

CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESCADA COM LAJES ADJACENTES DE CONCRETO ARMADO

CALCULATION AND DETAILING OF LADDERS WITH ADJACENT SLAB OF REINFORCED CONCRETE

Matheus Fernando Martins¹

Paulo César Dias da Silva²

Vinicius Slompo Pinto³

RESUMO: Escadas são elementos da edificação projetados e executados para vencer desníveis. O objetivo do estudo é dimensionar uma escada de concreto armado, sendo analisadas as diretrizes, taxas de armadura e roteiro de cálculo. O método de cálculo foi elaborado através da definição de carga, de acordo com *software Ftool*, posteriormente o dimensionamento das armaduras foi realizado com auxílio do *software Microsoft Office Excel*. Constata-se que o uso de armaduras duplas em concreto armado, proposto pela ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto- Procedimento, através do $\beta_{x,lim}$, não é necessário. Sendo assim, a solução para tal impasse é o aumento da espessura da laje ou da resistência característica à compressão do concreto.

Palavras-chave: Escadas; Concreto armado; Lajes adjacentes; Dimensionamento; Roteiro de cálculo.

ABSTRACT: *Stairs are elements of edification designed and executed to overcome unevenness. The objective of the study is to scale a reinforced concrete ladder, being analyzed the guidelines, armor rates and calculation screenplay. The calculation method was elaborated through the definition of load, according to Ftool software, subsequently the dimensioning of the armor was performed using Microsoft Office Excel software. It is noted that the use of double armor on reinforced concrete, proposed by ABNT NBR 6118: 2014 - Projecto oficial concrete - Procedure, through $\beta_{x,lim}$, it is not necessary. Thus, the solution to such an impasse will be the increase of the slab thickness or the characteristic strength compressive of the concrete.*

Keywords: Stairs; Reinforced concrete; Adjacent slabs; Sizing; Calculation roadmap.

¹ Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: matheusmartins.eng@gmail.com.

² Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: paulo_dias_map@hotmail.com.

³ Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro, SP. E-mail:vinicius.slompo.p@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Escadas são elementos construídos e elaborados para residências e edificações comerciais para facilitar o acesso aos diferentes pavimentos. Existem inúmeras formas e tipos de escadas, porém essa escolha varia do tipo de estrutura disposta e do padrão geométrico adotado em sua execução. Por isso, se faz necessário um estudo prévio no qual é definido o uso da escada, variando o tipo de estrutura em que ela é apoiada. Após essa etapa, define-se o tamanho e as cargas atuantes (QUEVEDO, 2011).

Por mostrarem geometrias desiguais, planos propensos, contratempos na montagem das fôrmas, na armação e na concretagem, as escadas requerem um cronograma bem definido para serem realizadas na obra devido suas complicações (GAGETI, 2012).

As escadas tornaram-se um elemento necessário e essencial dentro das edificações, proporcionando não somente a circulação de pedestres, carga e descargas de mercadorias, mas também como elemento de segurança, na parte de refúgio de incêndio ou alternativa para o caso do não funcionamento de elevadores por falta de energia elétrica (VARGAS, 2015).

Há inúmeras formas e possibilidades de construção para escadas. Elas podem ser, em relação ao material, como: concreto armado, concreto pré-moldado, metálicas e de madeira. Em relação à vinculação, as escadas podem ser: apoiadas sobre lajes, vigas em balanço ou engastadas. Portanto a escolha do material e o tipo de vinculação em que é executada a escada, deve ser determinado com as possibilidades do canteiro de obra (PINHEIRO, 1984).

O objetivo do trabalho é estudar o dimensionamento de uma escada com lajes adjacentes de concreto armado utilizadas na construção civil. Para tanto, são analisadas as diretrizes para o dimensionamento, taxas de armaduras e roteiros de cálculo. Apresenta-se um exemplo de aplicação da escada em questão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lajes

Define-se lajes como sendo uma estrutura plana, com a espessura bem menor que as outras dimensões adotadas. Elas têm a capacidade de receber as

cargas atuantes derivadas do uso da edificação e transferi-los para os apoios, que no caso podem ser vigas, pilares e ou paredes. As lajes são categorizadas conforme o tipo de armação, podendo ser em uma direção, determinada como unidirecional ou em direções distintas, nomeada bidirecional (CARVALHO, 2010).

Araújo (2010), define laje, se tratando de uma estrutura convencional, as que recebem e sustentam as cargas do prédio, transmitindo sua carga do piso para as vigas, das vigas para os pilares, que por sua vez transmitem a sua carga para as fundações e, posteriormente, ao solo.

2.1.1 Tipos de vínculos em lajes

Existem, basicamente, três tipos de vínculos em lajes: borda livre, borda simplesmente apoiada e borda engastada representadas na Figura (1).

FIGURA 1. Representação dos tipos de apoio

Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
-----	—————	///////

Fonte: Bares (1972)

A falta de apoio, denomina-se borda livre, proporcionando deslocamentos verticais, já na borda apoiada e engastada, não há esse tipo de deslocamentos. As rotações também são impedidas nas bordas engastadas, cita-se como exemplo desse tipo de borda, lajes que apresentam ininterruptão, sendo o engastamento promovido pela laje adjacente (BARES, 1972).

2.2 Vigas

Segundo a ABNT NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento. Vigas são elementos estruturais lineares, em que o comprimento longitudinal é superior, no mínimo ao triplo da extensão da seção transversal, em que a flexão é preponderante.

Vigas são rotuladas como barras, propostas a suportar ações das lajes, de alvenaria de paredes, de outras vigas, e eventualmente de pilares. As vigas são destinadas a vencer vãos e transmitir as ações para os apoios, sendo as ações na maioria das vezes perpendicular ao seu eixo longitudinal, distribuídas ou concentradas. Essas ações podem ser de tração ou compressão (PINHEIRO, 1984).

2.3 Escadas de Concreto Armado

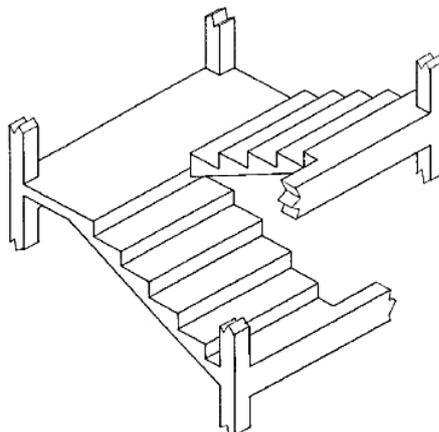
Desde o surgimento da verticalização das edificações, as escadas têm sido um elemento fundamental para o acesso aos diferentes níveis de uma edificação. Apesar do surgimento e avanços dos sistemas eletrônicos de movimentação vertical, principalmente escadas rolantes e elevadores, as escadas continuaram sendo amplamente utilizadas. O elemento pode ser construído em variados tipos de materiais, porém prevalecem as escadas de concreto armado (CARVALHO, 2010).

