

ESTUDO ANALÍTICO E COMPUTACIONAL DE ESCADAS DE CONCRETO ARMADO

ANALYTICAL AND COMPUTATIONAL STUDY OF REINFORCED CONCRETE STAIRS

ISABELLA FARIA SANTOS

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil (UEG - CCET, Campus Henrique Santillo, Anápolis / GO)

isa_bellafsanos@hotmail.com

THALITA GOMES CORTES

Bacharel do Curso de Engenharia Civil (UEG - CCET, Campus Henrique Santillo, Anápolis / GO)

thalita_27@hotmail.com

JULIANO RODRIGUES DA SILVA

Doutor em Engenharia Civil (UnB, Brasília - DF) e Docente do Curso de Engenharia Civil (UEG - CCET, Campus Henrique Santillo, Anápolis / GO)

julianorodriguessilva@gmail.com

MARIANNE SILVA GUIMARÃES

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil (UEG - CCET, Campus Henrique Santillo, Anápolis / GO)

mariannesilvag@gmail.com

LUCAS DE OLIVEIRA ZÚÑIGA

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil (UEG - CCET, Campus Henrique Santillo, Anápolis / GO)

lucas.zuniga7@gmail.com

Resumo: O presente artigo realiza o estudo detalhado de uma escada com dois lances adjacentes, confeccionada em concreto armado, simplesmente apoiada e armada longitudinalmente. Primeiramente, foi feito o cálculo analítico, utilizando, como embasamento, as normas reguladoras vigentes e, posteriormente, o dimensionamento do mesmo projeto foi realizado por meio do *software* comercial CypeCAD. Por fim, foram comparados ambos os métodos, concluindo que o dimensionamento analítico apresenta vantagens em relação ao *software*, quando da análise do quantitativo de materiais e do custo final obtido no cálculo da armadura, sendo esta diferença em 100%.

Palavras-chave: Escada. Concreto Armado. Análise Numérica.

Abstract: The present article performs the detailed study of a stair with two adjacent bays, made of reinforced concrete, simply supported and reinforced longitudinally. Initially, the analytical calculation was carried out based on current regulatory standards and, later, the project's design was made using the commercial software CypeCAD. Finally, both methods were compared, concluding that the analytical design shows advantages over the software regarding quantitative analysis of materials and the final cost obtained in the calculation of the reinforcement, this difference being 100%.

Keywords: Stair. Reinforced Concrete. Numerical Analysis.

INTRODUÇÃO

Escadas são utilizadas na construção civil como um meio de circulação vertical para transpor desníveis, através da disposição de degraus sucessivos, garantindo condições mínimas de conforto e segurança aos seus usuários, além de ser também elemento decorativo. São aplicadas em diversas edificações como residências, indústrias, comércios, embarcações, indústrias aeronáuticas, dentre outras.

55

Essa estrutura pode ser classificada quanto ao material que as constitui: madeira, aço, concreto e fibra de vidro; quanto à sua forma: em U, em L, helicoidal, circular, dentre outras; em relação à disposição da armadura: armada transversalmente, longitudinalmente ou em cruz; quanto aos apoios: engastados, simplesmente apoiados e com ou sem a utilização de vigas-parede, conhecidas como vigas de contorno.

Neste trabalho foi realizada uma comparação entre os métodos analítico e computacional de cálculo de escadas, com o objetivo de se analisar as vantagens de um em relação ao outro e abordar a questão de superdimensionamento de *softwares* que necessita ser sanada.

DIMENSIONAMENTO

A escada em estudo é composta pelos degraus, corrimão e por um patamar de descanso, formada por uma laje maciça. O seu dimensionamento foi feito considerando a estrutura de concreto armado, simplesmente apoiada, com lances adjacentes e armada longitudinalmente.

Foi utilizada para o estudo uma escada usual de concreto armado que, segundo Filho (2011), tem como elemento resistente uma laje armada em uma só direção, sendo assim, os degraus não possuem função estrutural.

O modelo estrutural corresponde a uma laje armada em uma só direção, simplesmente apoiada, solicitada por cargas verticais. Já que este modelo condiz com uma viga isostática, podem-se calcular reações e solicitações utilizando o vão projetado, como pode ser observado na Figura 1.

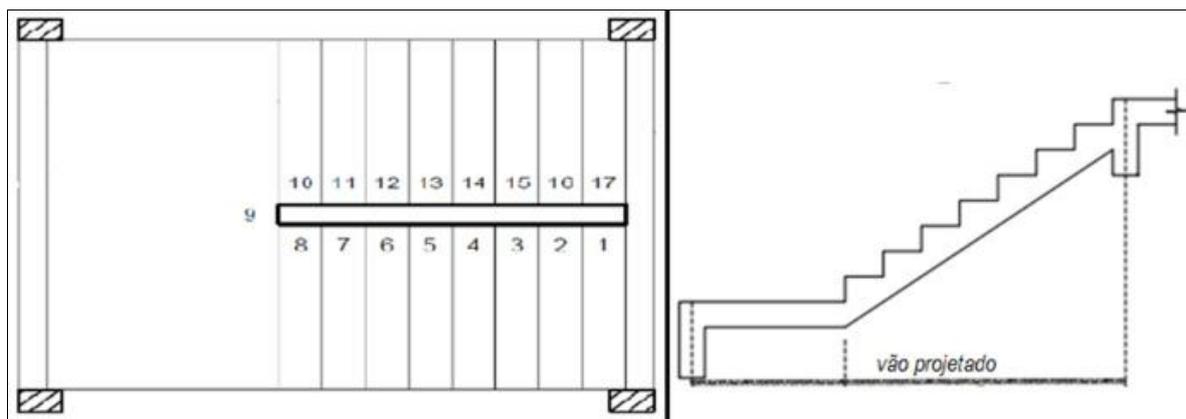


Figura 1- a) Viga isostática da escada; b) Vão projetado. Fonte: CAMPOS FILHO, 2011 (modificado)

Dimensionamento geométrico da escada

Foram utilizadas as normas NBR 9077 (ABNT, 2001), que padroniza as saídas de emergência em edificações e NBR 9050 (ABNT, 2004), que aborda a acessibilidade a edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos.

No item 6.6.3 da NBR 9050 (ABNT, 2004), é estabelecido um intervalo para o dimensionamento dos espelhos e pisos dos degraus, além de uma proporção adequada e confortável entre essas dimensões, como demonstrado a seguir:

$$a) \text{ Pisos (p): } 0,28 \text{ m} < p < 0,32 \text{ m;} \quad (2.1)$$

$$b) \text{ Espelhos (e): } 0,16 \text{ m} < e < 0,18 \text{ m;} \quad (2.2)$$

$$c) \text{ } 0,63 \text{ m} < p + 2e < 0,65 \text{ m.} \quad (2.3)$$

Portanto, foram adotadas as medidas 0,29 m para o piso e 0,175 m para o espelho da escada.

Da mesma norma, no item 6.6.5, é estabelecido que, em escadas fixas, deve haver um patamar, no mínimo, a cada 3,20 metros de desnível e sempre que houver mudança de direção. Os patamares devem ter dimensões longitudinais mínimas de 1,20 metros ou igual à largura da escada, quando situados em mudança de direção.

