comparação da carga total dos pilares que chega na fundação.

PILARES		Carga total na fundação	
Numeração	Seção (cm)	Eberick (kN)	TQS (kN)
P3	14x30	91,20	66,69
P4	14x30	92,18	86,29
P5	16x45	152,98	140,24
P6	14x30	149,06	132,39
P8	18x30	138,27	117,68
P10	14x30	101,10	101,99
P11	14x30	104,93	77,47
P13	14x40	247,13	233,40
P14	14x35	270,66	228,49
P15	16x40	115,72	95,12
P16	16x30	87,27	41,19
P17	16x40	205,94	166,71
P19	14x35	204,96	205,94
P21	14x30	53,94	50,99
P22	14x30	110,82	86,30
P23	18x35	87,28	32,36
P24	18x40	218,69	262,82
P25	18x45	214,77	175,54
TOTAL:		2646,9	2301,61

Fonte: Autoria Própria (2020).

CONCLUSÃO

Conforme esperado, os resultados encontrados pelos *softwares* foram diferentes. Isso acontece devido a diferenças adotadas por cada programa com relação a flexibilização de apoios e diferenças no cálculo de grelha adotado por cada um.

Para diminuir essa diferença e pico de valores, o TQS por exemplo permite ao engenheiro adotar molas nos apoios, transformando os pilares em apoios elásticos independentes, e não apenas simples restrições rígidas como inicialmente adotado. Já o Eberick permite diferenciar a vinculação entre as ligações de vigas-pilares ou vigas-vigas, podendo estas serem ligações engastadas, rotuladas ou semi-rígidas, cada vinculação possui sua característica, podendo aumentar ou diminuir a transferência de momento entre os elementos. Como os *softwares* possuem essa diferença, foram adotadas vinculações engastadas entre todas as vigas e pilares, conforme lançamento padrão de cada programa, sem o uso de molas, para que os resultados pudessem ser comparados.

Apesar das diferenças encontradas, todos os diagramas apresentaram curvatura e comportamento semelhantes como mostrado anteriormente, e as diferenças de valores também podem ser consideradas corretas e condizentes, visto que ambos os *softwares* seguem rigorosamente todos os parâmetros, critérios e condições da ABNT NBR 6118 (2014), estando todos os esforços solicitantes majorados e resistência dos materiais minorada, obtendo assim um esforço para dimensionamento que provavelmente não será alcançado ao longo de toda a vida-útil da estrutura.

Além disso, o trabalho permitiu obter um conhecimento mais aprofundado sobre a área de Engenharia de estruturas, mostrando a complexidade e responsabilidade que a análise estrutural exige do Engenheiro Civil, além de sua importância social visto que qualquer erro ou julgamento mal feito pode colocar em risco a vida de pessoas que venham a ter contato com um edifício mal projetado, diretamente ou indiretamente.

REFERÊNCIAS

LISERRE, Luiz; RAMALHO; Marcio Antonio. **Sistema Computacional com Geração de Dados e Visualização de Resultados para Estrutura de Edifícios**. São Carlos, p.1, 2003. Disponível em: http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2003ME_LuizLiserre.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo, SP: Pini, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Carga para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

TQS Informática Ltda. **TQS Docs – Artigos e Manuais**. Disponível em: <<http://docs.tqs.com.br/>>.

QiSuporte. **AltoQi – Artigos**. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br>>.