

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO PARA ESCADAS DE CONCRETO ARMADO

Tiago de Souza Magnus (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) tiagomagnus@outlook.com, (2) avargas@unesc.net

RESUMO

O dimensionamento de escadas de concreto armado armadas longitudinalmente, tradicionalmente é simplificado e considera o elemento como lajes bi apoiadas inclinadas, apresentando como resultado armadura principal de flexão na face inferior. Com o advento de softwares que possibilitam o cálculo de escadas juntamente com a estrutura, observou-se um detalhamento diferenciado na armação de flexão. Este trabalho visa analisar os diferentes modos de cálculo de escadas por meio de um estudo comparativo entre o dimensionamento realizado pelo modelo manual utilizando dois softwares de cálculo estrutural (CYPECAD e Eberick) e pelo modelo manual obtendo os esforços através do software SAP2000. Como resultado, observa-se que o modelo manual simplificado foi o melhor no quesito consumo de aço, sendo o mesmo validado pelas análises de esforços realizadas com o SAP2000. A armadura extra presente no detalhamento feito pelos softwares é proveniente de uma análise completa do elemento escada, que gera armaduras necessárias para combate a outros esforços além dos momentos fletores. Com os resultados obtidos é seguro dizer que o modelo de cálculo utilizado e as considerações adotadas no mesmo podem alterar significativamente o resultado final, e estas decisões são de inteira responsabilidade do engenheiro calculista.

Palavras-Chave: Escadas, Concreto armado, Dimensionamento de escadas.

1. INTRODUÇÃO

Escadas são elementos estruturais essenciais em edifícios residenciais e comerciais que permitem acesso aos diferentes níveis da edificação. São vários os meios possíveis de dimensionar este elemento, podendo gerar diferentes detalhamentos de armadura de flexão. Na análise da estabilidade global da estrutura, as escadas são apenas interpretadas como cargas e deste modo o seu dimensionamento pode ser uma parte independente do sistema estrutural (QUEVEDO, 2011, p.17). O modo mais usual de dimensionamento de escadas em concreto armado é aproximá-la a um conjunto de lajes que se apoiam em vigas, nas quais são generalizadas a apoios de primeira e segunda ordem (VARGAS, 2015), e o cálculo da armadura, segundo Araújo (2003, p.63), é realizado apenas em flexão simples utilizando o momento máximo,

tendo em vista que, nos casos usuais, os esforços normais são pequenos. Embora simplificado, a concepção estrutural e as considerações de apoio podem assumir diferentes configurações que dependem do projeto arquitetônico e dos critérios adotados pelo calculista.

As escadas são compostas por lajes que se constituem nos lances das escadas que, por sua vez, se apoiam nas vigas que podem ser posicionadas nas suas extremidades. Vários são os tipos de estruturas possíveis para as escadas, tipos estes definidos em função do projeto arquitetônico [...] (GIONGO, 2007, p. 15).

Segundo Mancine (1971 apud MELGES, 1997, p. 11) o cálculo consiste em considerar a escada como uma laje simplesmente apoiada, e que para escadas com patamares, várias disposições estruturais são possíveis, como mostra a Figura 1.

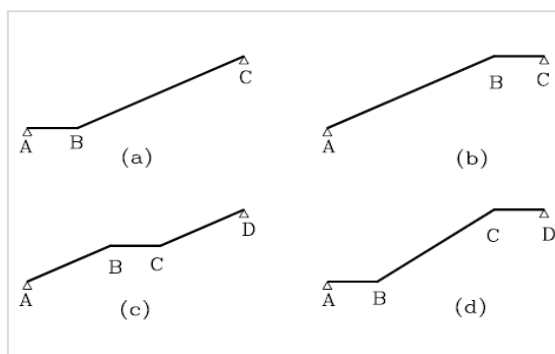


Figura 1: Alguns modelos estruturais de escadas. Fonte: Mancine (1971 apud MELGES, 1997).

Para os modelos apresentados na Figura 1, Mancine (1971 apud MELGES, 1997, p. 11) afirma que as configurações (a) e (b) podem apresentar diferentes diagramas de esforços dependendo da condição de apoio adotada, já os modelos (c) e (d) não dependem das condições de apoio por serem estruturas deformáveis, resultando assim, diagramas com apenas momentos fletores positivos.

Tomando-se o modelo (a) da Figura 1 e alterando as considerações de apoio, pode-se observar que os diagramas de momento fletor (Figura 2) modificam-se quando: (a) se utiliza dois apoios de segunda ordem e (b) se utiliza um apoio de segunda ordem e um apoio de primeira ordem.