O lance (ou lance) mínimo estabelecido pela NBR 9077 (ABNT, 2001) é de três degraus e o lance máximo, entre dois patamares subsequentes, não deve ultrapassar 3,70 metros de altura.

De acordo com o item 4.8.2 da NBR 9077 (ABNT, 2001), o corrimão deve estar situado entre 80 e 92 cm acima do nível do piso, seu diâmetro deve variar entre 38 mm e 65 mm e deve estar afastado 40 mm, no mínimo, da parede ou guarda à qual for fixado. Não é

aceito em saídas de emergência, corrimão que apresente elementos com arestas vivas, tábuas largas, dentre outros.

A altura livre mínima (h_l), estabelecida pela NBR 9077 (ABNT, 2001), é de 2 metros. Na Figura 2 são apresentadas, além da altura livre, outras dimensões necessárias para o cálculo da escada.

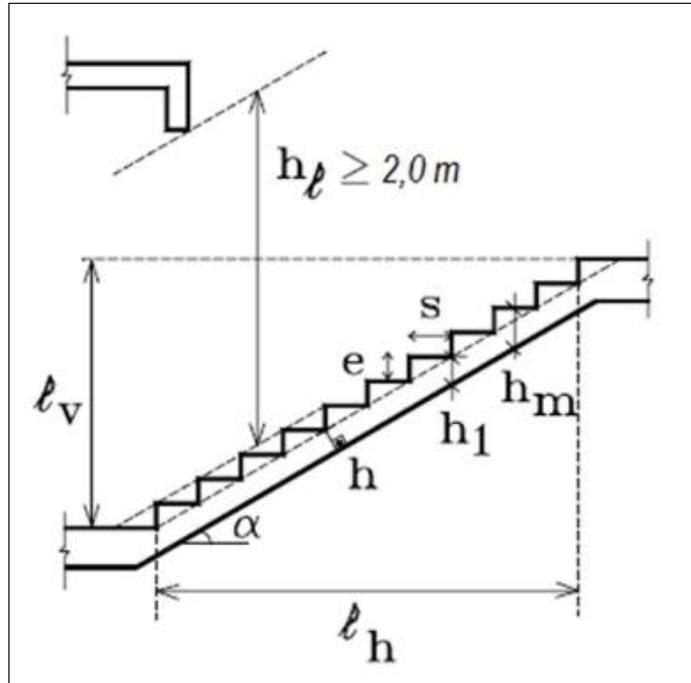


Figura 2 - Recomendações para algumas dimensões das escadas.
Fonte: MELGES, PINHEIRO e GIONGO, 1997 (modificado)

Onde:

- l_v é o desnível a ser vencido;
- l_h é o desenvolvimento horizontal;
- h , a espessura da laje;
- h_m , a espessura média da laje;
- h_1 , a espessura da laje medida na vertical;
- e é o espelho;
- s é o piso e;
- α a inclinação da escada.

As equações para a obtenção da geometria da escada, segundo Melges, Pinheiro e Giongo (1997), são apresentadas abaixo.

$$n = l_v / e \quad (2.4)$$

$$l_h = s \cdot (n - 1) \quad (2.5)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = e / s \quad (2.6)$$

$$h_1 = h / \cos \alpha \quad (2.7)$$

$$hm = h_1 + e/2 \quad (2.8)$$

Dimensionamento analítico da escada

A escada calculada apresenta as especificações demonstrada na Figura 3, a seguir.

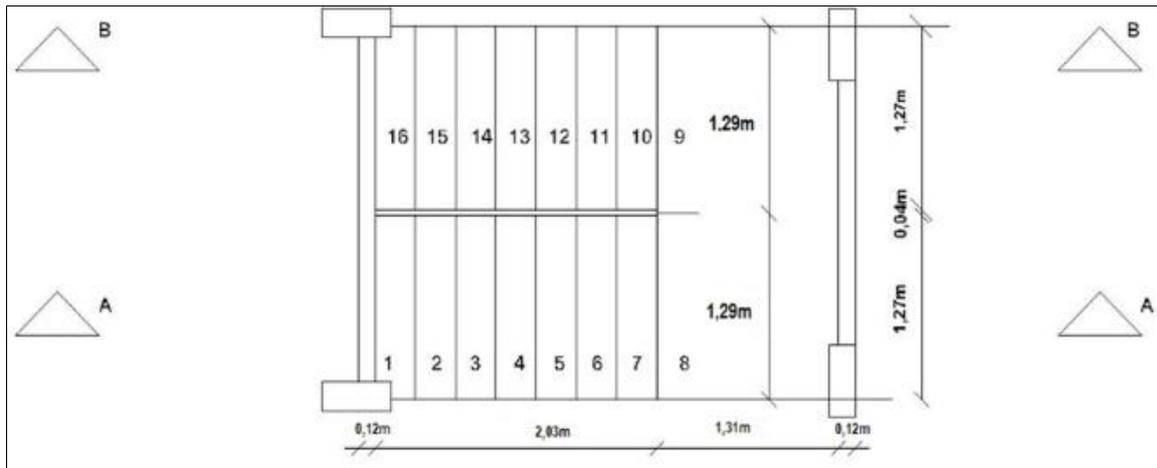


Figura 3 - Planta de fôrma
Fonte: CAMPOS FILHO, 2011 (modificado)

Os modelos de cálculo dos dois lances da escada estão representados na Figura 4 abaixo.

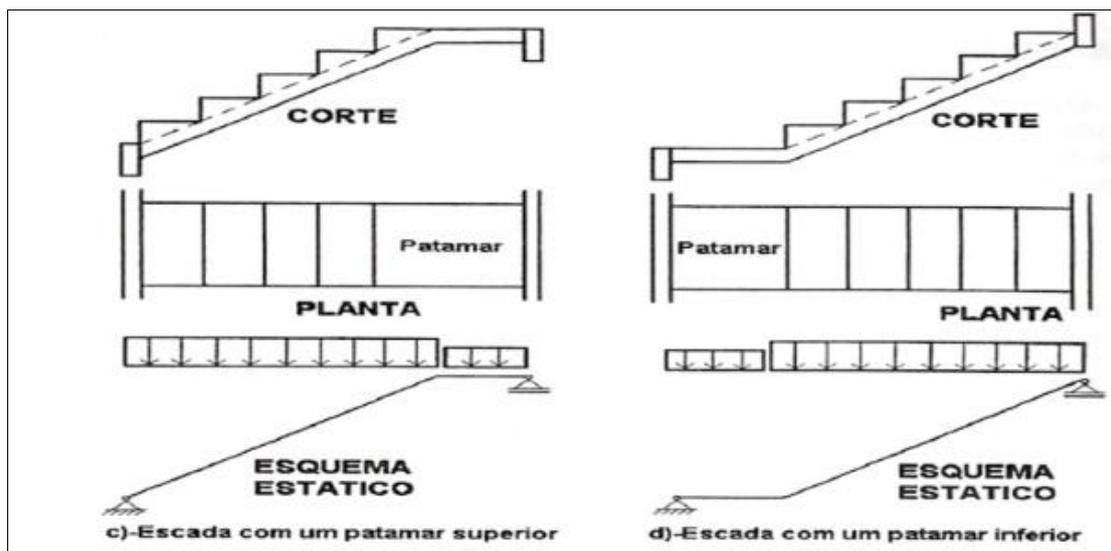


Figura 4 - Distribuição do carregamento
Fonte: CAMPOS FILHO, 2011 (modificado)

O carregamento atuante na escada foi dividido, para maior compreensão, em cargas atuantes no patamar, p_1 , e cargas atuantes no trecho inclinado da escada, p_2 , em que p_1 e p_2 são o somatório das cargas permanentes e variáveis do patamar e do lance da escada, respectivamente.

