



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Brenda Mara Marques

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO EM
CONCRETO ARMADO DE ESCADAS ATRAVÉS DA
UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE CYPECAD E DO CÁLCULO
MANUAL DE ACORDO COM A ABNT 6118 (2014)**

Ouro Preto

2019

Análise comparativa do dimensionamento em concreto armado de escadas através da utilização do software CYPECAD e do cálculo manual de acordo com a ABNT 6118 (2014)

Brenda Mara Marques

Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada em 04 de julho de 2019 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Anderson Santana Rocha – UFOP

Co-orientador: Eng.^o M.Sc. Gilney Afonso Gonçalves – UFOP

Ouro Preto

2019

M357a Marques, Brenda Mara.
Análise comparativa do dimensionamento em concreto armado de escadas através da utilização do software CYPECAD e do cálculo manual de acordo com a ABNT 6118 (2014) [manuscrito] / Brenda Mara Marques. - 2019.

xvii,79f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Anderson Santana Rocha.
Coorientador: Prof. MSc. Gilney Afonso Gonçalves.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Escada. 2. concreto armado. 3. projeto estrutural. 4. cálculo manual. 5. CYPECAD. I. Rocha, Paulo Anderson Santana. II. Gonçalves, Gilney Afonso. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

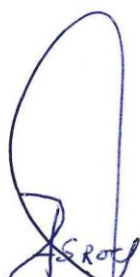
CDU: 624

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

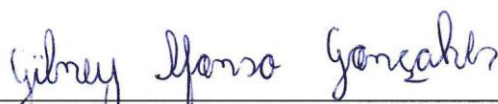
Análise comparativa do dimensionamento em concreto armado de escadas
através da utilização do software CYPECAD e do cálculo manual de acordo com a
ABNT 6118 (2014)

Brenda Mara Marques

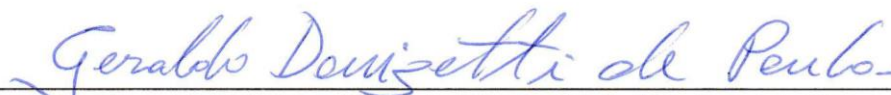
Monografia de conclusão de curso para
obtenção do grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto
defendida e aprovada em 04 de julho de
2019 como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Banca examinadora:



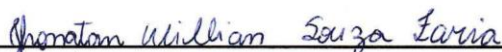
Orientador: Prof. D.Sc. Paulo Anderson Santana Rocha – UFOP



Co-orientador: Eng.º M.Sc. Gilney Afonso Gonçalves – UFOP



Membro: Prof. D.Sc. Geraldo Donizetti de Paula – UFOP



Membro: Eng.º M.Sc. Jhonatan Willian Souza Faria

*Dedico este trabalho à minha família.
Aos meus irmãos, Beatriz e Bruno, por todo
o carinho e apoio. Aos meus pais, Marlene e
Mário, por todo amor recebido e por não medirem
esforços para tornar a faculdade um sonho possível.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que estiveram envolvidos, direta ou indiretamente, no desenvolvimento deste trabalho.

Em especial, ao Professor Paulo Anderson Santana Rocha, pela dedicação, auxílio e paciência durante o período de orientação. Também ao meu co-orientador Gilney Afonso Gonçalves, pela troca de informações e sugestões, que me ajudaram a superar os desafios que surgiram na elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, Mário e Marlene, por todo amor, incentivo e por terem se dedicado ao máximo para permitir que eu chegasse até aqui. Vocês foram essenciais para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. Aos meus irmãos, Bruno e Beatriz, pelo carinho, amizade e por terem me apoiado em todos os momentos. Amo vocês.

Ao João, por ter se tornado meu melhor amigo nos últimos anos, sempre me apoiando e incentivando. Obrigada por todo amor e companheirismo.

Aos meus amigos de Barbacena, Angélica, Carlos, Paloma, Rogério e Thaís, que, apesar da distância, sempre estiveram presentes. Muito obrigada pela amizade e por sempre acreditarem em mim.

À República Loucamente, pela irmandade e pelo aprendizado proporcionado durante os últimos cinco anos. Agradeço em especial à Ana Beatriz, Bruna Simoncello, Lígia Rocha, Máira Caldena, Manuela Carvalho e Natália Barony, por fazerem meus dias mais leves e divertidos. Vocês se tornaram minha segunda família.

Aos professores da Universidade Federal de Ouro Preto, pelos ensinamentos passados. Aos membros do PET - Civil, pela parceria e por proporcionarem imenso crescimento pessoal e acadêmico. E por fim, à Fundação Gorceix, que auxiliou minha permanência na faculdade, além de oferecer grandes oportunidades de aprendizado.

RESUMO

O presente trabalho teve como intuito realizar a comparação entre métodos de dimensionamento de escadas em concreto armado, a saber: cálculo manual simplificado e cálculo através do software CYPECAD. Para tanto foram dimensionados dois modelos usuais de escadas, sendo elas: escada de um lance, armada longitudinalmente, e escada em balanço, com degraus isolados. Inicialmente, foram feitas considerações sobre o projeto arquitetônico de escadas, sendo apresentadas regras, de acordo com a norma vigente, para a definição da geometria dos degraus, largura da escada e dimensões dos patamares e corrimãos. Posteriormente, foram abordadas especificações para a definição dos carregamentos aplicados e para a realização do dimensionamento das escadas. Após expor o referencial teórico, foram apresentadas as aplicações, onde foi realizado o cálculo manual dos modelos de escadas especificados. Logo após, tem-se a apresentação do software CYPECAD, a indicação das etapas necessárias para a realização do cálculo das escadas e a exibição dos resultados obtidos. Pôde-se concluir que, no dimensionamento da escada de um lance, armada longitudinalmente, o método de cálculo manual mostrou-se dispendioso, porém mais econômico, uma vez que, apresentou taxas de armaduras menores em relação ao cálculo realizado através do CYPECAD. A utilização do software conferiu rapidez e praticidade ao processo, gerando resultados mais conservadores em relação à segurança da estrutura. Já para a escada em balanço, com degraus isolados, o cálculo manual também se mostrou dispendioso, porém mais confiável. O CYPECAD apresentou limitações no lançamento da estrutura e das cargas aplicadas, gerando resultados discrepantes dos calculados de forma manual e tornando inviável a comparação entre os métodos.