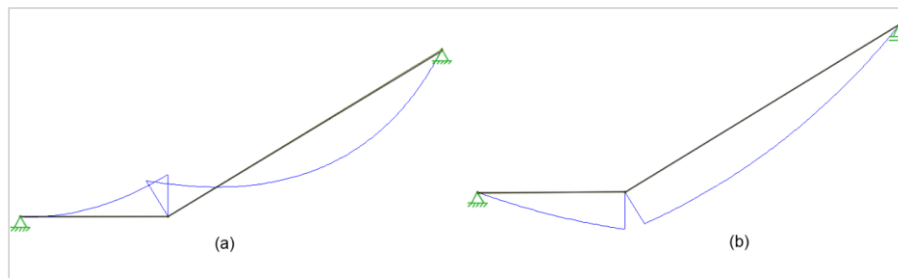


Figura 2: Diagramas de momento fletor aplicando-se (a) dois apoios de segunda ordem e (b) um apoio de primeira ordem.

Por mais que as condições de apoio influenciem no diagrama de esforços, autores tais como Rocha (1999), Araújo (2003), Melges (1997) e Giongo (2007) consideram sempre um dos apoios de primeira ordem (Figura 2, modelo “b”). O diagrama de esforços pode ser calculado através da projeção horizontal de um dos lances da escada, conforme representado na Figura 2, com um diferencial de carga no lance inclinado proveniente do cálculo da altura média. A altura média deve ser calculada para que os degraus sejam considerados no peso próprio. A partir do diagrama, o dimensionamento segue as equações das teorias do concreto armado. Este modelo ainda é largamente utilizado e ensinado em escolas de engenharia pelo Brasil.

Devido à evolução tecnológica alguns métodos numéricos de análise estrutural, tais como o MEF (Método dos Elementos Finitos) e o método de analogia de grelha, se tornaram mais rápidos e viáveis. Ambos os métodos seguem o princípio de dividir um elemento contínuo em vários elementos menores sem que o comportamento geral seja afetado. A solução proveniente destes modelos é aproximada, porém isto é devido à discretização do elemento e não pelo fato de que a estrutura geral foi simplificada. Segundo Oliveira (2016, p.21), a utilização de modelos numéricos permite simular com mais clareza e precisão os inúmeros arranjos estruturais sem que sejam necessárias simplificações ou adaptações pelo calculista. Contudo, notou-se que o dimensionamento de escadas realizado por alguns softwares comerciais que utilizam o MEF (tal como o software CYPECAD¹) e o método de analogia de grelha (tal como o software Eberick²), geram armaduras diferentes das que são geradas pelo modelo de cálculo tradicional, largamente utilizado até os dias de hoje. Além disso, a

¹ <http://cypecad.en.cype.com/>

² <http://www.altoqi.com.br/eberick/>

disposição da armadura na estrutura da escada não condiz com o diagrama de momento fletor gerado pelos softwares.

Neste contexto, este trabalho tem como foco o estudo comparativo entre o dimensionamento realizado pelo modelo manual utilizando os softwares CYPECAD e Eberick e pelo modelo manual obtendo os esforços através do software SAP2000³, utilizando uma escada de concreto armado armada longitudinalmente com patamar intermediário apoiado. Como objetivos específicos, temos: (a) análise da influência das considerações de apoio no método de cálculo manual, (b) análise do diagrama de momento fletor gerado por cada software, assim como a armadura de combate a flexão, (c) análise da transmissão de carga para os pilares e a influência da escada na estabilidade global quando calculada juntamente à estrutura utilizando os softwares CYPECAD e Eberick, (d) validação dos dimensionamentos com os diagramas obtidos com o software SAP2000.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em 6 fases:

- 1ª fase: Estudo preliminar dos softwares para determinação do modelo de escada que fosse equivalente a todos. Definição da estrutura modelo.
- 2ª fase: Dimensionamento da escada pelo método manual simplificado.
- 3ª Fase: Dimensionamento da estrutura modelo utilizando os softwares CYPECAD e Eberick para avaliação da escada no seu contexto.
- 4ª Fase: Lançamento da escada na estrutura já dimensionada, recalculando-a por inteiro e obtendo o detalhamento da escada.
- 5ª Fase: Lançamento da estrutura no software SAP2000 com e sem escada para avaliação das alterações na estrutura. Obtenção do diagrama de momento fletor para proceder com o dimensionamento manual.
- 6ª Fase: Análise comparativa dos resultados