A carga permanente no patamar é a combinação do peso próprio e do revestimento. De acordo com a NBR 6120 (ABNT, 1980), o peso específico do concreto armado é 25 kN/m^3 e, como proposto por Filho (2011), a espessura adotada da laje foi de 12 cm, já que o vão da escada está entre 3 e 4 m e seu revestimento de $0,85 \text{ kN/m}^2$. Desse modo, a carga permanente G_1 é dada pela equação 2.9 abaixo:

$$G_1 = 25 \times 0,12 + 0,85 \rightarrow G_1 = 3,85 \text{ kN/m}^2 \quad (2.9)$$

A carga acidental (Q_1) no patamar de acordo com a NBR 6120 é 3 kN/m^2 , já que a escada em estudo possui acesso ao público. Logo, p_1 sendo a combinação última normal de G_1 e Q_1 e, portanto, aplicando o coeficiente de ponderação¹ 1,4 referente à ações permanentes e variáveis normais, de acordo com a NBR 6118, o carregamento total no patamar é de $9,59 \text{ kN/m}^2$, como demonstrado na equação 3.0.

$$P_1 = 1,4 \times (3,85 + 3,00) \rightarrow P_1 = 9,59 \text{ kN/m}^2 \quad (3.0)$$

Para se obter o peso próprio da carga permanente no trecho inclinado nomeado de p_2 foi calculada a espessura média da laje, hm , que depende do valor do piso da escada (0,29 m), de seu espelho (0,175 m) e do ângulo de inclinação da escada, obtido a partir da equação 3.1 abaixo.

$$\cos\alpha = \frac{s}{\sqrt{s^2+e^2}} \rightarrow \cos\alpha = \frac{0,29}{\sqrt{0,29^2+0,175^2}} = 0,856 \quad (3.1)$$

A espessura da laje medida na vertical possui o valor determinado na equação 3.2:

$$h_1 = \frac{h}{\cos\alpha} = \frac{12}{0,856} = 14,02 \cong 14 \text{ cm} \quad (3.2)$$

Incluindo os degraus, a espessura média da laje é dada pela equação 3.3:

$$hm = h_1 + \frac{e}{2} = 14 + \frac{17,5}{2} = 22,75 \text{ cm} \quad (3.3)$$

Portanto, o peso próprio do trecho inclinado é o peso específico do concreto armado, 25 kN/m^3 , multiplicado pela espessura média, 0,228 m, resultando em $5,70 \text{ kN/m}^2$. O revestimento utilizado foi o mesmo do patamar, de $0,85 \text{ kN/m}^2$. Além dessas cargas, foi calculado um parapeito de tijolos cerâmicos furados de 1 metro de altura e 15 centímetros de

¹ Coeficiente de ponderação é um valor pelo qual as ações e as resistências são multiplicadas, a fim de majorar as ações e minorar as resistências, fazendo com que a estrutura dimensionada esteja a favor da segurança (ABNT, 2014).

espessura, sendo sua carga dada pela equação 3.4 abaixo, em que 13 kN/m^3 é o peso específico do tijolo cerâmico.

$$PARAPEITO = 13 \cdot 1,0 \cdot 0,15 = 1,95 \text{ kN/m}^2 \quad (3.4)$$

Dividindo o peso do parapeito pela largura da escada como na equação 3.5, teremos:

$$PR = \frac{1,95}{1,27} = 1,54 \text{ kN/m}^2 \quad (3.5)$$

A carga permanente total no trecho inclinado é dada pelo somatório de seu peso próprio do lance com o revestimento e o peso do parapeito, como demonstrado na equação 3.6:

$$G2 = PP2 + R2 + PR \rightarrow G2 = 5,70 + 0,85 + 1,54 \rightarrow G2 = 8,09 \text{ kN/m}^2 \quad (3.6)$$

Para calcular a carga acidental do trecho inclinado, foi determinada a carga acidental vertical ao longo do parapeito, de $2,0 \text{ kN/m}$ que, quando dividida pela largura da escada, obtém-se a carga por metro quadrado, como exposto na equação 3.7, em que qpr é a carga acidental do parapeito.

$$qpr = \frac{2}{1,27} = 1,57 \text{ kN/m}^2 \quad (3.7)$$

Sendo assim, tem-se a carga acidental total, $Q2$, ao somar à essa carga do parapeito, a carga acidental referente à escada com acesso ao público, da NBR 6120, de 3 kN/m^2 . Portanto o $Q2$ é $4,57 \text{ kN/m}^2$.

O carregamento total do lance inclinado, $p2$, é o somatório da carga permanente, $8,09 \text{ kN/m}^2$, com a carga acidental, $4,57 \text{ kN/m}^2$, multiplicado pelo coeficiente de ponderação $1,4$, referente à combinação normal no estado limite último, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), resultando em $17,72 \text{ kN/m}^2$.

Dimensionamento da armadura principal ou longitudinal

Como a escada é armada longitudinalmente, a armadura principal de flexão é obtida através do dimensionamento, considerando, uma seção transversal retangular com largura (b) de 100 cm e altura (h) de 12 cm .

A partir da NBR 6118 (ABNT, 2014), é determinado o cobrimento correlacionado à classe de agressividade ambiental. No caso da escada em estudo, o ambiente considerado é o urbano e região de baixa umidade, sendo considerada, portanto, classe de agressividade ambiental fraca, em que o cobrimento (c) sugerido é de 20 mm .

A bitola da barra longitudinal (ϕ_l) estimada foi de 10 mm e a altura útil, $9,5 \text{ cm}$, como demonstrado na equação 3.8, a seguir:

$$d = h - c - \phi_l/2d = 12 - 2 - 1/2 = 9,5\text{cm} \quad (3.8)$$

Foi utilizado o *software Ftool* para esquematizar e calcular, através dos dados dos resultados obtidos do carregamento do trecho inclinado e do patamar, as reações de apoio e os diagramas de momento fletor e esforço cortante. Como para o dimensionamento da escada foi utilizado um modelo simplificado de viga biapoiada, o esforço normal, por não influenciar tanto na estrutura como o momento fletor e esforço cortante, pode ser desconsiderado.

Já que as cargas permanentes e variáveis foram majoradas ao considerar o estado limite último, o momento obtido, através do lançamento dos dados dos carregamentos do patamar e do trecho inclinado da escada no *software Ftool*, é o momento de cálculo, que equivale a 22,12 kN/m.