Palavras-chave: escada, concreto armado, projeto estrutural, cálculo manual, CYPECAD.

ABSTRACT

The aim of this work was to compare the methods of dimensioning of reinforced concrete stairs, namely: simplified manual calculation and calculation using CYPECAD software. In order to do so, two usual staircases were designed, which were: one flight stair, reinforced longitudinally, and cantilevered stair, with isolated steps. Initially, considerations were made about the architectural design of stairs, with rules being presented, according to the current norm, for the definition of the geometry of the steps, width of the stair and dimensions of guard height and handrails. Subsequently, specifications were addressed for the definition of the applied loads and for the realization of the design of the stair. After exposing the theoretical framework, the applications were presented, where the manual calculation of the specified stair models was performed. Soon after, there is the presentation of the CYPECAD software, the indication of the steps necessary to perform the calculation of the stairs and the display of the results obtained. It could be concluded that, in the dimensioning of the one flight stair, reinforced longitudinally, the method of manual calculation proved to be costly, but more economical, since it presented lower armature rates in relation to the calculation performed through the CYPECAD. The use of the software has given speed and practicality to the process, generating more conservative results in relation to the safety of the structure. The manual calculation was also costly, but more reliable, for the cantilevered stairs, with isolated steps. The CYPECAD presented limitations in the launch of the structure and applied loads, generating discrepant results of the calculated manually and making the comparison between methods unfeasible.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Escada de um lance, armada longitudinalmente	5
Figura 1.2 - Escada em balanço, com degraus isolados	5
Figura 1.3 - Elementos que constituem uma escada	6
Figura 2.1 - Modelo simplificado da área de influência da viga central utilizada para cálculo da armadura longitudinal de uma laje	9
Figura 2.2 - Corte longitudinal da escada, especificando a espessura média dos degraus	11
Figura 2.3 - Modelo de carregamento para cálculo da armadura longitudinal de uma escada	13
Figura 2.4 - Vão efetivo	13
Figura 2.5 - Modelo de carregamento para cálculo da armadura dos degraus. O modelo considera que a escada está totalmente carregada	16
Figura 2.6 - Modelo de carregamento para cálculo da armadura dos degraus. O modelo considera a escada descarregada	16
Figura 2.7 - Modelo de viga lateral e seus carregamentos, para o cálculo do momento fletor e esforço cortante solicitante de cálculo	17
Figura 2.8 - Diagrama de deformações e diagramas de tensões parábola-retângulo e retangular da seção transversal de uma viga	21
Figura 2.9 - Corte longitudinal da escada, especificando a altura da laje sob os degraus	21
Figura 2.10 - Domínios de estado limite último de uma seção transversal	23
Figura 2.11 - Viga com estado de fissuração próximo à ruptura	27
Figura 2.12 - Treliça análoga de Morsch para o caso de viga biapoiada armada com estribos verticais	28

Figura 3.1 - Vista superior da escada de um lance, armada longitudinalmente	36
Figura 3.2 - Vista lateral da escada de um lance, armada longitudinalmente ...	36
Figura 3.3 - Carregamento aplicado para o cálculo da armadura longitudinal da escada	38
Figura 3.4 - Vista superior da escada dimensionada, com a localização dos cortes AA e BB	43
Figura 3.5 - Corte AA: Detalhamento das armaduras longitudinais	43
Figura 3.6 - Corte BB: Detalhamento das armaduras de distribuição	44
Figura 3.7 - Vista superior da escada em balanço, com degraus isolados	45
Figura 3.8 - Vista lateral da escada em balanço, com degraus isolados	45
Figura 3.9 - Carregamento aplicado para cálculo da armadura dos degraus	47
Figura 3.10 - Carregamento aplicado para cálculo da armadura dos degraus ..	47
Figura 3.11 - Vista lateral de um degrau da escada engastada com degraus isolados	51
Figura 3.12 - Corte transversal de um degrau da escada engastada com degraus isolados	51
Figura 3.13 - Vista superior de um degrau da escada engastada com degraus isolados	52
Figura 3.14 - Carregamento aplicado na viga, para obtenção dos valores de momento fletor e esforço cortante solicitante de cálculo	53
Figura 3.15 – Detalhamento da viga lateral inclinada	62
Figura 4.1 - Esquema do desenvolvimento do projeto utilizando o software CYPECAD 2016 - Brasil	64
Figura 4.2 - Aba de seleção de normas do software CYPECAD	64