As escadas de concreto armado devem seguir o projeto e normas técnicas, já que o posicionamento da armadura e o cálculo estrutural são realizados em função do projeto arquitetônico e modelo da escada. Independente da escada e de sua tipologia, o projeto deve ser elaborado de acordo com as normas técnicas. Em um projeto de escadas de concreto armado, deve-se inicialmente, definir o tipo de escada utilizada, define-se também qual a sua finalidade: acesso coletivo, privativo ou restrito. Por fim, são definidas as dimensões necessárias (GIONGO, 2008).

2.3.1 Escada com lajes adjacentes

As escadas com lajes adjacentes em concreto armado são escadas compostas por duas lajes com um patamar intermediário, como apresentado na Figura (2). Esse tipo de escada apresenta variações em relação às condições de apoio das lajes e do patamar. Essas condições de apoios podem ser vigas ao longo do contorno externo e lajes com apoios simples ou engastamento parciais (GUERRIN, 2002).

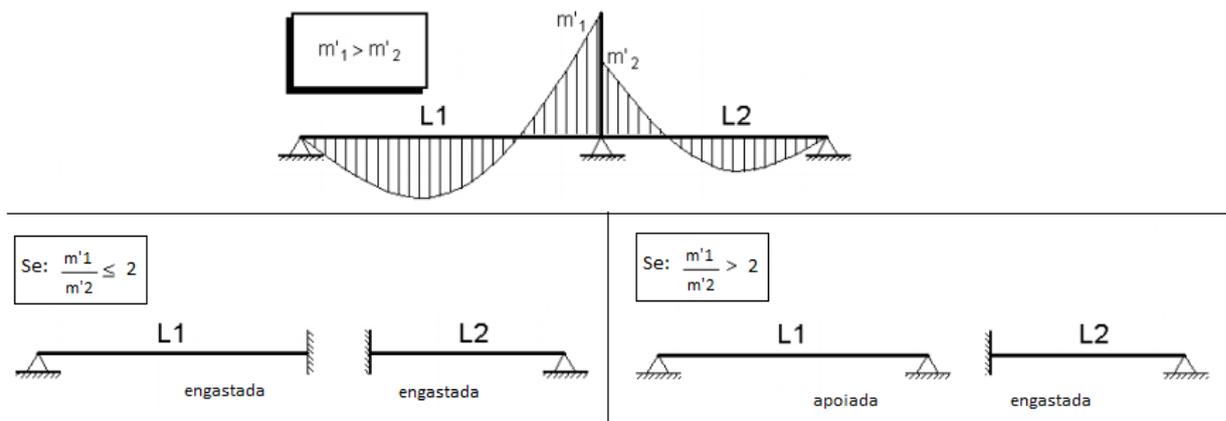
FIGURA 2. Escada com lajes adjacentes



Fonte: Melges (1997)

Vários aspectos devem ser estudados para se adotar o tipo de apoio, nos vínculos entre as lajes adjacentes. Uma diferença expressiva entre os momentos negativos de duas lajes adjacentes poderia levar à determinação de borda simplesmente apoiada para uma das lajes e engastada para outra, ao invés de engastada para as duas, conforme Figura (3) (PINHEIRO et al., 2003).

FIGURA 3. Engastamento em lajes adjacentes



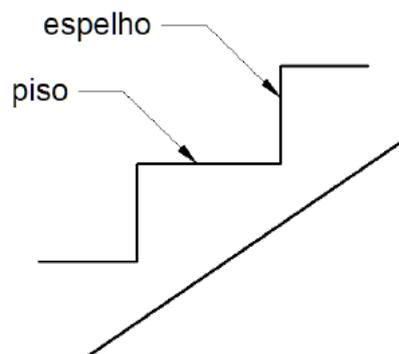
Fonte: Adaptado de Pinheiro. L. M. et al. (2003)

2.3.2 Elementos constituintes

2.3.2.1 Degraus e espelhos

A ABNT NBR 9077:2001: Saída de emergência em edifícios. Define degrau como o conjunto dos elementos horizontais e verticais, denominados piso e espelho, respectivamente. A largura do degrau é determinada como piso, enquanto a altura, denomina-se espelho, conforme ilustrado na Figura (4).

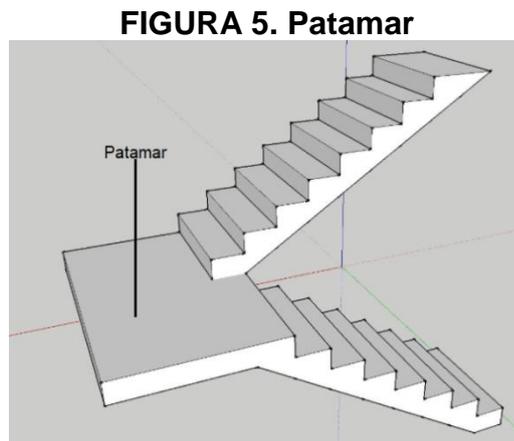
FIGURA 4. Elementos de uma escada



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 9077 (2001)

2.3.2.2 Patamares

Patamares são espaços existentes no topo de uma escada, e ou o piso, que separa os lances de uma escada. Eles são projetados para dar descanso aos usuários e para mudar a direção da escada no caso de haver muitos lances. Para as escadas com presença de patamar Figura (5), o cálculo consiste em considerar a escada como simplesmente apoiada (FUSCO, 2013).

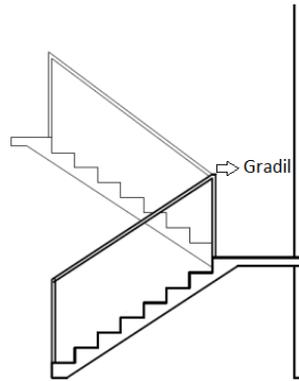


Fonte: Adaptado de Gagetí (2012)

2.3.2.3 Gradil

Gradil, Figura (6), são comuns em sacadas e vãos de escadas. São acessórios imprescindíveis para a segurança interna e externa de moradores e visitantes. Os gradis são considerados ornamentos do ambiente, capazes de enfatizar estilos e conferir um acabamento decorativo aos ambientes. Alguns tipos de materiais são utilizados em gradis para varandas e vãos de escadas como: madeira, vidro, metal, gesso e concreto armado, cada um deles possuem características próprias de contorno e probabilidades de cores e texturas (GAGETI, 2012).

FIGURA 6. Gradil



Fonte: Próprio Autor

2.4 Carregamentos

Segundo a ABNT NBR 6120:1980: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Os carregamentos são condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino

2.4.1 Carga Permanentes

Este tipo de carga é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes.