A resistência de cálculo do escoamento do aço (f_{yd}) é dada pela resistência à tração do aço (f_{yk}), nesse caso 50 kN/cm², já que o aço adotado foi o CA-50, dividido pelo coeficiente de ponderação do aço γ_s , 1,15, de acordo com a NBR 6118 (2007), para combinações normais, caso em que se aplica esse estudo. Sendo assim, o f_{yd} é 43,48 kN/cm².

Já a resistência à compressão de cálculo do concreto (f_{cd}) é obtida pela divisão do seu f_{ck} de 25 MPa por 1,4, que é seu coeficiente de ponderação previsto na NBR 6118. Portanto, o valor do f_{cd} é de 17,857 MPa. Dessa forma, o valor da tensão de compressão do concreto (σ_{cd}), equivalente a 85% do valor da sua resistência, é 15,2 MPa ou 1,52 kN/cm².

O momento de cálculo reduzido é calculado através da equação 3.9:

$$\mu = \frac{Md}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{cd}} = \frac{2212}{100 \cdot 9,5^2 \cdot 1,52} \rightarrow \mu = 0,161 \quad (3.9)$$

Como o valor do momento de cálculo reduzido é menor que o valor limite de 0,372, conclui-se que pode ser empregada armadura simples.

O valor adimensional da linha neutra é dado pela equação 4.0:

$$\xi = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,161}) \rightarrow \xi = 0,22 \quad (4.0)$$

A área de aço é obtida a partir do cálculo que se segue, na equação 4.1:

$$As = 0,8 \cdot \xi \cdot b \cdot d \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} = 0,8 \times 0,22 \times 100 \times 9,5 \times \frac{1,52}{43,48} \rightarrow As = 5,85 \text{ cm}^2/m \quad (4.1)$$

É necessário verificar se a armadura calculada é maior que a armadura mínima exigida, como feito a seguir, a partir da equação 4.2:

$$As \geq As, \text{min} \rightarrow 5,85 \geq \frac{\phi^{min}}{b} \cdot b \cdot h \rightarrow 5,85 \geq 1,8 \quad (4.2)$$

Para determinar a quantidade de barras, é feita a divisão da área de aço pela área transversal da bitola escolhida, no caso a de 10 mm, logo, serão necessárias 8 barras.

A armadura longitudinal do primeiro lance é composta por:

$$N1 - 10 \text{ } \emptyset 10 \text{ c}/12 - 352\text{cm}$$

$$N2 - 10 \text{ } \emptyset 10 \text{ c}/12 - 196\text{cm}$$

A armadura longitudinal do segundo lance é composta por:

$$N3 - 10 \text{ } \emptyset 10 \text{ c}/12 - 418\text{cm}$$

Nos apoios de extremidade, deve-se fazer a ancoragem das armaduras longitudinais para a força de lajes sem armadura de cisalhamento. Essa ancoragem é calculada abaixo, a partir das equações 4.3 e 4.4:

$$al = 1,5 \times d = 1,5 \times 9,5 \rightarrow al = 14,25 \text{ cm} \quad (4.3)$$

$$Rsd = \frac{al}{d} \times Vd \rightarrow Rsd = \frac{14,25}{9,5} \times 16,6 \rightarrow Rsd = 24,9 \text{ kN/m} \quad (4.4)$$

Na equação 4.5 é demonstrado o cálculo da área da armadura necessária no apoio, considerando o maior esforço cortante, obtido através do *software Ftool*.

$$As, cal = \frac{1,5 \cdot Vd}{fyd} \rightarrow As, cal = \frac{1,5 \times (1,4 \times 16,6)}{43,48} \rightarrow As, cal = 0,80 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (4.5)$$

A resistência à aderência de cálculo entre armadura e concreto na ancoragem é calculada a seguir, a partir das equações 4.6, 4.7 e 4.8:

$$fctk, inf = 0,21 \times fck^{2/3} \rightarrow fctk, inf = 0,21 \times 25^{2/3} \rightarrow fctk, inf = 1,795 \text{ MPa} \quad (4.6)$$

$$fctd = \frac{fctk, inf}{\gamma c} \rightarrow fctd = \frac{1,795}{1,4} \rightarrow fctd = 1,2825 \text{ MPa} \quad (4.7)$$

Os coeficientes de conformação superficial foram adotados, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), com os valores: 2,25 para η_1 , já que no caso foram utilizadas barras nervuradas aço CA-50 com boa aderência; 1,0 para η_2 , considerando situações de boa aderência; e 1,0 para η_3 , pois as bitolas utilizadas são menores que 32 mm. Portanto:

$$fbd = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot fctd \rightarrow fbd = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,2825 \rightarrow fbd = 2,89 \text{ MPa} \quad (4.8)$$

O comprimento básico de ancoragem foi calculado a partir da equação 4.9:

$$lb = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{fyd}{fbd} \rightarrow lb = \frac{1,0}{4} \times \frac{434,8}{2,89} \rightarrow lb \cong 38 \text{ cm}, \text{ maior que o mínimo de } 8,0 \text{ cm}. \quad (4.9)$$

O cálculo do comprimento de ancoragem necessário é demonstrado na equação 5.0, onde α assume o valor de 0,7 relativo às barras tracionadas com gancho, de acordo com a NBR 6118.

$$lb, nec = \alpha \cdot lb \cdot \frac{As, cal}{As, ef} \rightarrow lb, nec = 0,7 \times 38 \times \frac{0,8}{5,85} \rightarrow lb, nec \cong 3,63 \text{ cm} \quad (5.0)$$

Como o comprimento de ancoragem necessário foi menor que o mínimo, então, é adotado o mínimo, que é de 8,0cm.

Na direção transversal ao eixo da escada, deve-se dispor uma armadura de distribuição com área dada pelo maior dos seguintes valores.

$$As, dist \geq \begin{cases} \frac{As, princ}{5} \\ \frac{As, min}{2} \\ 0,90cm^2/m \end{cases}$$

$$As, dist \geq \begin{cases} \frac{5,85}{5} \\ \frac{1,8}{2} \\ 0,90cm^2/m \end{cases}$$

$$As, dist \geq \begin{cases} 1,17 \\ 0,9 \\ 0,9 \end{cases}$$

Logo, a área da armadura de distribuição é igual a 1,17cm²/m. Considerando uma bitola de 5 mm é obtida a seguinte armadura para o primeiro lance:

$$N = \frac{1,17}{\pi \times \frac{0,5^2}{4}} = 6 \text{ barras}$$

$$N4 - 18 \text{ } \varnothing 5 \text{ c}/16 - 122cm$$

$$N5 - 7 \text{ } \varnothing 5 \text{ c}/16 - 253cm$$

A armadura de distribuição para o segundo lance é a seguinte:

$$N6 - 15 \text{ } \varnothing 5 \text{ c}/16 - 122cm$$

$$N7 - 8 \text{ } \varnothing 5 \text{ c}/16 - 253cm$$

O detalhamento do cálculo analítico pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