Figura 4.3 - Vista 3D da estrutura utilizada como base para a inserção da escada de um lance, armada longitudinalmente	65
Figura 4.4 - Núcleo de escadas do CYPECAD	66
Figura 4.5 - Aba de criação da tipologia da escada	67
Figura 4.6 - Quadro gerado pelo CYPECAD através do cálculo da escada	68
Figura 4.7 - Vista superior da escada	68
Figura 4.8 - Corte AA: Detalhamento das armaduras longitudinais	69
Figura 4.9 - Corte BB: Detalhamento das armaduras transversais	70
Figura 4.10 - Vista 3D da estrutura de simulação da escada e do edifício utilizado como base para a sua inserção	71
Figura 4.11 - Vista lateral de um degrau da escada engastada com degraus isolados	72
Figura 4.12 - Corte transversal de um degrau da escada engastada com degraus isolados.....	72
Figura 4.13 - Vista superior de um degrau da escada engastada com degraus isolados	73
Figura 4.14 - Detalhamento da viga lateral inclinada, obtido a partir do CYPECAD	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Diferença entre as áreas de aço obtidas a partir dos dois métodos de dimensionamento, para a escada de um lance, armada longitudinalmente74

Tabela 5.2 - Diferença entre as áreas de aço obtidas a partir dos dois métodos de dimensionamento, para os degraus da escada em balanço, com degraus isolados75

Tabela 5.3 - Diferença entre as áreas de aço obtidas a partir dos dois métodos de dimensionamento, para a viga lateral da escada em balanço, com degraus isolados75

LISTA DE SÍMBOLOS

p – largura do piso de uma escada

e – altura do espelho de uma escada

$\gamma_{\text{conc.arm.}}$ – peso específico aparente do concreto armado

$\gamma_{\text{rev.}}$ – peso específico aparente do revestimento

$\gamma_{\text{alven.}}$ – peso específico aparente da alvenaria

p_p – peso próprio do patamar

p_d – peso próprio dos degraus

p_r – peso do revestimento

p_g – peso do guarda-corpo distribuído linearmente

p'_g – peso do guarda-corpo distribuído por área

p_c – peso do corrimão

q – carga acidental distribuída por área

$q_{\text{conc.}}$ – carga acidental concentrada

g_c – carga linear do corrimão

h_p – espessura da laje na região do patamar

h_m – espessura média dos degraus

h_1 – espessura da laje da escada exatamente abaixo do espelho

$h_{\text{rev.}}$ – espessura do revestimento

c_d – comprimento da escada na região dos degraus

c_p – comprimento do patamar

c_e – comprimento total da escada

l_f – largura efetiva de uma viga

$V_{m\acute{a}x}$ – esforço cortante mximo em uma viga

V_k – esforço cortante solicitante caracterstico

M_k – momento fletor solicitante caracterstico

T_k – momento torçor solicitante caracterstico

V_{Sd} – esforço cortante solicitante de cculo

M_{Sd} – momento fletor solicitante de cculo

T_{Sd} – momento torçor solicitante de cculo

V_{Rd} – esforço cortante resistente de cculo

V_{Rd2} – esforço cortante resistente de cculo, relativo  runa das bielas comprimidas

V_{Rd3} – esforço cortante resistente de cculo, relativo  ruptura por trao diagonal.

M_{Rd} – momento fletor resistente de cculo

T_{Rd} – momento torçor resistente de cculo

T_{Rd2} – momento torçor resistente de cculo, relativo  runa das bielas comprimidas.

T_{Rd3} – momento torçor resistente de cculo, relativo  parcela resistida pelos estribos.

T_{Rd4} – momento torçor resistente de cculo, relativo  parcela resistida pela armadura longitudinal.

θ – inclinao das diagonais comprimidas do concreto

b_w – largura da seo transversal de uma viga

d – altura til da seo transversal de uma viga

d' – distncia da borda tracionada ao centro de gravidade da armadura de trao da seo transversal de uma viga

x – altura da linha neutra da seção transversal

y – altura da linha neutra convencional

z – braço de alavanca entre o ponto de aplicação da resultante das tensões normais de compressão no concreto e o ponto de aplicação da resultante das tensões normais de tração no aço

F_c – resultante das tensões normais de compressão no concreto

F_s – resultante das tensões normais de tração no aço

f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão

f_{yk} – resistência característica do aço à tração

f_{cd} – resistência de cálculo à compressão do concreto

f_{yd} – resistência de cálculo ao escoamento do aço

f_{ctd} – resistência de cálculo à tração do concreto

$f_{ctk,inf}$ – resistência característica à tração do concreto, na borda inferior

$f_{ct,m}$ – resistência média à tração do concreto

f_{ywd} – tensão na armadura transversal passiva

f_{ywk} – resistência característica ao escoamento do aço da armadura transversal

f_{bd} – resistência de aderência entre a armadura e o concreto na ancoragem de armaduras

l_b – comprimento de ancoragem

ϵ_c – deformação do concreto comprimido

ϵ_s – deformação do aço tracionado

σ_{sd} – tensão de escoamento do aço

β_x – relação entre a altura da linha neutra da seção transversal e a altura útil da seção transversal

SUMÁRIO

Agradecimentos	VI
Resumo	VII
Abstract.....	VIII
Lista de Figuras	IX
Lista de Tabelas.....	XII
Lista de Símbolos	XIII
Sumário	XVI
1 Introdução	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objetivo Geral.....	2
1.3 Objetivos Específicos	2
1.4 Metodologia	2
1.5 Revisão Bibliográfica	3
2 Especificações para o dimensionamento	7
2.1 Projeto Arquitetônico	7
2.1.1 Espelho e Piso	7
2.1.2 Largura da escada	7
2.1.3 Patamar e corrimão.....	8
2.2 Carregamentos.....	9
2.2.1 Escada de um lance, armada longitudinalmente.....	9
2.2.2 Escada em balanço, com degraus isolados.....	14