2.4.1.1 Peso próprio

O Peso Próprio (g_{pp}), é o peso do concreto armado da laje maciça. Para o peso específico do concreto armado (γ_{conc}), a ABNT NBR 6120:1980 determina valor de 25 kN/m³. O cálculo é feito de acordo com a Equação (1) em função da altura média obtida (h_m), a mesma é calculada de acordo com a somatória da altura média dos espelhos, mais a espessura da laje.

$$g_{pp} = \gamma_{conc} \times h_m \quad (1)$$

2.4.1.2 Revestimento

De acordo com Melges (1997), costumam ser adotados valores entre 0,8 kN/m² a 1,2 kN/m², para a força linearmente distribuída do forro, incluída à de piso, sendo adotado valor maior a favor da segurança

2.4.1.3 Gradil

Segundo Melges (1997), quando a ação do gradil não está sobreposta

absolutamente sobre uma viga de apoio, ela necessita ser considerada no cálculo da laje. Esta ação é uma força linearmente distribuída ao longo da margem da laje, porém por simplificação, transforma-se a resultante desta ação em outra uniformemente distribuída. O peso do gradil (g_{gradil}) no geral varia entre 0,3 kN/m a 0,5 kN/m. Utiliza-se o maior valor a favor da segurança. A Equação (2) apresenta que o valor adotado deve ser dividido pela largura do degrau.

$$g_{gradil} = \frac{P_{gradil}}{e_{degrau}} \quad (2)$$

2.4.2 Carga acidental

As cargas acidentais são definitivas de acordo com a finalidade da edificação. Os carregamentos derivados do uso da edificação são, como por exemplo, o peso de pessoas, móveis e utensílios. De acordo com ABNT NBR 6120:1980, para escadas sem acesso ao público, o valor adotado é de 2,50 kN/m².

2.5 Dimensionamentos das Armaduras

O dimensionamento das armaduras das escadas de concreto armado com momentos fletores negativos e positivos, deve ser efetuado de maneira semelhante às vigas, ou seja, através do equilíbrio das forças operantes da seção (FUSCO, 2013).

2.5.1 Cálculo da posição da linha neutra

Define-se linha neutra como a posição na seção transversal do elemento estrutural em que as tensões são nulas. A Equação (3) determina o cálculo da posição da linha neutra para elementos submetidos à flexão simples (CAMPOS FILHO, 2014).

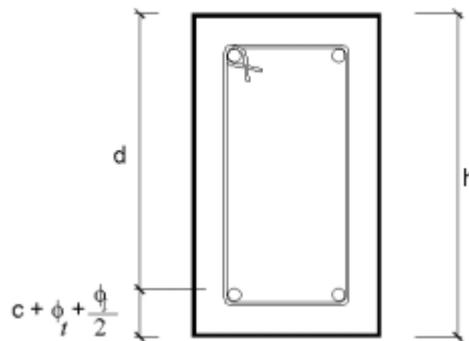
$$x = 1,25 * d * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{Md}{0,425 * b_w * d^2}} \right] \quad (3)$$

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a altura útil (d) é definida como sendo a extensão do início da seção comprimida ao centro de gravidade da armadura de tração. Para armadura longitudinal em uma única camada, a relação entre a altura total (h) e a altura útil é dada pela Equação (4), em que (c) é o cobrimento, (ϕ_t)

diâmetro dos estribos e (ϕ_l) diâmetro das barras longitudinais, Figura (7), (PINHEIRO, 2007).

$$h = d + c + \phi_t + \frac{\phi_l}{2} \quad (4)$$

FIGURA 7. Seção transversal da viga



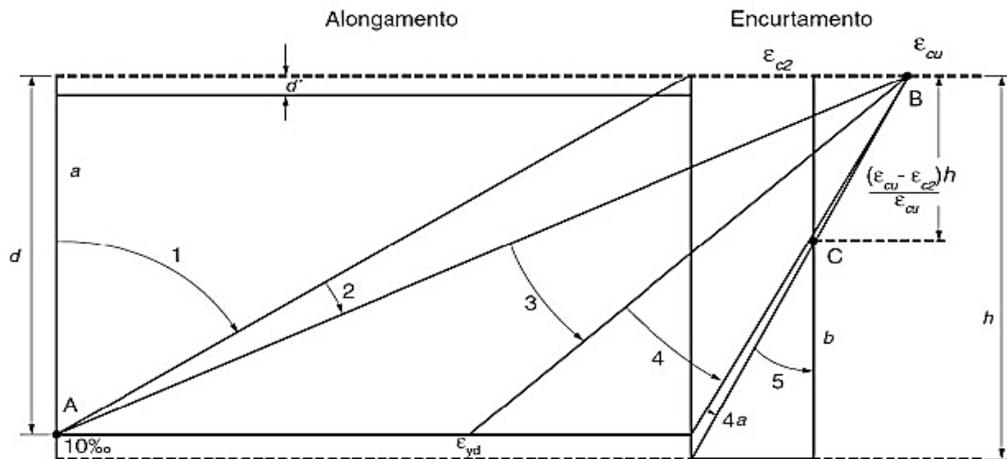
Fonte: Adaptado de Pinheiro (2007)

2.5.2 Domínios de deformação

Os domínios se distinguem-se pelo modo de ruína, em que pelo menos um dos materiais atingem seu limite de deformação, caracterizando dessa forma os estados limites últimos (ELU). A ruína por deformação plástica excessiva corresponde ao alongamento último do aço, 10%, já a ruína por ruptura do concreto, ϵ_{cu} , corresponde ao encurtamento último (VARGAS, 2015).

O diagrama dos domínios de deformação representa todas as distribuições de deformações específicas da seção transversal de uma peça de concreto armado, no instante em que ela atinge o ELU como mostra a Figura (8) (FERNANDES, 1980).

FIGURA 8. Diagrama dos domínios de deformação

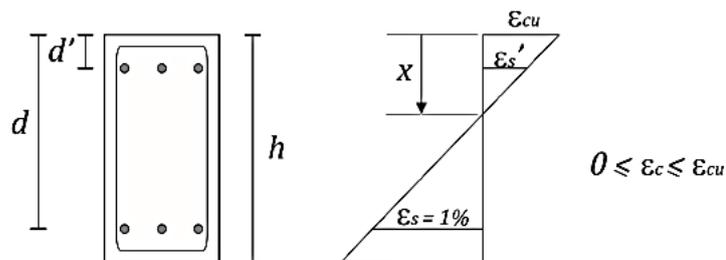


Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118 (2014)

2.5.2.1 Domínio 2

Esse domínio corresponde a flexão simples ou composta, com força normal de tração ou compressão Figura (9). No domínio 2, o aço é bem aproveitado pois trabalha no limite de deformação plástica excessiva. O concreto é mal aproveitado, pois não é solicitado em sua capacidade máxima. Nesse domínio, deve-se prevenir a ruptura frágil da peça na zona tracionada, característica das seções fracamente armadas, providenciando uma armadura mínima de tração. Pode-se dizer que a seção neste domínio é subarmada (FUSCO, 2013).