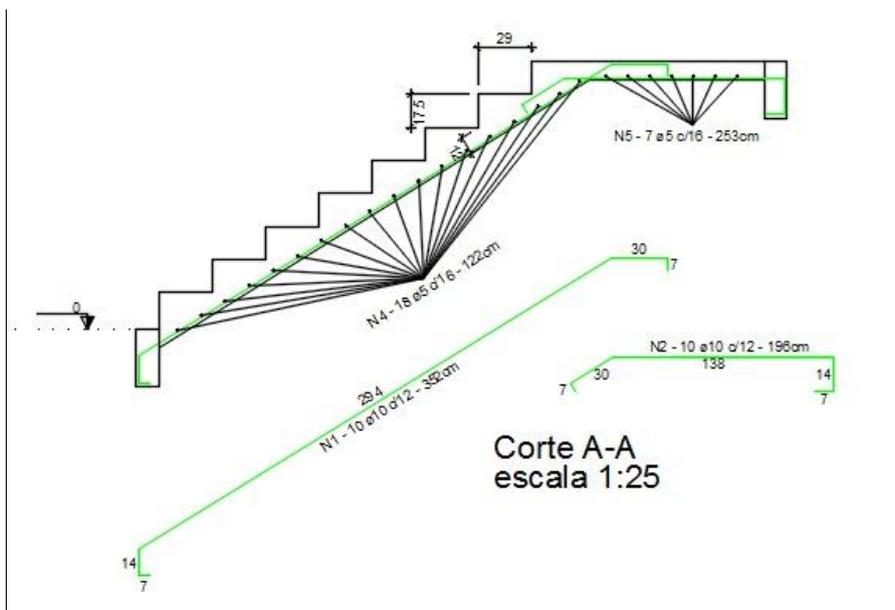


Figura 5 - Detalhamento do primeiro lance de escada, Corte A-A
Fonte: Autores, 2017

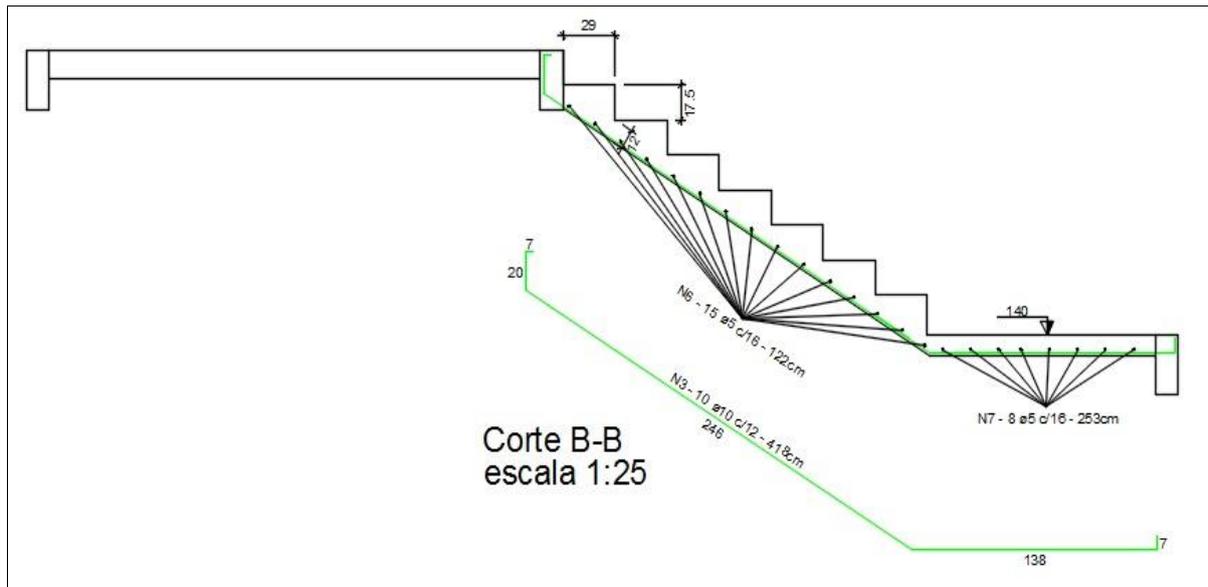


Figura 6 - Detalhamento do segundo lance de escada, Corte B-B
Fonte: Autores, 2017

DIMENSIONAMENTO COMPUTACIONAL DA ESCADA

O *software* comercial é um programa para cálculo estrutural de edifícios, desenvolvido por uma empresa espanhola de engenharia, que criou suas próprias ferramentas computacionais para o auxílio nos projetos (DE MENEZES ET AL., 2007). O programa engloba as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos de projetos em concreto armado, pré-moldado e protendido.

De Menezes et al (2007) aponta que o programa adota as normas da ABNT no que se refere aos cálculos de armaduras e deformações, estando de acordo com as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118), fundações (NBR 6122), carregamentos (NBR 6120), barras (NBR 7480), ventos (NBR 6123), ações e combinações (NBR 8681).

Para elaboração deste estudo, foi utilizada a interface oferecida pelo *software CypeCad* 2017, versão traduzida e adaptada pela empresa Top – Informática. Essa interface é de fácil acesso, sendo os comandos para introduzir os dados da escada bem simples e didáticos.

O modelo da escada foi inserido de acordo com as informações referentes à sua geometria, como largura, espelho, piso e também em relação a sua rotação, que é como o lance chegará ao patamar, se chegará com o piso ou com espelho. Além disso, foram determinadas as informações referentes às cargas, se os degraus serão concretados junto com a laje ou se serão realizados com tijolos, também pode-se estabelecer a carga do guarda-corpo, revestimento e cargas acidentais. A categoria de uso (categoria 1) já é estipulada pelo

programa e se refere a edificações residenciais.

Em outra aba foram definidas as características da escada em termos de tipologia construtiva, utilizando a tipologia “lanços iguais consecutivos”, existente na biblioteca. Também foram escolhidos quantos lances terão a escada, quais suas características, quantos degraus, as dimensões das lajes horizontais iniciais e finais e se os patamares são apoiados ou livres.

A princípio, é necessário fornecer ao *software CypeCAD* os dados relativos à geometria e o tipo de apoio da escada em estudo, como feito na Figura 7.