³ <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>

2.1 MODELO ESTRUTURAL E CONSIDERAÇÕES

Para o estudo realizado neste trabalho, foram utilizadas as seguintes versões dos softwares CYPECAD 2012.d, Eberick V6 e SAP 17.3.0. O modelo adotado foi uma escada usual de dois lances com patamar intermediário apoiado em viga intermediária. Não foram considerados os patamares de chegada e saída da escada devido a uma limitação no CYPECAD que não permite a adoção desse modelo. Cada lance é constituído de oito degraus de 17,5 cm de espelho e 29,0 cm de piso, os quais respeitam a equação de Blondel que regula as dimensões dos degraus. As lajes da escada possuem espessura de 10 cm e as larguras do patamar e dos lances com degraus são 1,2 m. A sobrecarga em escadas sem acesso ao público, conforme estabelece a NBR 6120:1980, foi de $2,5\text{kN/m}^2$, e adicionalmente considerou-se uma carga permanente de enchimento de 1kN/m^2 . Adotou-se uma estrutura simples de uso residencial para suporte da escada. A planta de forma e o esquema 3D estão representados na Figura 3, sendo o reservatório localizado sobre os pilares que circundam a escada. A estrutura possui vigas de $12\times 50\text{cm}$, pilares com seção transversal de $15\times 30\text{cm}$, e lajes de 15 cm de espessura. As sobrecargas nas lajes foram de 2kN/m^2 em todas as lajes dos pavimentos, conforme a NBR 6120:1980, 25kN/m^2 na laje inferior do reservatório e 1kN/m^2 na laje superior do reservatório. Adicionalmente, foi aplicada uma carga permanente de enchimento de 1kN/m^2 em todas as lajes. Adotou-se concreto C25, aço CA-50, aço CA-60 para barras de 5 mm, cobertura de 2,5 cm e para o dimensionamento das lajes da escada uma altura útil de 7,1 cm. Os demais parâmetros considerados para a estrutura foram conforme estabelece a NBR 6118:2014 considerando classe II de agressividade.

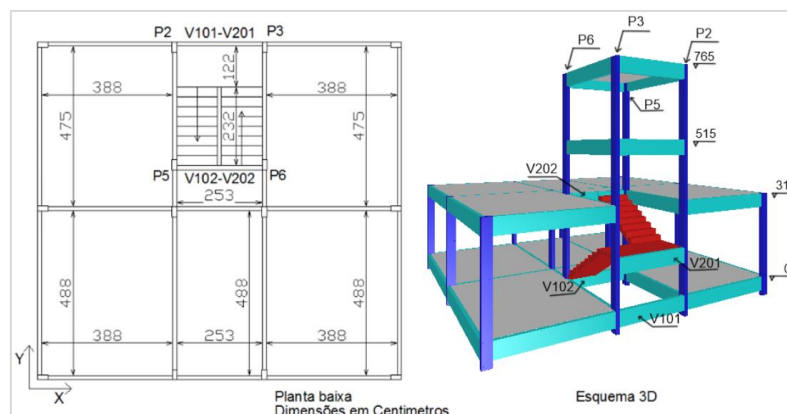


Figura 3: Planta de forma e esquema 3D.

2.2 CÁLCULO PELO MÉTODO TRADICIONAL

Foi realizado o dimensionamento pelo método manual simplificado, aproximando a escada a uma laje bi apoiada. Quanto aos apoios, foram considerados em uma primeira hipótese todos os apoios de segunda ordem, e em uma segunda hipótese um apoio de segunda ordem e o outro de primeira ordem. Para as duas configurações foram calculadas e detalhadas as armaduras de combate à flexão mediante as equações de concreto armado.

2.3 CÁLCULO PELO CYPECAD E EBERICK

Primeiramente, foi lançada e dimensionada a estrutura modelo nos dois softwares, sem as escadas. A estrutura foi calculada considerando a NBR 6118:2007 uma vez que ambos os softwares utilizados não tinham sido atualizados para a NBR 6118:2014. Porém, para o dimensionamento e detalhamento, foram consideradas as recomendações da NBR 6118:2014, atualmente em uso. Após todas as verificações de dimensionamento terem sido realizadas, foram compilados dados para avaliar se os softwares transmitem a carga referente à reação de apoio da escada para a estrutura de modo automático, pois segundo o memorial de cálculo do CYPECAD, a escada é calculada independente da estrutura e a carga é posteriormente adicionada às vigas que a sustentam. Podemos avaliar esse fator monitorando a carga nas fundações, os esforços nas vigas que servem de apoio para a escada e também pela estabilidade global da estrutura, extraindo a deformação no topo dos pilares do reservatório. Para isto, as vigas 101, 102, 201 e 202, e os pilares P2, P3, P5 e P6 tiveram seus esforços avaliados antes e depois da escada ter sido inserida na estrutura. Vale ressaltar que as vigas 201 e 202 são as mesmas vigas 101 e 102, porém do pavimento superior, sendo que o tramo central da viga 201 possui um desnível de -1,575m para que a mesma servisse de viga intermediária para apoio do patamar da escada. Para que os esforços nas vigas fossem mais facilmente interpretados, todas as vigas mencionadas acima foram rotuladas nos seus apoios.