FIGURA 9. Domínio 2



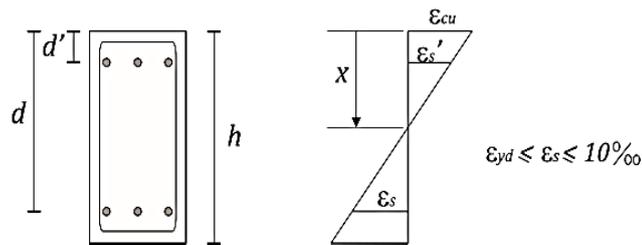
$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}; \quad (6)$$

2.5.2.2 Domínio 3

O elemento estrutural, no domínio 3, possui uma região comprimida e outra tracionada, com a posição relativa da linha neutra variando entre $\beta x_{2,3}$ e βx_{lim} , Figura (10). Nesse caso, estão contidos esforços de flexão composta, flexão simples, com ruptura à compressão do concreto simultaneamente com o escoamento do aço. Deste modo, o domínio 3, no qual os dois materiais trabalham na máxima capacidade sem que haja ruína não dúctil da estrutura, é adotado como o mais econômico para um projeto de edificação (MACGREGOR, 1997).

FIGURA 10. Domínio 3



Fonte: Adaptado de Pinheiro (2016)

2.6.2 Limitação da linha neutra

As armaduras são dimensionadas nos domínios 2 ou 3, sendo o domínio 4 evitado, já que nesse domínio há ruptura frágil do concreto. Para que seja evitado o dimensionamento de estruturas no domínio 4, a ABNT NBR 6118:2014 relata que se deve adotar armadura dupla através do valor adequado de $\beta_{x,lim}$, em que para concretos classe I, entre 20 MPa e 50 MPa, esse valor é de 0,45. Caso obtenha-se um valor de $\beta_x > 0,45$, é necessário o cálculo da armadura de compressão (A'_s). Caso contrário adota-se $A'_s \neq 0$, sendo válida a Equação (7). A determinação dos parâmetros ε_{c2} e ε_{cu} são definidos conforme o f_{ck} , como apresentado no item 2.5.2.1 do presente trabalho.

$$A_s = f_{yd} * 0,68 * b_w * d * f_{cd} * \beta_x + A'_s * \sigma'_s \quad (7)$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Considerações iniciais

As escadas possuem dimensionamento semelhante ao de uma viga, podendo seguir os mesmos critérios de carregamentos, obtenção de esforços, dimensionamento e verificações. Os cálculos foram realizados com auxílio do *software Microsoft Office Excel* e posteriormente as reações de apoio foram calculadas através do *software Ftool*.

3.2 Altura média

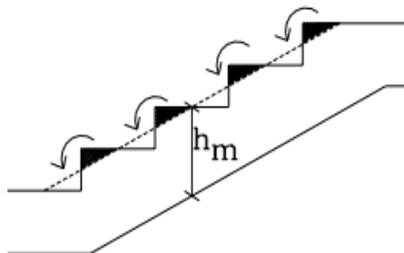
Os parâmetros necessários para o cálculo da tangente do ângulo, Equação (8), referente a inclinação que a escada irá possuir, são: espelho (e) e a distância do passo (s). A Equação (9), representa a altura equivalente (h_1). A Equação (10) serve para encontrar o carregamento devido ao peso próprio, através do cálculo da altura média obtida (h_m), como demonstrado na Figura (11).

$$\tan \alpha = \frac{e}{s} \quad (8)$$

$$h_1 = \frac{h}{\alpha} \quad (9)$$

$$h_m = h_1 + \frac{e}{2} \quad (10)$$

FIGURA 11. Altura média



Fonte: Adaptado de Martha (2010)

3.3 Definição dos carregamentos

3.3.1 Cargas permanentes e variáveis

Para a determinação desses carregamentos foram utilizadas as formulações apresentadas nos itens 2.4.1.1 e 2.4.1.3 do presente trabalho, tanto para o trecho inclinado (constituintes dos degraus), como para o patamar da escada.

A sequência de cálculo para ambos foi: primeiramente a determinação da carga permanente, peso próprio da estrutura (item 2.4.1.1); cálculo do revestimento (item 2.4.1.2) e cálculo do carregamento do gradil (item 2.4.1.3). Posteriormente foi adotada a carga acidental do elemento, conforme a ABNT NBR 6120:1980, o valor de 2,50 kN/m².

O carregamento total da estrutura é realizado pela somatória das cargas permanente e acidentais, sendo possível assim realizar, através do *software Ftool*, a determinação das reações e momentos fletores presentes no elemento.

3.4 Dimensionamento da armadura principal

A partir da altura relativa da linha neutra (β_x), determinada através da divisão da linha neutra (x) pela altura útil do elemento (d), calcula-se a área de aço necessária para resistir ao esforço de flexão, o cálculo foi realizado por meio da Equação (11), em função do momento solicitante de projeto (M_d), posição da linha neutra (x), obtida através da equação presente no item 2.6.2, e altura útil do elemento (d). Para elementos que necessitem de armadura dupla é necessário o cálculo da armadura de compressão, que é dada pela Equação (12) para concretos até 50 MPa.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} * (d - 0,4 * x)} \quad (11)$$

$$A'_s = \frac{M_d - (0,68 * b_w * d^2 * f_{cd} * \beta_x * (1 - 0,4 * \beta_x))}{f_{yd} * (d - d')} \quad (12)$$

A ABNT NBR 6118:2014, estabelece ainda taxas mínimas de armadura (ρ_{min}) para seções retangulares, em função da resistência característica à compressão do concreto, determinado através da Figura (12).

FIGURA 12. Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas

Forma da seção	Valores de $\rho_{\min}^a (A_{s,\min}/A_c)$ %														
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

^a Os valores de ρ_{\min} estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$ e $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{\min} deve ser recalculado.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118 (2014)

O espaçamento das barras é calculado através da Equação (13) em que é encontrado a área de aço inicial ($A_{s,uni}$), conforme o diâmetro (ϕ) estimado da barra. Com a Equação (14), determina-se o número de barras (n), utilizando para (A_s) o valor encontrado na Equação (15). A Equação (16) determina o espaçamento entre estribos (s), com o valor obtido, através da Equação (16). É possível verificar se o valor adotado está de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, que especifica o espaçamento mínimo e máximo entre estribos, item 3.4, e determina que o mesmo deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador, garantindo um bom adensamento da massa. É usual adotar espaçamento entre 10 e 30 cm.

$$A_{s,uni} = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (13)$$

$$n = \frac{A_s}{A_{s,uni}} \quad (14)$$

$$s = \frac{100}{n} \quad (15)$$

$$S_{m\acute{a}x} \leq \left\{ \frac{20 \text{ cm}}{2.h} \right. \quad (16)$$

A quantidade de barras do elemento é determinada através da Equação (17), o cálculo é realizado conforme a largura dos degraus (l_{livre}), dividido pelo comprimento final das barras (s).