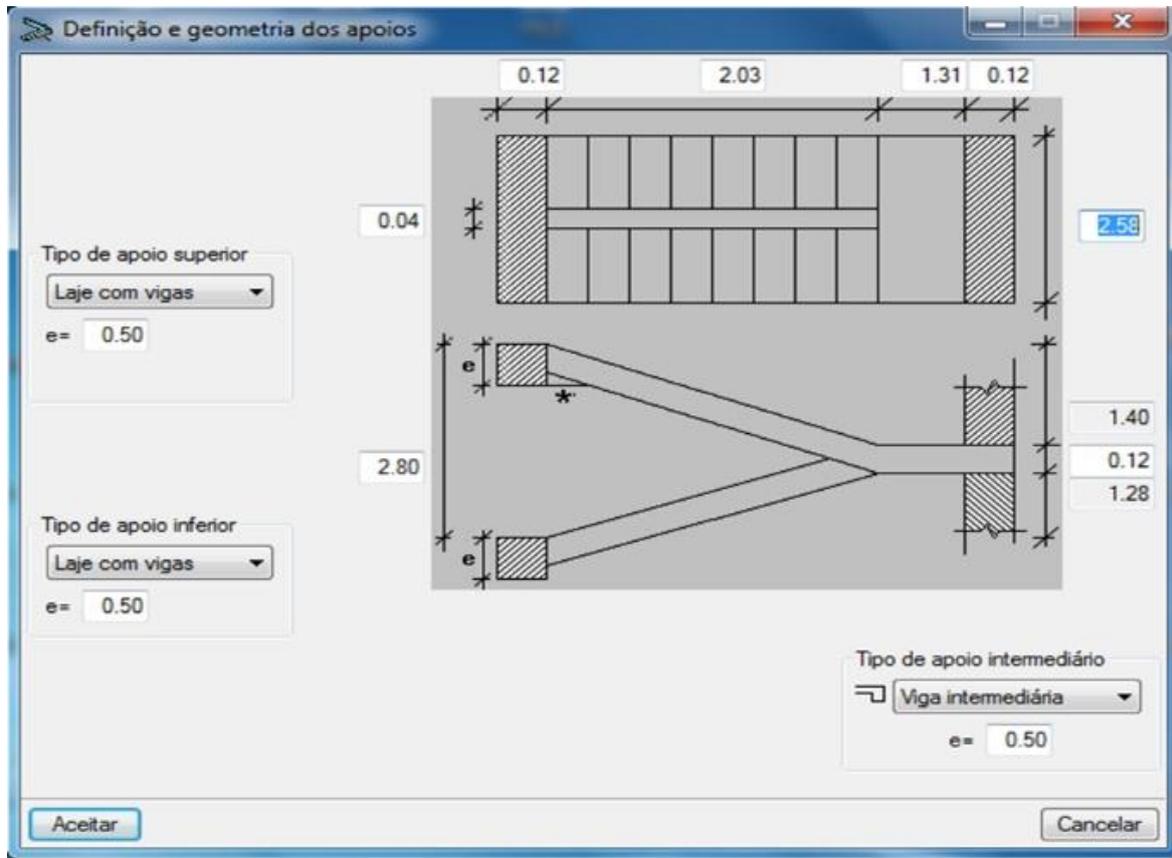


Figura 7 - Definição e geometria dos apoios
Fonte: Autores, 2017

Posteriormente, são informados ao *software* os valores dos carregamentos no corrimão, a sobrecarga e o revestimento utilizado, conforme apresentado na Figura 8.

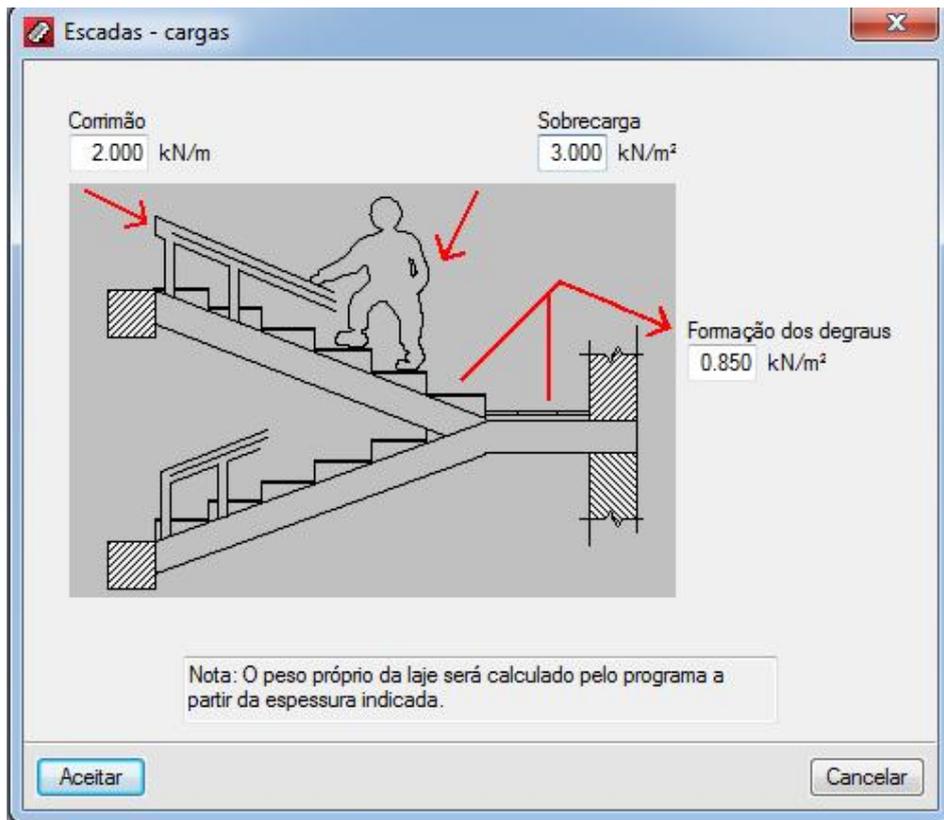


Figura 8 - Carregamento na escada
Fonte: Autores, 2017

Ao ser realizado os procedimentos acima, o *software* já é capaz de calcular a armadura e elaborar as pranchas.

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os dados dos materiais que foram utilizados.



Figura 9 - Dados dos materiais da escada
Fonte: Autores, 2017



Figura 10 - Dados dos materiais da escada
 Fonte: Autores, 2017

A seguir, na Figura 11 é exposto um resumo das armaduras usadas na escada.

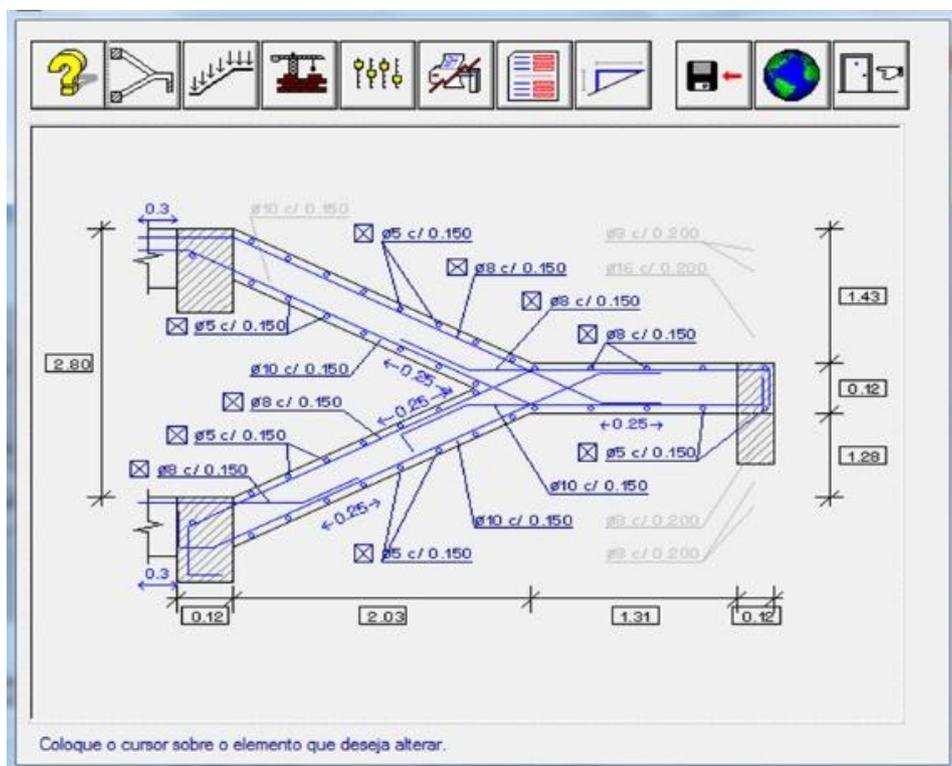


Figura 11 - Resumo das armaduras em vista
 Fonte: Autores, 2017

As vistas frontais dos cortes das seções A-A e B-B, são respectivamente apresentados nas Figuras 12 e 13.