2.4 CÁLCULO OBTENDO OS ESFORÇOS COM O SAP2000

A mesma estrutura foi lançada no software SAP2000, com as mesmas características consideradas nos demais softwares. As lajes dos pavimentos e as lajes da escada foram inseridas como elemento tipo Shell-Thin e discretizadas em elementos finitos de 25 cm x 25 cm e 15 cm x 15 cm, respectivamente. A estrutura foi primeiramente analisada sem a escada para que os mesmos parâmetros avaliados no CYPECAD e no Eberick fossem anotados. Após a inserção da escada, a estrutura foi analisada de forma global, para que o apoio da escada fosse afetado pela rigidez dos elementos circundantes. Deste modo, tem-se um diagrama de esforços sem simplificações e mais condizente com o comportamento real da estrutura. Vale ressaltar que foi apenas realizada uma análise linear na estrutura, ou seja, não houve dimensionamento da armadura em vigas e pilares e os efeitos de segunda ordem foram desconsiderados pelo software. Por fim, após a interpretação dos esforços solicitantes na escada, o dimensionamento do aço foi realizado manualmente mediante as equações do concreto armado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DA ESCADA

O dimensionamento da escada pelo método manual simplificado utilizando a primeira hipótese (os dois apoios de segunda ordem) resultou um momento máximo positivo de cálculo (M_d) de 5,74 kN*m/m e um máximo negativo de 6,13 kN*m/m na conexão entre o patamar e o lance da escada. Já o cálculo pela segunda hipótese (um apoio de primeira e o outro de segunda ordem), gerou somente um momento máximo positivo (M_d) de 18,66kN*m/m. O consumo total de aço, como pode ser visto no detalhamento das escadas na Figura 4, foi 83,64% maior na segunda hipótese. Entretanto, a segunda hipótese mostra vantagens na execução por não conter armadura superior, tornando o processo de montagem da armadura mais simples e um pouco mais rápido.

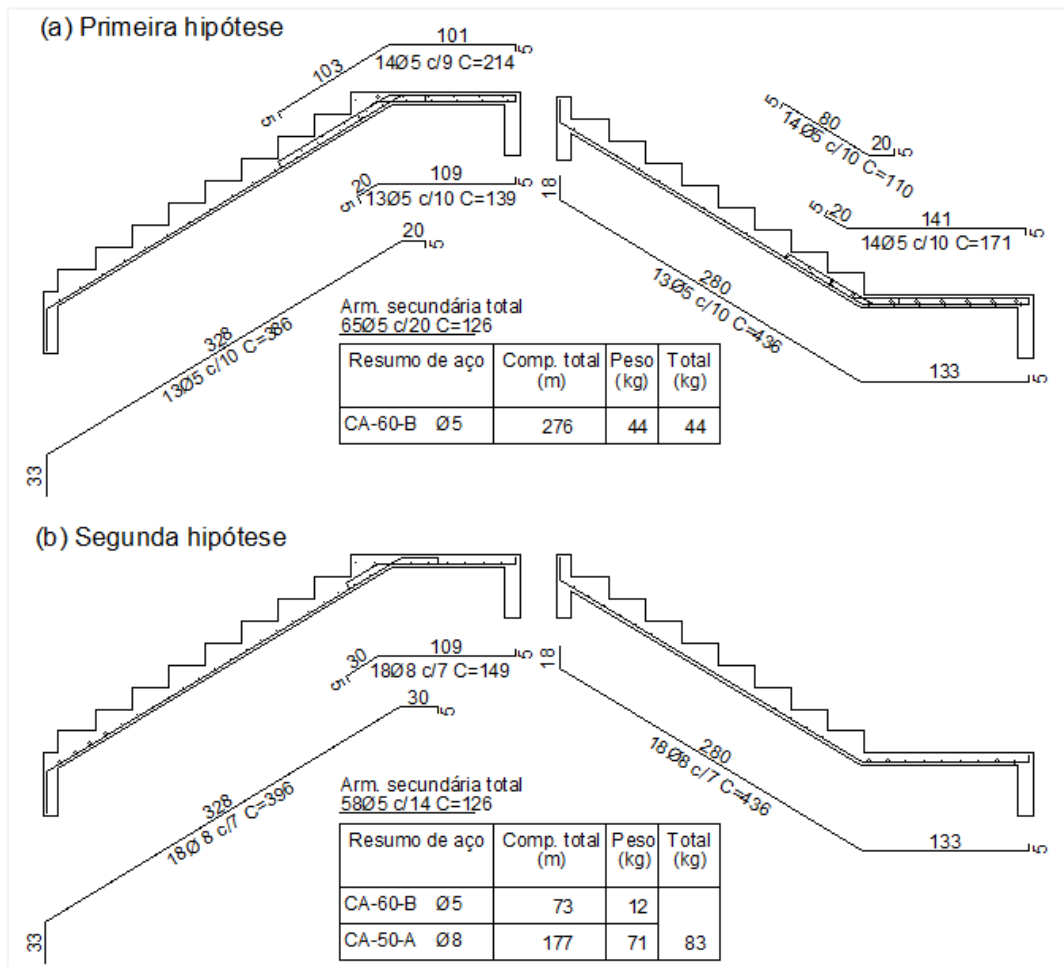


Figura 4: Detalhamento pelo método manual: (a) Primeira hipótese (b) Segunda hipótese.