$$Q = \frac{l_{livre}}{s} - 1 \quad (17)$$

3.5 Dimensionamento da armadura de distribuição

O equilíbrio estrutural de lajes e escadas armadas em uma única direção são dadas pela armadura principal, que é disposta na direção dos apoios. Porém, a ABNT NBR 6118:2014, recomenda a utilização de uma armadura de distribuição, a fim de aprimorar a ductilidade e controlar a fissuração, na direção transversal à armadura principal. A área de aço empregada como armadura de distribuição deve ser o maior valor presente na Equação (18).

$$A_s \geq \left\{ 20\% \text{ do } A_s \text{ da armadura principal } 0,5 \cdot \rho_{min} \cdot b_w \cdot h \ 0,9 \frac{cm^2}{m} \right\} \quad (18)$$

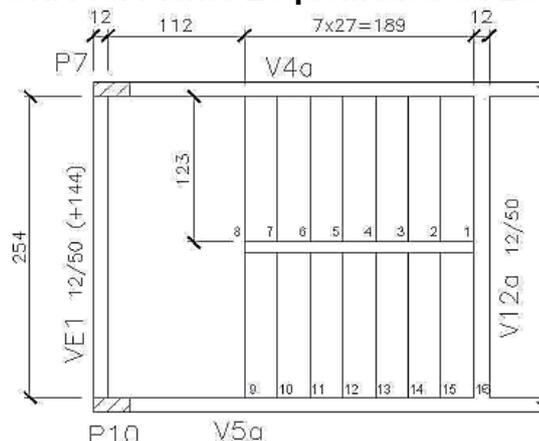
O espaçamento e a quantidade de barras são calculados conforme as diretrizes apresentadas no item 3.4 do presente trabalho.

RESULTADOS

4.1 Valores e plantas esquemáticas

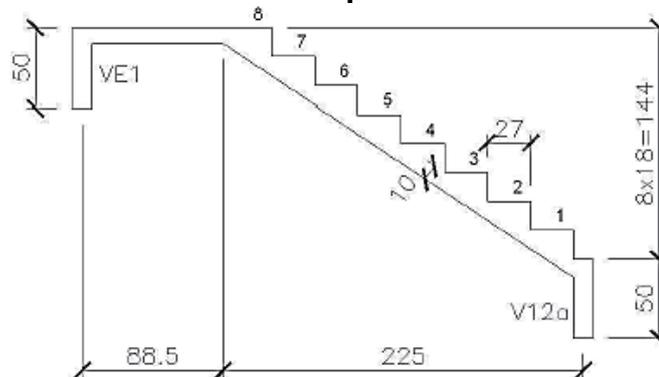
No presente trabalho foi calculada uma escada armada longitudinalmente, Figura (13), com um patamar entre os lances de degraus. A altura que a escada deve vencer é de 2,88 m, com um espelho de 18 cm, e um piso e espelho de 27 cm, Figura (14).

FIGURA 13. Planta Esquemática da Escada



Fonte: Loriggio (2010)

FIGURA 14. Corte Esquemático da Escada



Fonte: Loriggio (2010)

4.2 Dimensionamento

Foi dimensionada e detalhada uma escada de concreto armado utilizando os procedimentos de cálculos apresentados anteriormente no trabalho. Para a realização dos cálculos foi adotado concreto com f_{ck} de 20 MPa, aço CA-50, degraus com espelhos de 18 cm e largura de 27 cm e espessura de 10 cm. Também foi adotado, visando a segurança da estrutura, os seguintes parâmetros: peso específico do concreto armado ($\gamma_{conc} = 25 \text{ kN/m}^3$); Revestimento ($r_{revestimento} = 1,2 \text{ kN/m}^2$); Gradil ($g_{gradil} = 0,5 \text{ kN/m}$); Carga acidental ($q = 2,50 \text{ kN/m}^2$).

A Tabela (1), apresenta os dados obtidos através do memorial de cálculo apresentado anteriormente, com o valor dos carregamentos presente na escada.

TABELA 1. Cargas presentes

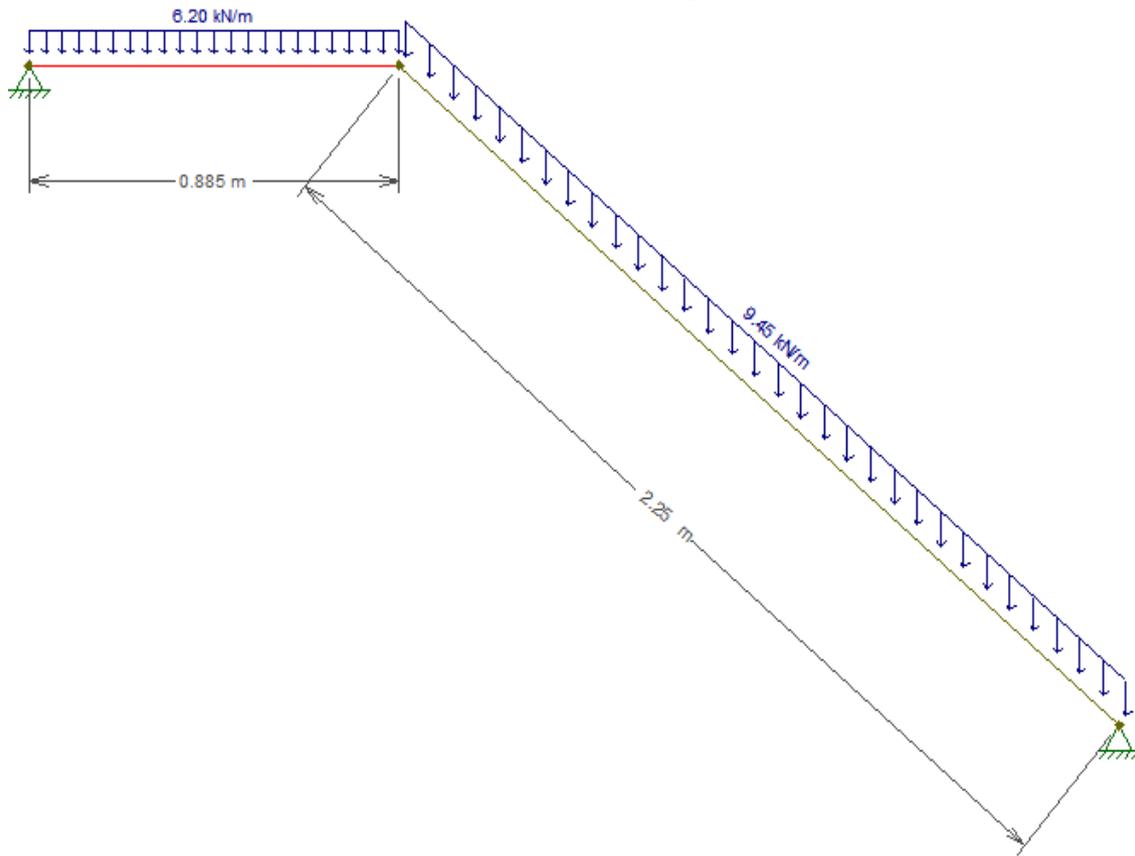
Degraus (trecho inclinado)	(KN/m)	Patamar	(KN/m)
peso próprio	5,25	peso próprio	2,5
Revestimento	1,2	revestimento	1,2
Gradil	0,5	Gradil	*
Carga permanente	6,95	Carga permanente	3,7
Carga acidental	2,5	Carga acidental	2,5
CARREGAMENTO TOTAL	9,45	CARREGAMENTO TOTAL	6,2

Fonte: Próprio autor

4.2.1 Carregamentos

Foram calculados através de um modelo de viga isostática, Figura (15).