2.3	Dimensionamento	19
2.3.1	Escada de um lance, armada longitudinalmente.....	19
2.3.2	Escada em balanço, com degraus isolados	26
3	Aplicações.....	35
3.1	Escada de um lance, armada longitudinalmente	35
3.1.1	Projeto arquitetônico	35
3.1.2	Memorial de cálculo	37
3.2	Escada em balanço, com degraus isolados	44
3.2.1	Projeto Arquitetônico.....	44
3.2.2	Memorial de cálculo - Armadura dos degraus.....	45
3.2.3	Memorial de cálculo - Viga lateral	52
4	Cypecad	63
4.1	Sobre o software.....	63
4.2	Escada de um lance, armada longitudinalmente	63
4.3	Escada em balanço, com degraus isolados	70
5	Análise dos resultados	74
6	Considerações finais.....	77
7	Referências	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O cálculo manual de estruturas em concreto armado foi substituído ao longo dos anos pela utilização de softwares, visando maior rapidez e precisão na concepção de projetos. A automatização do dimensionamento teve início com a utilização de réguas de cálculo, calculadoras programáveis e computadores que levavam dias para processar os modelos mais simples (KIMURA, 2018). Atualmente, os programas computacionais criados realizam o processamento em questão de minutos.

É de extrema importância, entretanto, que o profissional de engenharia civil tenha conhecimento teórico para realizar a interpretação dos resultados obtidos e propor soluções para os possíveis problemas apontados. Assim, os softwares não podem ser utilizados em substituição ao conhecimento do engenheiro, mas sim como ferramenta para auxiliá-lo.

As escadas são elementos de circulação vertical que permitem a passagem entre diferentes planos de uma edificação. Segundo Gaget (2012), as primeiras escadas construídas tinham apenas o intuito de transposição vertical, não sendo considerados aspectos como conforto ou estética. Além disso, essas não eram dimensionadas previamente, sendo construídas apenas com base no conhecimento prático do construtor. Atualmente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT define regras obrigatórias para a concepção de um projeto através da ABNT NBR 6118 (2014) - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, ABNT NBR 9050 (2015) - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaço e equipamentos urbanos e ABNT NBR 9077 (2001) - Saídas de emergência em edifícios.

Visando atender às normas citadas, diversos tipos de escadas podem ser utilizadas em edificações. Os modelos mais frequentes são: escada de um lance, armada longitudinalmente ou transversalmente; escada em balanço, engastada em viga lateral ou com degraus isolados; escada de dois lances com um patamar intermediário ou em "L" e escada de três lances (DE ARAÚJO, 2010).

Com o propósito de aprofundar conhecimentos sobre o dimensionamento de escadas em concreto armado e mostrar a importância do conhecimento da metodologia utilizada por softwares, será realizado o cálculo de armaduras de forma manual e a partir do software CYPECAD. Para isso serão utilizados dois tipos de escadas: de um lance, armada longitudinalmente, e em balanço com degraus isolados. Por fim, será feita a comparação entre os resultados obtidos.

1.2 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo aprofundar conhecimentos sobre o dimensionamento de escadas em concreto armado, uma vez que, em uma edificação, sua presença é um item obrigatório e indispensável. Tem-se a finalidade também de aumentar o domínio sobre o software CYPECAD, amplamente utilizado em projetos e cálculos estruturais, e demonstrar a importância do conhecimento teórico para realizar a análise de seus resultados.

1.3 Objetivos Específicos

Especificamente, o objetivo desse trabalho é realizar o dimensionamento de dois tipos de escada, a saber: escada de um lance, armada longitudinalmente, e em balanço com degraus isolados. Para isso será utilizada a ABNT NBR 6118 (2014), a ABNT NBR 9050 (2015) e a ABNT NBR 9077 (2001). Além disso, o dimensionamento será realizado através do software CYPECAD, sendo efetuadas comparações entre a quantidade de aço utilizada em cada procedimento.

1.4 Metodologia

Inicialmente, será realizado um levantamento das definições e conceitos a serem especificados neste trabalho. Para isso, serão utilizados livros, normas técnicas, artigos publicados em revistas científicas (periódicos nacionais e

internacionais), congressos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e trabalhos de conclusão de curso.

Será efetuado, também, um estudo dos procedimentos de cálculo definidos para o dimensionamento de escadas em concreto armado. Em seguida, através do software AutoCAD e seguindo as especificações da ABNT NBR 9050 (2015) e da ABNT NBR 9077 (2001), será elaborado o projeto arquitetônico da escada. Assim, é possível ter uma estimativa das dimensões dos elementos para que as armaduras possam ser dimensionadas. Serão definidas, também, as cargas a serem consideradas a partir da ABNT NBR 6120 (1980) - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

Posteriormente, será realizado o dimensionamento manual através da ABNT NBR 6118 (2014) e através do programa computacional previamente definido. Será feita a comparação entre os resultados obtidos pelos dois métodos, indicando-se os possíveis motivos para as divergências apontadas. Por fim, será elaborada uma conclusão, analisando qual método se mostrou mais econômico e apontando se há diferenças quanto à segurança e praticidade.

1.5 Revisão Bibliográfica

O concreto armado é a técnica construtiva mais utilizada no Brasil. O cimento, elemento constituinte do concreto, é o material de construção mais consumido no país (SANTOS, 2008).

Esta técnica consiste na associação do concreto com o aço, que trabalham solidariamente devido à aderência da superfície das barras de aço com o concreto. Esse último apresenta elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração (apenas 1/10 de sua resistência à compressão). Assim, é necessária a utilização do aço, que resiste aos esforços de tração. No presente trabalho, o concreto armado será utilizado na concepção do dimensionamento das escadas.