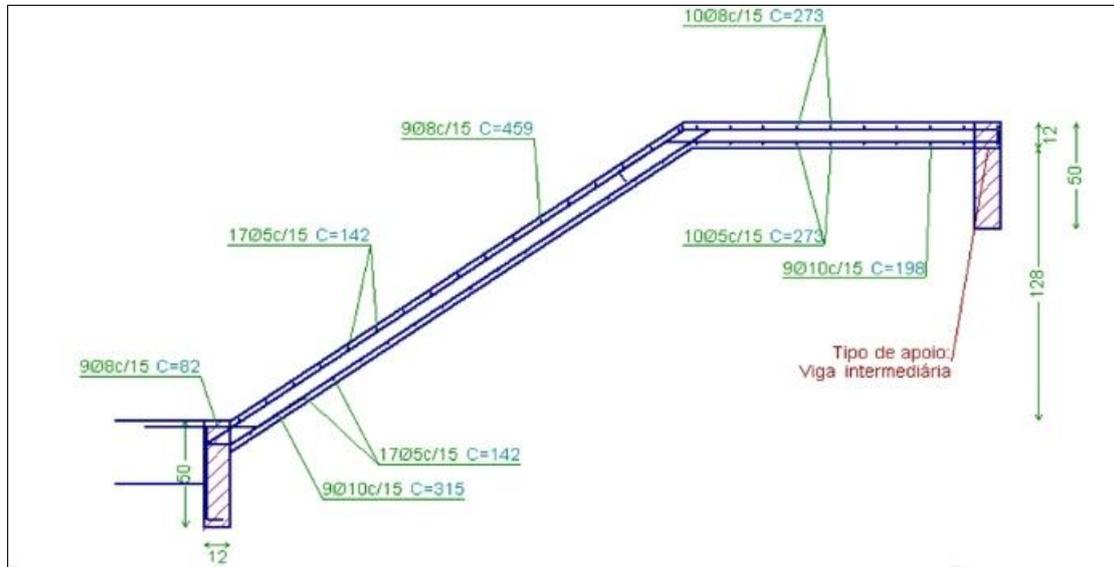


Figura 12 - Corte A-A
Fonte: Autores, 2017

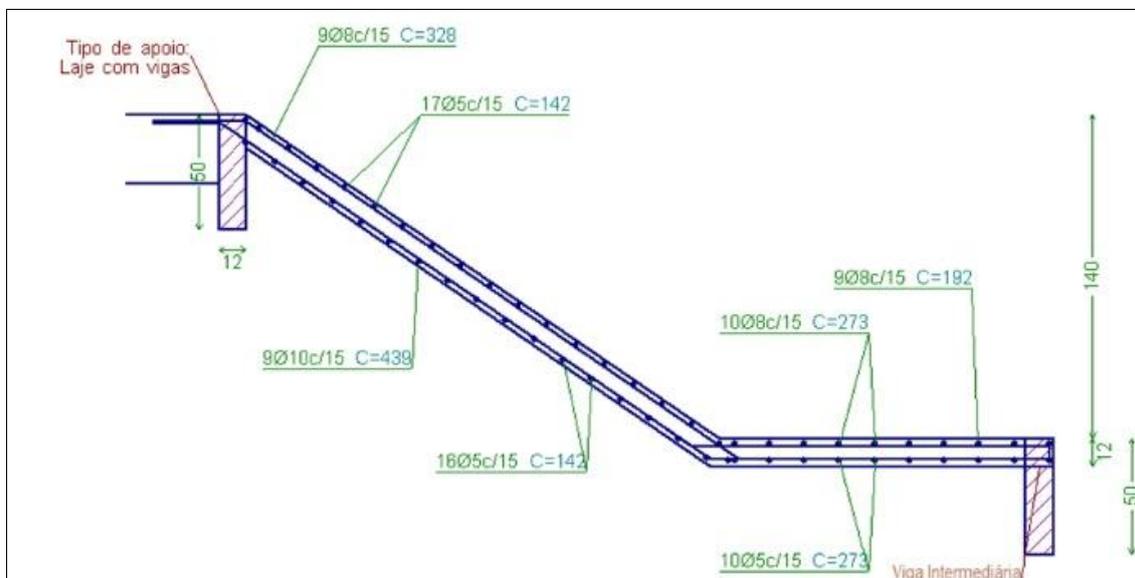


Figura 13 - Corte B-B
Fonte: Autores, 2017

As Figuras 14 e 15 retratam o detalhamento da armadura longitudinal das seções A-A e B-B, respectivamente.