O dimensionamento realizado pelo Eberick leva em consideração o esforço axial e os momentos na direção longitudinal e transversal de cada tramo da escada, os quais são gerados pelo método de analogia de grelha. Como no dimensionamento manual despreza-se o momento transversal e o esforço axial, para efeito de comparação foram avaliados somente os momentos máximos de cálculo (M_d) do Eberick na direção longitudinal da escada. Analisando o relatório de cálculo extraído do Eberick, os momentos máximos positivos nos lances inclinados foram de $7,49 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ no primeiro lance e $7,43 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ no segundo lance e não há presença de momentos negativos. Sendo os momentos de menor intensidade que o calculado pela segunda hipótese do método manual, a área de aço também foi menor. Ainda assim, o segundo lance apresenta armadura superior e um espaçamento na armadura inferior que não

condiz com o respectivo momento (Figura 5), isso se deve ao esforço axial de tração que solicitou uma área de aço adicional à área de aço de combate a flexão. Portanto, o aumento relativo da armadura no segundo lance comparado ao primeiro é devido ao esforço axial de tração ter maior intensidade no mesmo, gerando um aumento significativo na armadura. Por fim, o patamar possui um momento máximo positivo de 2,98 kN*m/m em ambas as direções e um momento máximo negativo de 3,81 kN*m/m. O consumo de aço foi de 65,91% superior ao consumo calculado pela primeira hipótese do cálculo manual e de 12,04% inferior ao consumo calculado pela segunda hipótese, porém a disposição da armadura pode ser um pouco difícil de ser montada em obra devido a quantidade de barras e seus diferentes espaçamentos. Vale mencionar que a inserção da escada na estrutura é realizada por elementos tipo laje inclinada, por intermédio do módulo de escadas junto ao programa, o que permite a inserção de uma série ilimitada de modelos arquitetônicos. O cálculo das mesmas é realizado juntamente com as lajes da estrutura. O Eberick também permite alteração nas bitolas e nos espaçamentos das barras, podendo então ser gerado um detalhamento à escolha do calculista. Algumas falhas foram detectadas, como por exemplo: a armadura superior do patamar teve que ser inserida manualmente uma vez que a mesma não foi colocada automaticamente pelo software, e os comprimentos totais de cada barra eram menores que a soma dos trechos da mesma. Portanto, o detalhamento e o resumo de aço presentes na Figura 5 tiveram que ser editados após o detalhamento final do Eberick.

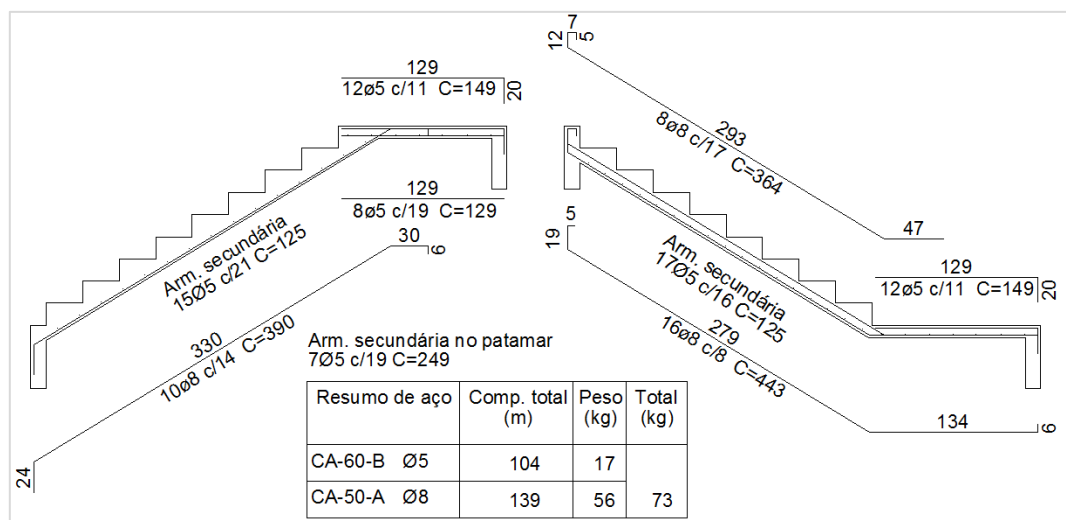


Figura 5: Detalhamento pelo Eberick.