Segundo Magnus e Vargas (2018), "Escadas são elementos estruturais essenciais em edifícios residenciais e comerciais que permitem acesso aos diferentes níveis da edificação."

Já Gagetí (2012) define escadas como "(...) elementos da edificação projetados e executados para que o ser humano possa se locomover de um nível a outro da edificação de forma confortável e sem que haja um grande gasto de energia."

A presença de escadas pode ser verificada desde o Antigo Império Egípcio (3200 a.C. - 2100 a.C.), devido à sua existência nas laterais das pirâmides construídas (GAGETI, 2012). Segundo Gagetí (2012), na Idade Média as escadas eram construídas apenas com a finalidade de transpor os níveis de uma edificação, não sendo pensados quesitos como conforto, segurança e rapidez na passagem. Atualmente, as escadas são projetadas em diversos formatos e dimensões, levando em consideração, além dos aspectos citados anteriormente, o espaço disponível e o fluxo de pessoas.

As escadas presentes em uma edificação podem ser consideradas apenas como cargas para o seu sistema estrutural, transmitindo esforços devido ao seu peso próprio e à passagem de pessoas. Logo, as escadas não fazem parte da estabilidade global de uma edificação, podendo ser dimensionadas individualmente.

Os dois tipos de escadas salientados neste trabalho são: escada de um lance, armada longitudinalmente, apresentada na Figura 1.1 e escada em balanço com degraus isolados, apresentada na Figura 1.2.

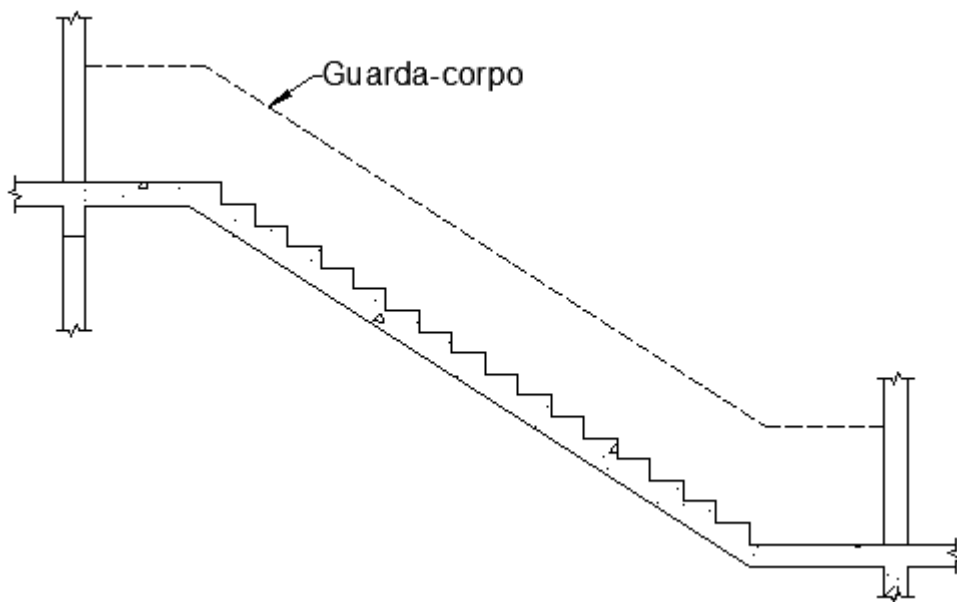


Figura 1.1 - Escada de um lance, armada longitudinalmente (Fonte: autor).

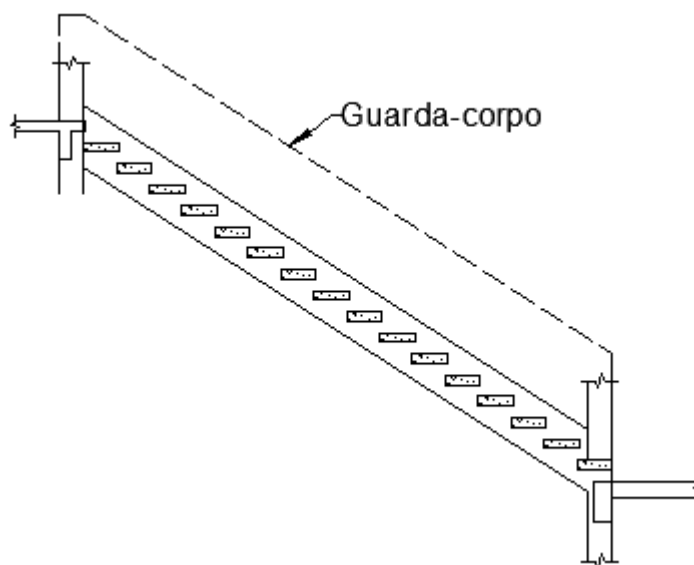


Figura 1.2 - Escada em balanço, com degraus isolados (Fonte: autor).

Os principais elementos que compõem uma escada são os lances, patamares, degraus, constituídos pelos pisos e espelhos, além do guarda-corpo e corrimão. Esses estão representados na Figura 1.3.