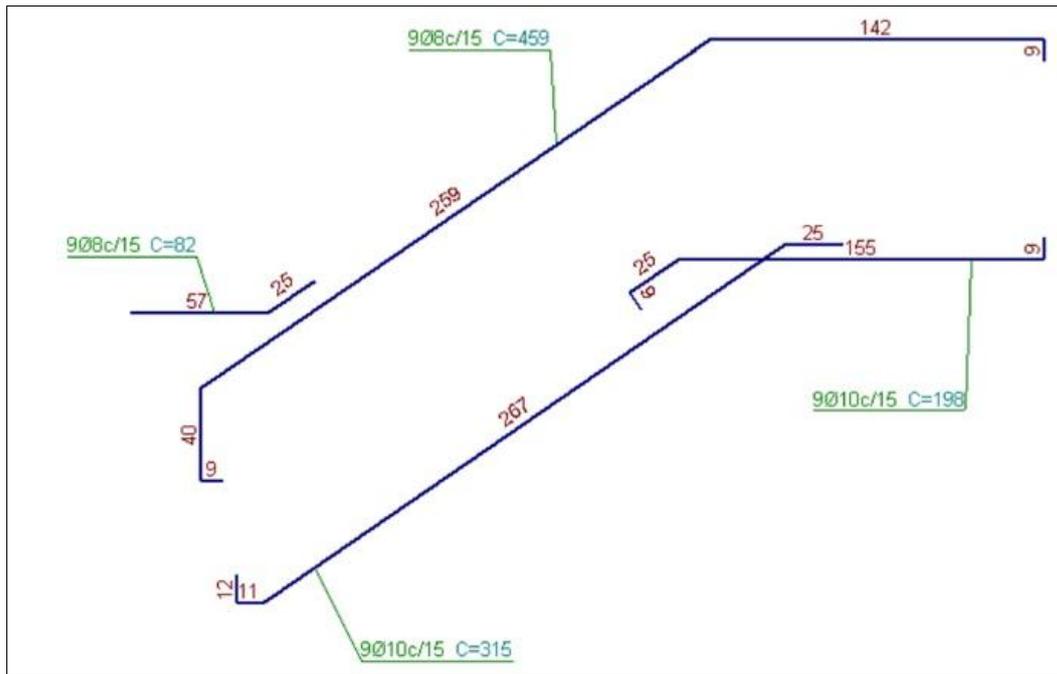


Figura 14 - Detalhamento da armadura longitudinal do corte A-A

Fonte: Autores, 2017

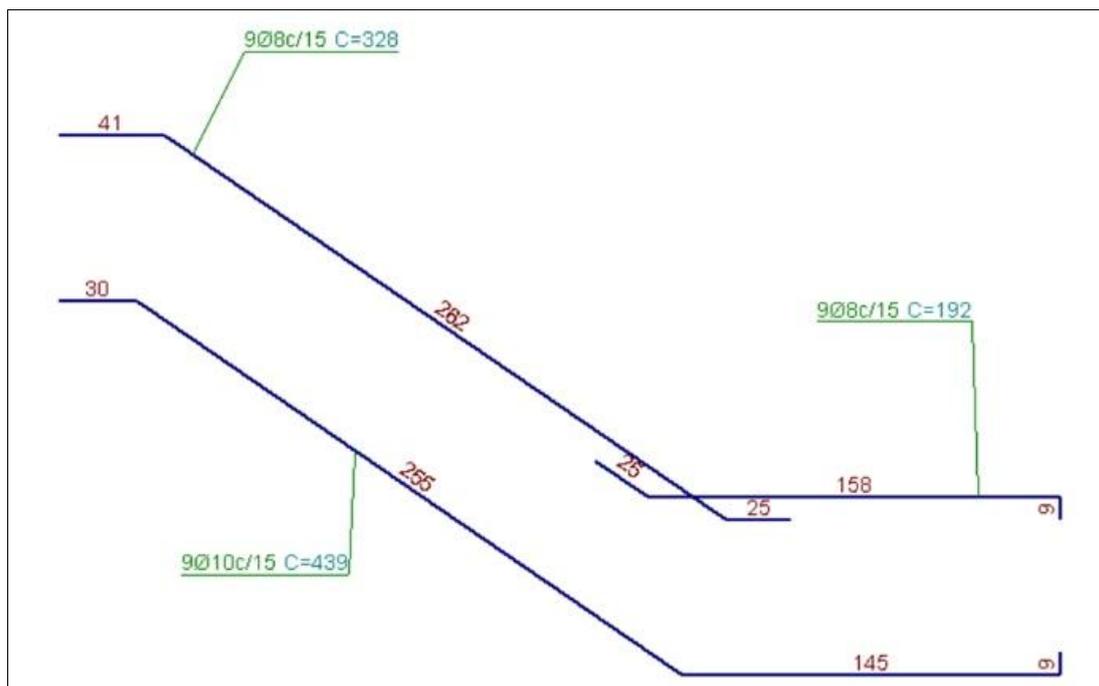


Figura 15 - Detalhamento da armadura longitudinal do corte B-B

Fonte: Autores, 2017

Por fim, é apresentada uma tabela resumo referente a toda a armadura utilizada na escada pelo cálculo computacional.

Tabela 1 - Resumo da armadura.

Resumo Aço Escadas CA-50-A	Comprimento total (m)	Peso+10% (kg)	TOTAL (kg)
Ø5.0	122.4	21	135
Ø8.0	124.4	54	
Ø10.0	87.3	60	

Fonte: Autores, 2014

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICO E COMPUTACIONAL

O quantitativo de cada método é demonstrado nas tabelas 2 e 3, assim como o custo que cada um produziu.

Tabela 2 - Resumo da armadura pelo método analítico.

TABELA RESUMO DA ARMADURA UTILIZADA NO DIMENSIONAMENTO ANALÍTICO					
BARRAS Ø (mm)	COMPRIMENTO TOTAL (m)	PESO (Kgf/m)	PESO + 10%	PREÇO (R\$/Kg)	TOTAL (R\$)
5	78,21	0,154	13,249	3,00	39,75
10	89,20	0,624	61,227	3,14	192,25
ΣR\$=					232,00

Fonte: Autores, 2014

Tabela 3 - Resumo da armadura pelo método computacional.

TABELA RESUMO DA ARMADURA UTILIZADA NO DIMENSIONAMENTO COMPUTACIONAL					
BARRAS Ø (mm)	COMPRIMENTO TOTAL (m)	PESO (Kgf/m)	PESO + 10%	PREÇO (R\$/Kg)	TOTAL (R\$)
5	122,40	0,154	21	3,00	63,00
8	124,40	0,391	54	3,37	181,98
10	87,30	0,619	60	3,14	188,40
ΣR\$=					433,38

Fonte: Autores, 2014

A tabela 4 abaixo apresenta a confrontação de quantitativos de cada método.

Tabela 4 - Comparação entre quantitativos.

COMPARATIVO ENTRE ARMADURAS			
METODOLOGIA DE CÁLCULO	COMPRIMENTO TOTAL	TOTAL PESO + 10% (Kgf/m)	PREÇO TOTAL R\$
ANALÍTICO	167,41	74,476	232,00
COMPUTACIONAL	334,10	135,000	433,38

Fonte: Autores, 2014

As tabelas 2, 3 e 4 demonstram que o comprimento total da armadura calculada pela alternativa computacional é o dobro da dimensionada pelo método analítico. O preço e o peso total acrescido de dez por cento também se manifestam da mesma maneira, ou seja, são quase o dobro, comparadas ao cálculo manual.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *software* comercial empregado utiliza somente o critério da armadura dupla em seu dimensionamento, entretanto, de acordo com o dimensionamento analítico, como o momento de cálculo é menor que o momento de cálculo limite, pode ser utilizada armadura simples. Este fato explica a discrepância entre os quantitativos obtidos.

O comprimento individual das barras para ambos os casos é o mesmo, visto que a geometria da escada é única, porém o comprimento total obtido pelo dimensionamento computacional é o dobro do analítico, devido ao *software* utilizar armadura dupla.

O peso total por metro das barras no método analítico é cerca de 55% menor que o valor obtido pelo *software*. Como o preço total depende do peso total de cada barra, o dimensionamento analítico é, em média, 54% mais barato do que obtido pelo *software*.

Conclui-se que a alternativa do dimensionamento analítico é mais vantajosa e viável, visto que, atendendo as mesmas condições de segurança, oferece um menor quantitativo e por consequência, menor custo. Portanto, verifica-se a necessidade de melhorar o desempenho do *software* a fim de realizar o cálculo de escadas de uma forma mais econômica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, NBR 9050**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 105 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, NBR 6120**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980, 5 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, NBR 6118**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014, 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Saídas de emergência em edifícios, NBR 9077**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001, 36 p.

CYPECAD. **Manual do utilizador**. Braga: Top Informática, 2010. 208 p.

MENEZES, A. M. **Comunicação gráfica entre profissionais parceiros no projeto de edifícios na era digital**. 2007.

CAMPOS FILHO, A. **Projeto de escadas de concreto armado**. Porto Alegre: Escola de Engenharia Civil, UFRGS, 2011.

MELGES, J. L. P.; PINHEIRO, L. M.; GIONGO, J. S. **Concreto armado: escadas**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1997.