O dimensionamento utilizando o CYPECAD apresentou algumas limitações já no lançamento da escada. O programa possui um módulo de escadas com apenas sete modelos arquitetônicos possíveis e o apoio do patamar para a escada objeto deste estudo tem que ser definido como um muro de concreto, alvenaria, tirantes ou conectores. O elemento mais próximo a uma viga é o muro de concreto, o qual se apoia na viga do pavimento inferior (para este estudo, a V101). Foi possível obter o detalhamento da escada antes do cálculo da estrutura total, o que mostra que o programa calcula a escada separadamente da estrutura considerando-a apoiada em vigas elásticas, conforme menciona o memorial de cálculo do CYPECAD. Os momentos máximos foram estimados por intermédio do gráfico de isovalores, os quais são gerados pelo Método dos Elementos Finitos, uma vez que o relatório de esforços mostra todas as combinações efetuadas para o cálculo, mas não o momento final utilizado. O momento máximo positivo (M_d) nos lances da escada foi de $8,26 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$, e não consta momento negativo no diagrama. Os momentos máximos (M_d) no patamar foram de $1.2 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ positivo e $2 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ negativo. Vale ressaltar que o CYPECAD também dimensiona a armadura considerando os esforços axiais presentes na escada, isso explica a diferença na armadura em cada lance e a presença de armadura superior onde não há momento fletor negativo, conforme pode ser visto na Figura 6. A quantidade de armadura calculada pelo CYPECAD foi a mais elevada de todos os métodos de cálculo estudados e, conseqüentemente, o consumo de aço foi também o mais elevado, sendo $138,64\%$ acima da primeira hipótese e $26,51\%$ acima da segunda hipótese do cálculo manual e $43,83\%$ acima do consumo de aço do Eberick, além de ser o detalhamento mais difícil de ser realizado em obra. Adicionalmente, observou-se que programa não permite qualquer tipo de alteração na armadura da escada durante o processo de cálculo, a única forma de alterar o detalhamento é modificando as tabelas de armaduras antes de extrair-se o detalhamento final. Vale mencionar que o detalhamento da escada presente na Figura 6 foi adaptado do detalhamento gerado pelo CYPECAD.

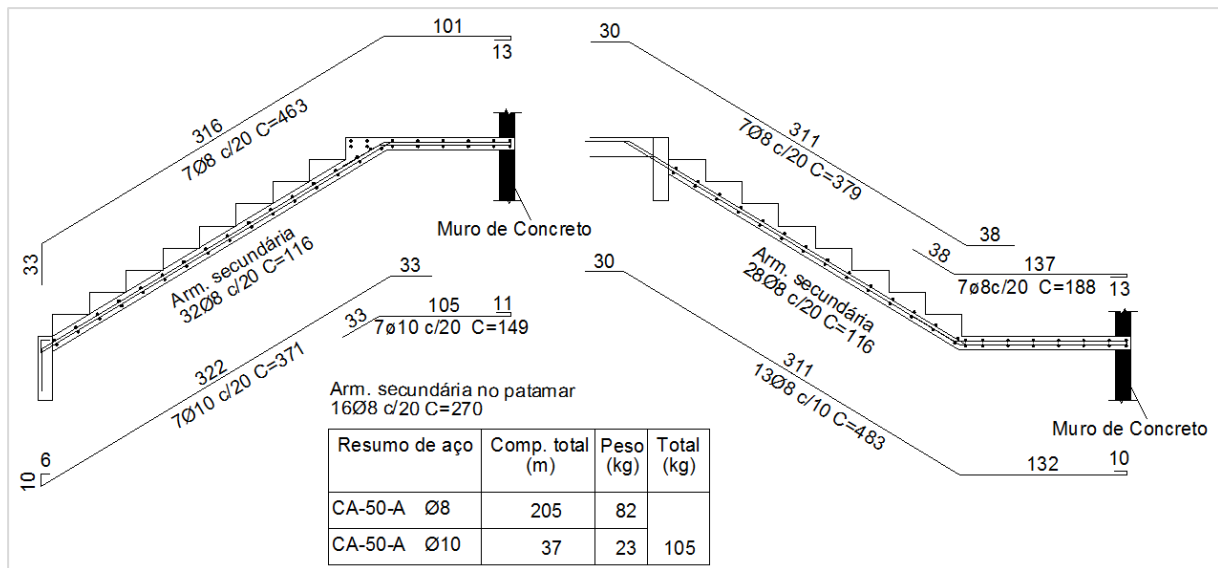


Figura 6: Detalhamento pelo CYPECAD.

O dimensionamento manual, cujo diagrama de momento fletor foi obtido pelo SAP2000, resultou um momento máximo positivo (M_d) de 18,65 kN*m/m e houve uma concentração de esforços na ligação entre o patamar e a viga intermediária gerando pontos de momento negativo (M_d) de 15,32 kN*m/m próximo aos pilares P5 e P6, fazendo-se necessário uma armadura de engastamento e, conseqüentemente, elevando a taxa de aço em 15,66% comparado a segunda hipótese do cálculo manual. Se desprezado o momento negativo no patamar, o diagrama de momento fletor na direção longitudinal da escada foi de mesma intensidade que o calculado no modelo manual simplificado pela segunda hipótese. O detalhamento mostrado na Figura 7 foi realizado utilizando somente o momento na direção longitudinal da escada, uma vez que, para este caso, o momento na direção transversal foi desprezível. Os esforços axiais também não foram considerados, como sugere Araújo (2003). O procedimento se justifica tendo em vista que, para este caso, onde o esforço axial era máximo, o momento fletor era quase nulo. Portanto, calculou-se a armadura em flexão simples e distribuiu-a ao longo de todo o lance da escada.