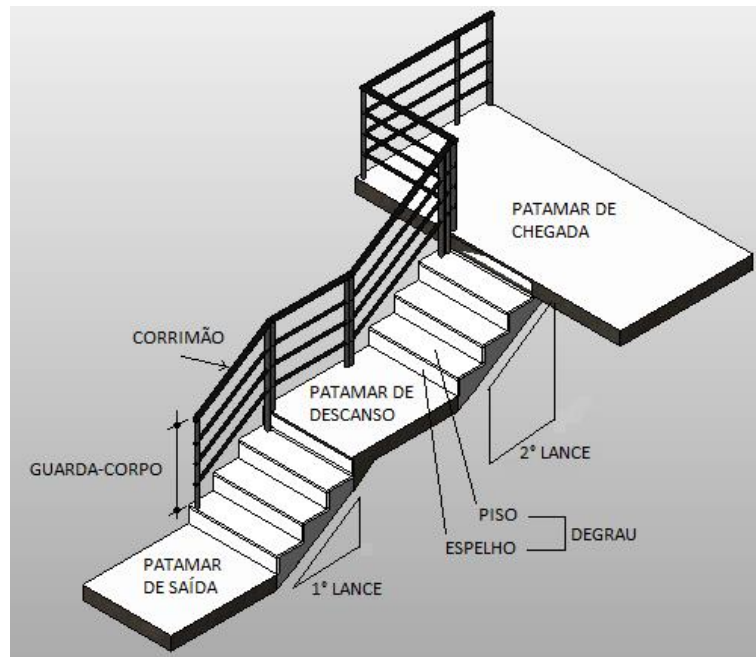


Figura 1.3 - Elementos que constituem uma escada. (Fonte: autor).

A ABNT NBR 9050 (2015) define escada como uma sequência de três ou mais degraus. Os degraus são descritos pela ABNT NBR 9077 (2001), como um "Conjunto de dois elementos, horizontal e vertical, de uma escada: o piso, isto é, o degrau propriamente dito, e o espelho."

Um conjunto de degraus, sem interrupção, é chamado de lance de escada (QUEVEDO, 2011). Segundo Guerrin (1990), uma superfície horizontal entre dois lances de escada é chamada patamar ou patamar de descanso. Ainda de acordo com o mesmo autor "A cada andar a escada chega a um patamar de chegada, que é ao mesmo tempo patamar de saída do andar superior (...)" (GUERRIN, 1990).

Guarda-corpo é uma barreira vertical que delimita as laterais das escadas, servindo como proteção para seus usuários ao evitar quedas de um andar para outro (ABNT NBR 9077, 2001). Já corrimão é definido como uma peça com superfície lisa, arredondada e contínua, localizada junto às paredes ou guarda-corpos das escadas para que seus usuários possam se apoiar ao se deslocar (ABNT NBR 9077, 2001).

2 ESPECIFICAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO

2.1 Projeto Arquitetônico

A elaboração do projeto arquitetônico é a primeira etapa para a concepção do projeto de uma escada. Com o objetivo de promover segurança e conforto, a ABNT NBR 9077 (2001) e a ABNT NBR 9050 (2015) realizam especificações quanto às dimensões dos elementos que as constituem. As condições utilizadas no presente trabalho estão relacionadas nos tópicos a seguir.

2.1.1 Espelho e Piso

A ABNT NBR 9050 (2015) determina que as dimensões dos pisos e espelhos de uma escada devem ser constantes durante toda a sua extensão e devem atender as condições (2.1), (2.2) e (2.3).

$$0,28 \text{ m} \leq p \leq 0,32 \text{ m} \quad (2.1)$$

$$0,16 \text{ m} \leq e \leq 0,18 \text{ m} \quad (2.2)$$

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

Em que:

p é a largura do piso (m);

e é a altura do espelho (m).

2.1.2 Largura da escada

A ABNT NBR 9077 (2001) estabelece as diretrizes para o cálculo da largura mínima de escadas. Para isso, são determinados os seguintes conceitos:

- População: é o número de pessoas para as quais é projetada uma edificação ou parte dela.
- Unidade de passagem: é a largura mínima para a passagem de uma fila de pessoas, fixada em 0,55 m.

- Capacidade da unidade de passagem: é o número de pessoas que passa pela unidade de passagem em 1 minuto.

A equação (2.4) é utilizada para realizar o dimensionamento da largura mínima de escadas.

$$N = \frac{P}{C} \quad (2.4)$$

Em que:

N é o número de unidades de passagem, arredondado para um número inteiro;

P é a população, conforme coeficiente dado pela ABNT NBR 9077 (2001);

C é a capacidade da unidade de passagem, conforme coeficiente dado pela ABNT NBR 9077 (2001).

O valor de área utilizado para o cálculo de P é obtido em função do pavimento de maior população (ABNT NBR 9077, 2001). Após a obtenção do número de unidades de passagem, a largura mínima da escada é dada multiplicando-se o valor obtido por 0,55 m.

A ABNT NBR 9077 (2001) estabelece que a largura mínima para escadas é de 1,10 m, correspondente a duas unidades de passagem. A ABNT NBR 9050 (2015) determina, entretanto, uma largura mínima de 1,20 m para escadas em rotas acessíveis, que são aquelas que conectam os espaços internos e externos de uma edificação.

2.1.3 Patamar e corrimão

A ABNT NBR 9050 (2015) determina que deve haver pelo menos um patamar a cada 3,20 m de desnível ou quando houver mudança de direção na escada, sendo

o comprimento mínimo para os patamares de 1,20 m. A ABNT NBR 9077 (2001) estabelece que o cálculo do comprimento dos patamares é dado pela equação (2.5).

$$c_p = (2e + p)n + p \quad (2.5)$$

Em que:

n é um número inteiro (1, 2 ou 3).