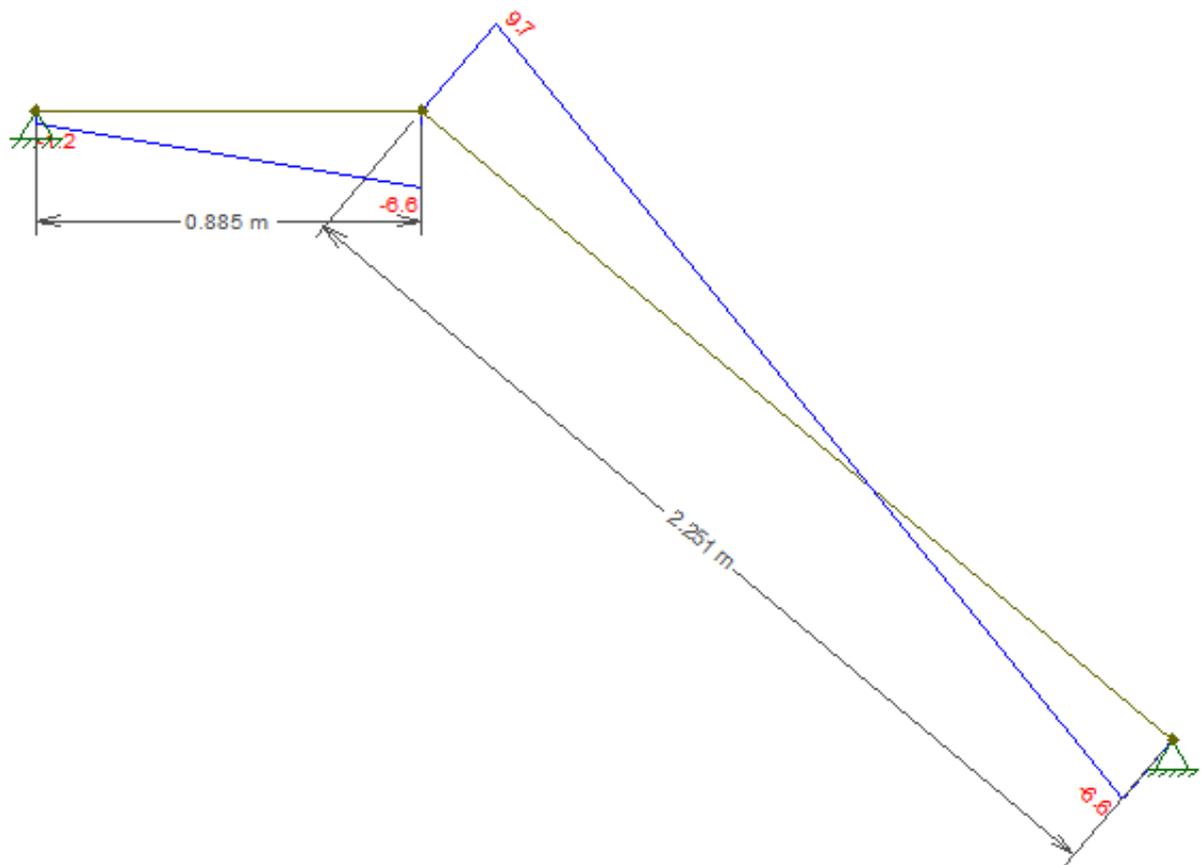
FIGURA 15. Carregamentos



Fonte: *Software Ftool* (2018)

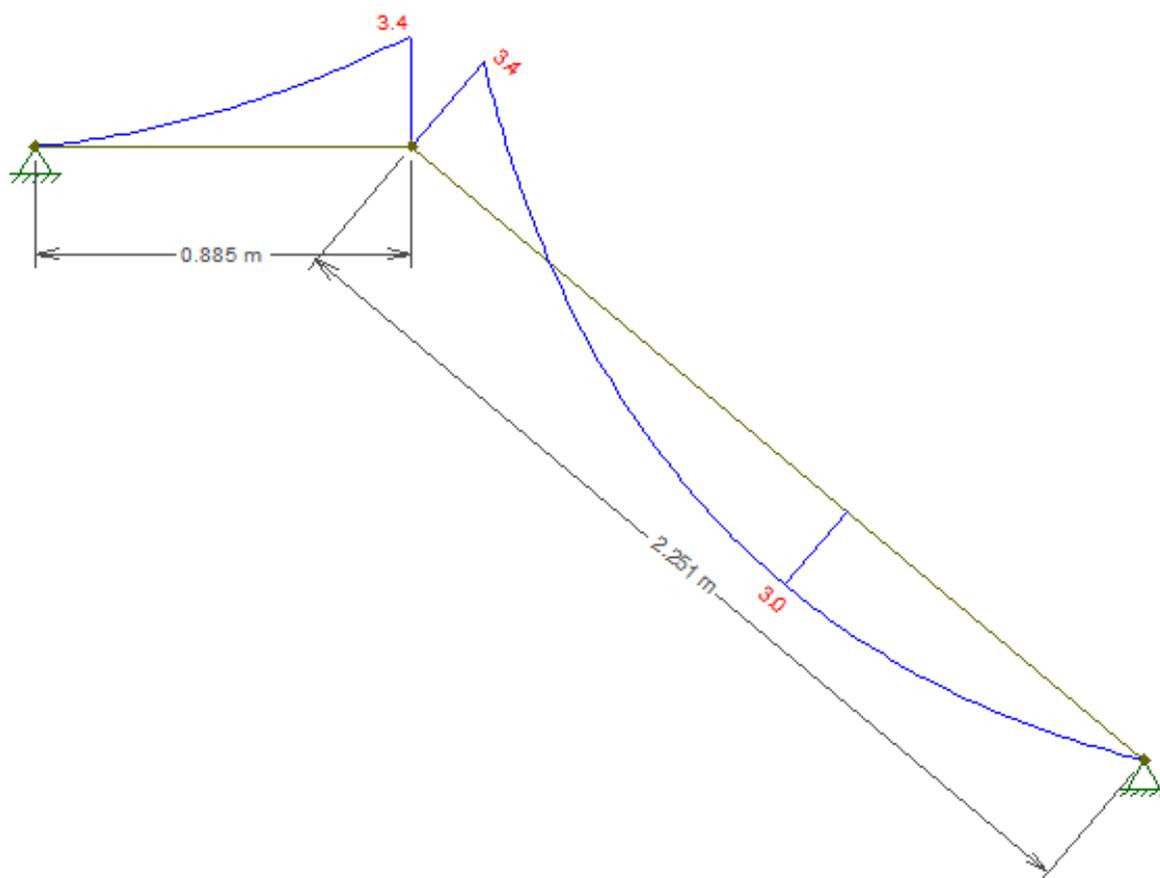
Com os valores dos parâmetros definidos e o auxílio do *software Ftool* foi possível a determinar os diagramas de cortante Figura (16), e de momento Figura (17), no patamar e no trecho inclinado.