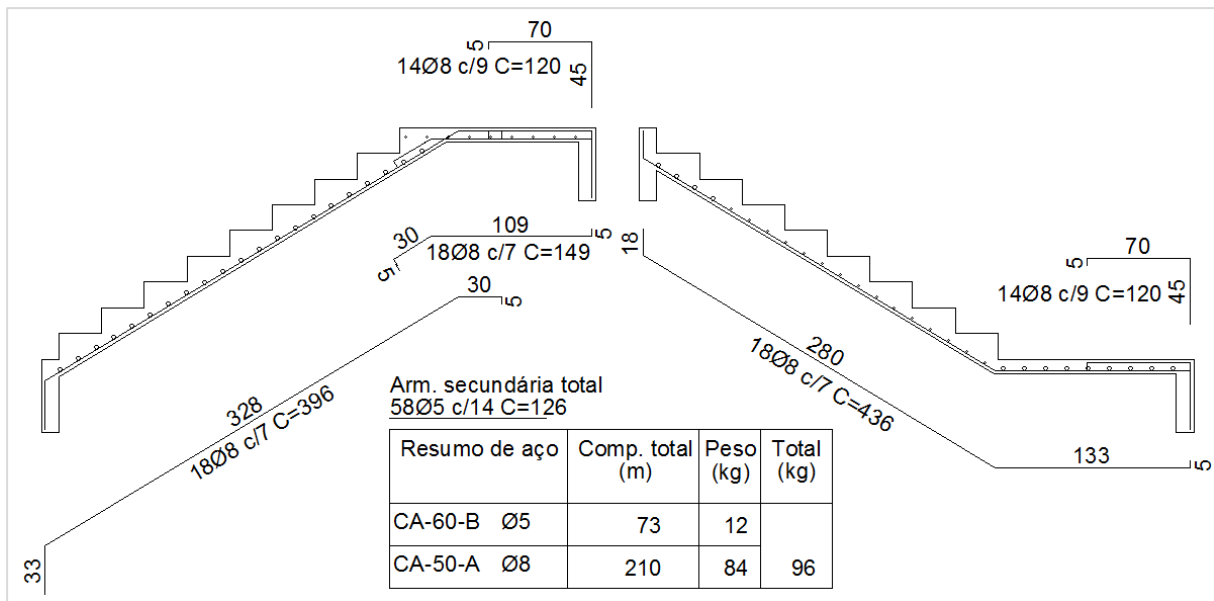


Figura 7: Detalhamento utilizando o diagrama do SAP2000.

3.1 INFLUÊNCIA DA ESCADA NA ESTRUTURA MODELO.

Os paramentos avaliados na estrutura modelo antes e depois do incremento da escada possibilitou a análise da transmissão de carga da escada para a estrutura, assim como as alterações na estabilidade global da mesma. O incremento de carga na fundação, como pode ser visto nos resultados de carga na fundação mostrados na Tabela 1, obtido pelo CYPECAD, foi o que mais se assemelhou ao incremento de carga calculado manualmente, que foi de 17,4 kN no P2 e P3 e 20,0 kN no P5 e P6. Isso se deve ao fato de que o CYPECAD calcula a escada separadamente sem levar em conta a deformação da estrutura. O Eberick teve a carga transferida quase que inteiramente para os pilares P5 e P6. O que explica esse fenômeno é que a escada é lançada como lajes inclinadas apoiadas diretamente nas vigas na estrutura e são calculadas juntamente com a análise de pórtico espacial da estrutura total, isso faz com que a rigidez e a deformação global afetem, de certo modo, as reações de apoio da escada. A análise realizada com o SAP2000 apresentou alterações de carga na fundação em todos os pilares, o pilar P5 teve uma redução de carga de 7 kN devido a deformação da estrutura envolvente, que gerou um esforço negativo sobre o mesmo. A viga V101, por analogia, não deveria sofrer incremento de esforços visto que a escada está apoiada na viga intermediária V201. Observando os resultados de momento fletor na Tabela 1, nota-se que o CYPECAD transferiu a carga do patamar

inteiramente na V101, mantendo a V201 inalterada, proporcionando um erro no dimensionamento das vigas. No Eberick, o incremento de carga foi realizado de forma adequada, manteve-se inalterada a V101 e a carga foi distribuída na viga intermediária V201. Por fim, no SAP2000 a carga também foi distribuída na V201 e o aumento do momento negativo da V101 foi devido à deformação do modelo. A estabilidade geral da estrutura manteve-se inalterada nos softwares CYPECAD e Eberick. Isto pode ser observado mediante os resultados de deformação em X e Y na Tabela 1 (os eixos coordenados estão representados na Figura 3). Já no SAP2000 as deformações no topo dos pilares aumentaram após a escada ter sido inserida na estrutura.

Tabela 1: Cargas e deformações da estrutura.