De acordo com a ABNT NBR 9050 (2015), os corrimãos devem ser acoplados aos guarda-corpos, paredes ou barras de suporte, em ambos os lados da escada. Esses devem ser instalados a 0,92 m e a 0,70 m de altura, medidos do ponto central do piso até a sua face superior (ABNT NBR 9050, 2015). Os corrimãos devem prolongar-se, no mínimo, por 0,30 m nas extremidades das escadas (ABNT NBR 9050, 2015).

2.2 Carregamentos

2.2.1 Escada de um lance, armada longitudinalmente

A escada salientada neste tópico deve ser dimensionada considerando-a como uma laje inclinada apoiada em vigas laterais. Para realizar o cálculo da armadura longitudinal dessa laje, podemos considerar uma viga central, cuja área de influência está representada na Figura 2.1.

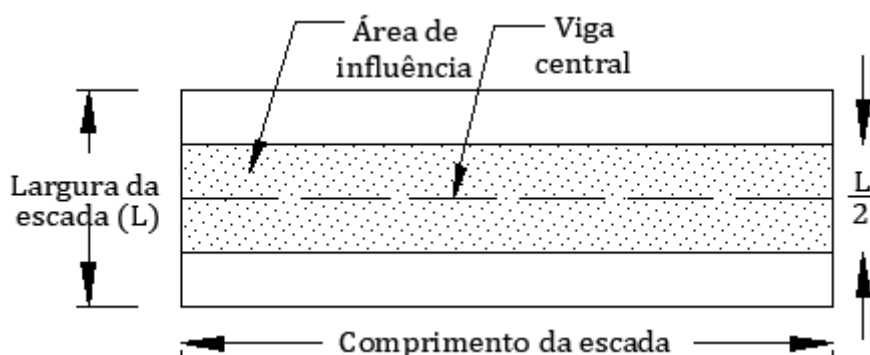


Figura 2.1 - Modelo simplificado da área de influência da viga central utilizada para cálculo da armadura longitudinal de uma laje (Fonte: autor).

Os carregamentos aplicados na área de influência podem ser classificados como permanentes e acidentais. As cargas permanentes incluem o peso próprio da escada, o peso do revestimento e o peso do guarda-corpo. Já a carga acidental considera o fluxo de pessoas que utilizam a escada, sendo obtida através da ABNT NBR 6120 (1980).

- Peso próprio

O peso próprio de uma escada é definido como uma carga vertical distribuída por m^2 de sua projeção horizontal, tanto sobre os degraus como sobre o patamar. Para a região do patamar, o peso próprio é dado pela equação (2.6).

$$p_p = \gamma_{conc.arm.} h_p \quad (2.6)$$

Em que:

$\gamma_{conc.arm.}$ é o peso específico aparente do concreto armado (kN/m^3);

h_p é a espessura da laje na região do patamar (m).

Para o cálculo do peso próprio na região dos degraus é necessário, primeiramente, determinar a espessura média dos degraus. Como exibido na Figura 2.2, tem-se que a espessura média é dada pela equação (2.7).

$$h_m = h_1 + \frac{e}{2} \quad (2.7)$$

Em que:

h_1 é a espessura da laje exatamente abaixo da região do espelho.

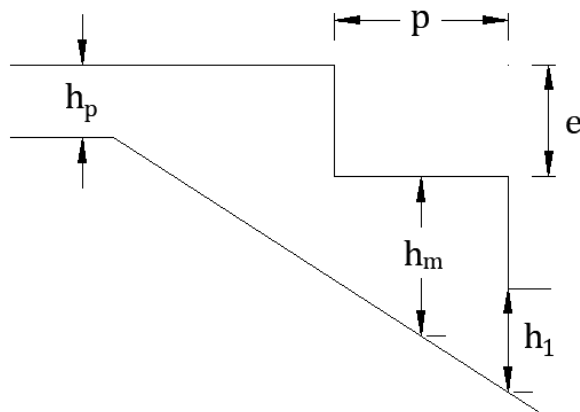


Figura 2.2 - Corte longitudinal da escada, especificando a espessura média dos degraus (Fonte: autor).

Logo, o peso próprio na região dos degraus é dado pela equação (2.8).

$$p_d = \gamma_{\text{conc.arm.}} h_m \quad (2.8)$$

- Peso do revestimento

O peso do revestimento de uma escada também é definido como uma carga vertical distribuída por m^2 de projeção horizontal e é dada pela equação (2.9):

$$p_r = \gamma_{\text{rev.}} h_r \quad (2.9)$$

Em que:

$\gamma_{\text{rev.}}$ é o peso específico aparente do revestimento (kN/m^3);

h_r é a espessura do revestimento da escada (m).

- Peso do guarda-corpo

Em uma escada em balanço, engastada em viga lateral, o peso do guarda-corpo pode ser considerado como uma carga linear distribuída ao longo da extremidade em balanço. Considerando guarda-corpo em alvenaria, o peso é dado pela equação (2.10).

$$p_g = \gamma_{\text{alv.}} t H \quad (2.10)$$

Em que:

$\gamma_{alv.}$ é o peso específico aparente da alvenaria de tijolos furados (kN/m^3);

t é a espessura do guarda-corpo (m);

H é a altura do guarda-corpo (m).

Para realizar o cálculo da armadura longitudinal da escada é necessário, entretanto, distribuir o peso do guarda-corpo ao longo da sua área. Logo, tem-se que o valor utilizado é dado pela equação (2.11).

$$p'_g = \frac{p_g}{L} \quad (2.11)$$

Em que:

L é a largura da escada, considerando a espessura do guarda-corpo (m).