FIGURA 16. Reações de apoio e Diagrama de cortante



Fonte: *Software Ftool* (2018)

FIGURA 17. Reações de apoio e Diagrama de momentos fletores



Fonte: Software Ftool (2018)

4.3 Apresentação dos resultados

4.3.1 Armadura principal

A Tabela (2) mostra os dados obtidos através dos cálculos referentes a armadura principal da escada, ou seja, aquela responsável por suportar os esforços de tração solicitados, apresentando a bitola máxima admissível para este caso, bem como a altura útil da laje, a área de aço calculada e o número de barras por metro quadrado do elemento estrutural. Já a Tabela (3) apresenta a nomenclatura da seção das barras, assim como a quantidade de barras por seção, a bitola estabelecida e o espaçamento entre as mesmas.

TABELA 2. Armadura principal

β_x	Φ máx. (mm)	Altura útil (cm)	As (cm ² /cm)	As mín. (cm ² /m)	(barras / m)
0,48	12,50	7,00	6,88	1,73	8,8

Fonte: Próprio autor

TABELA 3. Armadura principal

Seção	Quant. Barras	Bitola	Distribuição
N3	11	10	cada 11 cm
N4	11	10	cada 11 cm
N5	22	10	cada 11 cm

Fonte: Próprio autor

4.3.2 Armadura de distribuição

A Tabela (4), assim como apresentado no item 4.3.1, mostra os dados obtidos através dos cálculos referentes à armadura. Porém, estes resultados são relativos à armadura secundária da escada, ou seja, aquela responsável por suportar os esforços de tração solicitados, apresentando a bitola máxima admissível para este caso, bem como a altura útil da laje, a área de aço calculada e o número de barras do elemento estrutural. A Tabela (5) apresenta a nomenclatura da seção das barras, assim como a quantidade de barras por seção, a bitola estabelecida e o espaçamento entre as mesmas.

TABELA 4. Armadura secundária

Φ máx. (mm)	Altura útil (cm)	As (cm ² /cm)	n (barras / m)
12,50	7,00	1,37	4,4

Fonte: Próprio autor

TABELA 5. Armadura secundária

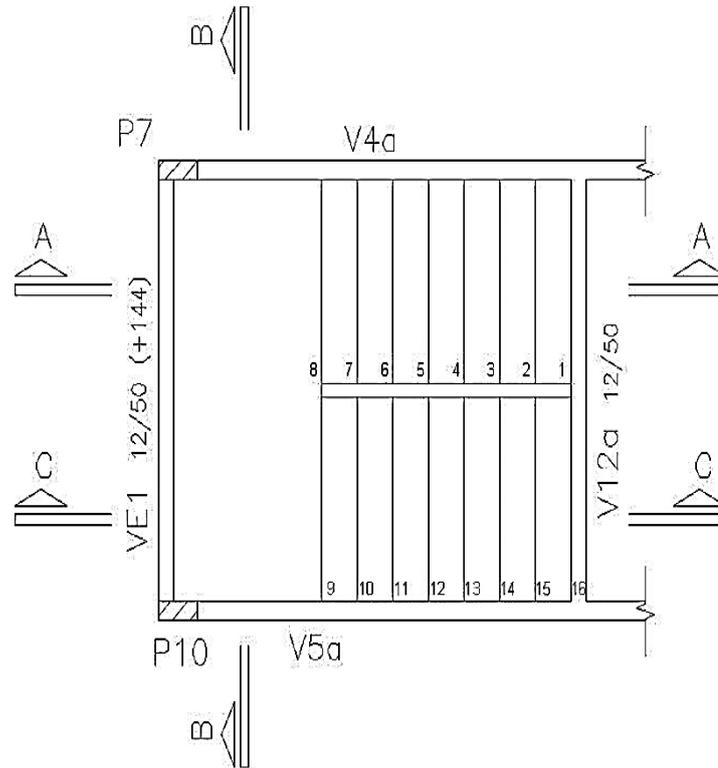
Seção	Quant. Barras	Bitola	Distribuição
N1	23	6,3	cada 22 cm
N2	10	6,3	cada 22 cm

Fonte: Próprio autor

4.4 Detalhamento das armaduras

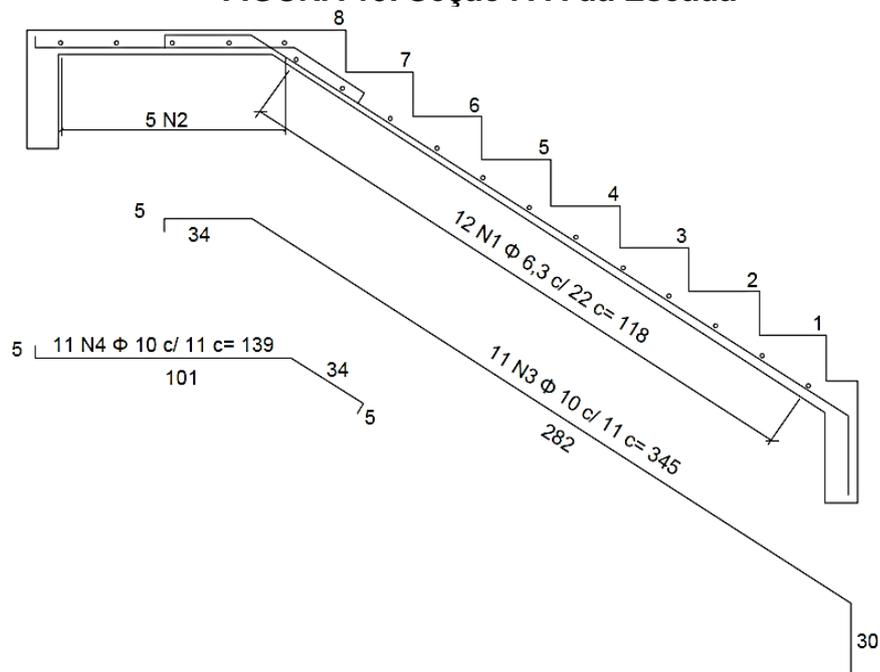
Após o dimensionamento nos itens anteriores, a disposição das armaduras está representada conforme os cortes apresentados na Figura (18) forma da escada, Figura (19) seção A-A, Figura (20) seção B-B e Figura (21) seção C-C da escada.