		CYPECAD		Eberick		SAP2000	
		Sem Escada	Com Escada	Sem Escada	Com Escada	Sem escada	Com escada
Momento fletor Máximo (kN*m)	V101	7.60	18.40	8.60	8.60	-3.70	-4.30
	V102	2.00	12.20	4.30	4.40	-10.20	-8.80
	V201	5.40	5.40	5.40	8.70	3.40	6.00
	V202	-4.50	7.10	-3.00	5.10	18.60	15.60
Carga na Fundação (kN)	P2	211.50	224.80	218.80	223.10	188.80	229.20
	P3	211.50	224.80	218.80	222.50	183.90	222.50
	P5	188.70	215.00	186.50	213.00	225.70	218.10
	P6	188.70	216.80	186.50	219.50	207.50	241.30
Deformação no topo do pilar-Direção X (mm)	P2	20.99	21.00	-1.80	-1.80	-0.21	-0.35
	P3	20.99	21.00	-1.80	-1.80	-0.22	-0.36
	P5	19.51	19.53	1.80	1.80	0.00	-0.08
	P6	19.51	19.53	1.80	1.80	-0.10	-0.09
Deformação no topo do pilar-Direção Y (mm)	P2	8.58	8.55	-0.10	-0.10	-0.17	0.49
	P3	8.58	8.57	-0.10	-0.10	-0.03	0.67
	P5	8.58	8.55	-0.10	-0.10	-0.17	0.50
	P6	8.58	8.57	-0.10	-0.10	-0.03	0.68

4. CONCLUSÕES

Os diferentes detalhamentos obtidos pelos softwares CYPECAD e Eberick, cujas taxas de armadura de flexão em alguns lances apresentaram valores superiores quando comparado ao dimensionamento manual, justificam-se em função desses softwares considerarem os esforços axiais no processo de dimensionamento. Dentre os dois programas de cálculo estrutural utilizados, o Eberick apresentou uma taxa de

armadura de 30,48% inferior em relação ao Cypecad, no dimensionamento da escada, sendo também o segundo mais econômico dentre os modelos de dimensionamento estudados, ficando atrás apenas do cálculo manual com um apoio de primeira e outro de segunda ordem. O diagrama de momento fletor obtido pela análise estrutural linear realizada com o SAP2000 mostra que, por mais que simplificado, o cálculo manual considerando um dos apoios de primeira ordem (segunda hipótese do cálculo manual), mostrou-se o melhor no quesito consumo de aço, facilidade e confiabilidade na execução pelo histórico de obras já prontas. Com os resultados das deformações no topo nos pilares, confirma-se a tese de Quevedo (2011) que a escada não faz parte do núcleo rígido da edificação. A escolha dos métodos de dimensionamento e as considerações adotadas no modelo estrutural pode gerar diferentes resultados, e a decisão da escolha é de inteira responsabilidade do engenheiro calculista. As falhas na transmissão de carga feita pelo CYPECAD e a falha no detalhamento da escada feita pelo Eberick mostram que o papel do engenheiro no tocante a análise de dados durante o desenvolvimento do projeto é essencial e indispensável para evitar erros no dimensionamento dos elementos estruturais. Conhecer o programa que está sendo utilizado no desenvolvimento de um projeto é de vital importância, pois, com isso, podemos contornar as eventuais falhas durante o processo.

Como sugestão para trabalhos futuros:

- Realizar o estudo deste trabalho em escadas com patamar intermediário livre;
- Estudar a influência da rigidez da estrutura no diagrama de esforços da escada.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES F. A. Elementos finitos: a base da tecnologia CAE. 6. edição São Paulo 2013.
- AMANAT, K. M. e AHMAD, S. A New Design Basis for Free-Standing Stairs. Bangladesh, Journal of Civil Engineering, Vol. CE 29, N°1, 2001.
- ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. Rio Grande, 2003. 4
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto armado - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 1980. 5p.

GIONGO, J. S.. Concreto armado: projeto estrutural de edifícios. São Carlos: USP/Departamento de engenharia de estruturas, 2007. 176p. Apostila.

KIM, Nam-ho. Introdução à análise e ao projeto em elementos finitos. Rio de Janeiro: LTC, 2011. xii, 353 p. ISBN 9788521617884 (broch.).

MELGES, J. L. P.i; PINHEIRO, L. M.; GIONGO, J. S. Concreto Armado: Escadas. São Carlos: USP/Departamento de engenharia de estruturas, 1997. 58p. Apostila.

OLIVEIRA, M. G. D.; OLIVEIRA, J. C. A.O. Utilização de Métodos Numéricos no Dimensionamento de Estruturas de Edifícios em Concreto Armado. Artigo científico publicado no portal ResearchGate. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/228356430>>. Acesso em: 11 de março de 2016.

QUEVEDO, F. P. M.. Programa computacional para automatizar o dimensionamento e detalhamento de escadas de concreto armado em edifícios. 2011. 117p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

ROCHA, A. M.. Concreto armado. São Paulo: Ed. Nobel, 1985 - 1999. 3 v.

ROCHA, A. M.. Concreto armado. São Paulo: Ed. Nobel, 1985 - 1999. 4 v.

VARGAS, A.. (2015) Escadas. (Notas de aula). Criciúma, Universidade do Extremo Sul Catarinense.