FIGURA 18. Forma da Escada



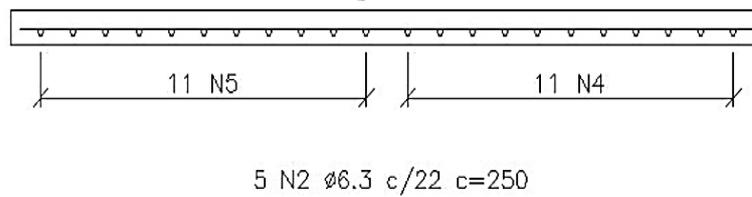
Fonte: Próprio autor

FIGURA 19. Seção A-A da Escada



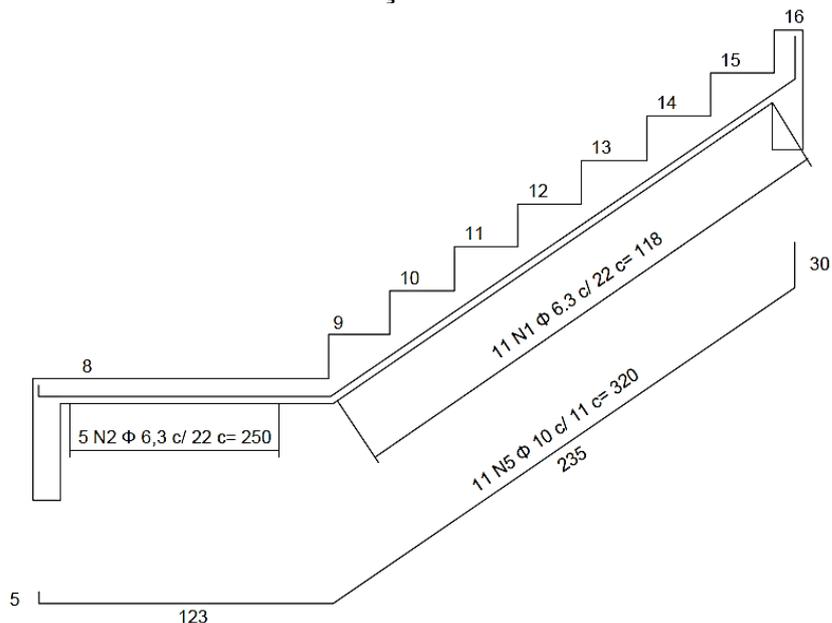
Fonte: Próprio autor

FIGURA 20. Seção B-B da Escada



Fonte: Próprio autor

FIGURA 21. Seção C-C da Escada



Fonte: Próprio autor

5 DISCUSSÃO

Como disposto no item 2.5.2 do presente trabalho, a ABNT NBR 6118:2014 relata que se deve adotar armadura dupla através do valor adequado de $\beta_{x,lim}$, em que para concretos classe I, entre 20 MPa e 50 MPa, esse valor é de 0,45. Caso obtenha-se um valor de $\beta_x > 0,45$, é necessário o cálculo da armadura de compressão (A'_s). O item 4.3.1, tabela 1, mostra que de acordo com os cálculos realizados no decorrer do trabalho, o valor encontrado para o β_x em questão, com utilização de concreto com fck de 20 MPa, foi de 0,48, portanto acima do limite determinado de 0,45, ou seja seria necessário o emprego de armadura dupla.

Todavia o emprego de armadura dupla para escadas não é necessário, pois como as cargas e os vãos são pequenos, não ocorrem grandes compressões na face superior da mesma. Em casos excepcionais, obrigatoriamente deve ser

realizado o emprego de armadura negativa quando há momento negativo, deste modo a única solução possível para tal impasse é o aumento da espessura da laje ou o aumento da resistência característica à compressão do concreto.

6 CONCLUSÃO

De forma geral, conclui-se que o dimensionamento de escadas é um trabalho detalhista, que necessita da máxima atenção do calculista e a busca frequente por atualização das normas propostas. Essa busca tem por finalidade melhorar cada vez mais os resultados, sendo possível torná-las mais adequada à necessidade e a realidade prática do projeto. O trabalho apresentado foi de extrema importância para tal assunto, pois apresenta as diretrizes para o dimensionamento correto de escadas de concreto armado, além das possíveis adversidades que possam surgir para tal finalidade, como o caso apresentado do uso da armadura de compressão.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo comparativo entre *softwares* disponíveis e o cálculo manual, com intuito de verificar a veracidade dos resultados obtidos pelos mesmos. Recomenda-se também um estudo com os custos presentes para tal dimensionamento, além do consumo de materiais necessários.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. v. 2.

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

_____. **ABNT NBR 9077: 2001**: Saída de emergência em edifícios, Rio de Janeiro, 2001.

_____. **ABNT NBR 6118: 2014**: Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

BARES, R. **Tablas para el cálculo de placas y vigas pared**. Barcelona, Gustavo Gili, 1972.

BASTOS, P. S. **Lajes de concreto**. Bauru, 2015. Apostila da disciplina 2117 – UNESP. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 19 outubro. 2018

CAMPOS FILHO, A. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Porto Alegre, 2014. Apostila da disciplina ENG 01112 – UFRGS. Disponível em <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng01112/lajes.pdf>>. Acesso em: 19 outubro. 2018.

CARVALHO, R.C; FIGUEIREDO, J.R. **Calculo e Detalhamento de Estruturas Usinais de Concreto Armado**. 3ª ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2010.

FERNANDES, G. B., **Notas de aula**, FEC-Unicamp, Campinas, 1980.

FONSECA, L. A. **Estudo de caso: dimensionamento e comparação de vigas de concreto armado utilizando classes de resistência dos grupos I e II segundo a NBR 6118:2014**. 2015. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013.

GAGETI, G. **Tipos, cálculos e detalhes de escadas de concreto armado**. 2012. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

GUERRIN, A; LAUAND, C, A; LAVAU, R, C. **Tratado de concreto armado: Estruturas de residências e indústrias** - v.3, São Paulo, 2002.

GIONGO, J. S. **Projeto de Pilares de Acordo com a NBR 6118: 2003**. Apostila. São Carlos, 2008.

LORIGGIO, D. D. **Estruturas de Concreto Armado I**. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MARTHA, L. F. **Métodos Básicos da Análise de Estruturas**. 2010.

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

MACGREGOR, J. G., **Reinforced Concrete Mechanics and Disign**, Prentice_hal, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 1997.

PINHEIRO, L. M. **Escadas**: Notas de aula. Faculdade de Ciências Tecnológicas da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 1984.

PINHEIRO, L. M. et al. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. In: _____. **Lajes maciças**: capítulo 11. Apostila - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Lajes/Lajes_Macicas_EESC.pdf>. Acesso em 15/10/2018.

_____. Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios. In: _____. **Flexão simples na ruína**: equações. Apostila - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 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.

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