- Carregamento total

A carga total aplicada na região do patamar e na região dos degraus é dada, respectivamente, pelas equações (2.12) e (2.13).

$$p_p^T = \frac{p_p + p_r + p'_g + q}{2} \quad (2.12)$$

$$p_d^T = \frac{p_d + p_r + p'_g + q}{2} \quad (2.13)$$

Em que:

q é a carga acidental (kN/m^2).

Assim, obtém-se o modelo de carregamento apresentado na Figura 2.3. Na figura, c_d é o comprimento na região dos degraus, c_p é o comprimento do patamar e c_e é o comprimento da escada

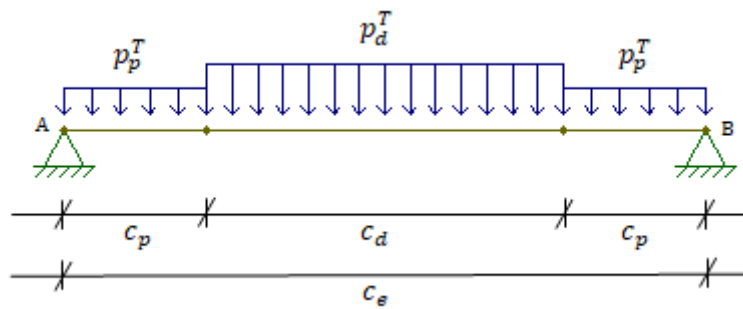


Figura 2.3 - Modelo de carregamento para cálculo da armadura longitudinal de uma escada. (Fonte: autor).

O comprimento do patamar (c_p) deve ser calculado a partir da largura efetiva (l_f) de uma viga, dada pela equação (2.14).

$$l_f = l_o + a_1 + a_2 \quad (2.14)$$

Em que l_o é o comprimento real da viga, a_1 é o menor valor entre $t_1/2$ e $0,3h$ e a_2 é o menor valor entre $t_2/2$ e $0,3h$, de acordo com a Figura 2.4.

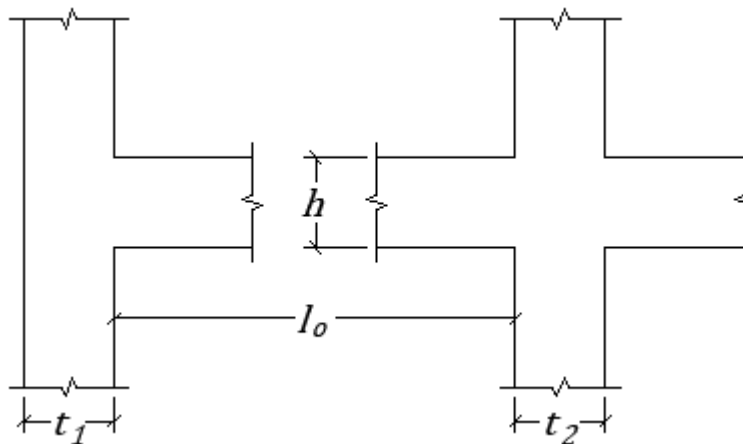


Figura 2.4 - Vão efetivo (Fonte: autor).

Em uma viga biapoiada com carregamento simétrico o cortante máximo ocorre nos apoios e é dado pelo valor das reações de apoio. A equação (2.15) indica o cortante máximo para o modelo apresentado.

$$V_{\text{máx}} = V_A = V_B = p_p^T c_p + \frac{p_d^T c_d}{2} \quad (2.15)$$

Já o momento fletor máximo, para essa mesma viga, ocorre em seu centro e deve ser calculado considerando o somatório de momento nesta seção, à direita ou à esquerda, igual a zero. O valor de momento calculado deve ser majorado de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), obtendo-se o valor do momento solicitante de cálculo na seção (M_{Sd}).

2.2.2 Escada em balanço, com degraus isolados

O dimensionamento de uma escada em balanço, com degraus isolados, deve ser realizado considerando vigas em balanço, engastadas em uma viga lateral inclinada. O cálculo das armaduras dos degraus deve ocorrer, portanto, a partir de uma viga engastada livre, com carregamento conforme demonstrado no tópico 2.2.2.1 a seguir. Já o cálculo das armaduras da viga lateral deve ser realizado a partir de uma viga inclinada biapoiada, com carregamento de acordo com o tópico 2.2.2.2.

2.2.2.1 Armadura dos degraus

O cálculo da armadura dos degraus deve ser realizado a partir de dois estados de carregamento. A primeira situação considera o degrau totalmente carregado. Nessa, a carga distribuída aplicada inclui o peso próprio do degrau, o peso do revestimento e o valor de carregamento acidental para escadas, dada pela ABNT NBR 6120 (1980). A carga concentrada é dada pelo peso do corrimão na extremidade do balanço.

A segunda situação considera o degrau descarregado. Nessa, a carga distribuída inclui apenas o peso próprio do degrau e o peso do revestimento. Já a carga concentrada, na extremidade do balanço, é dada pelo somatório do peso do corrimão e o valor de carregamento acidental para escadas com degraus isolados, determinada na ABNT NBR 6120 (1980).

O cálculo do peso próprio dos degraus e do peso do revestimento deve ser realizado similarmente ao demonstrado no tópico 2.2.1. Para o cálculo do peso

próprio na região dos degraus, entretanto, não é necessário realizar o cálculo da espessura média dos degraus, uma vez que, essa é constante durante toda a extensão da escada. O peso do corrimão e o carregamento total devem ser obtidos conforme demonstrado a seguir.

- Peso do corrimão

A determinação do peso do corrimão deve ser realizada considerando-o como uma carga concentrada na extremidade em balanço do degrau. Esse pode ser obtido pela equação (2.16).

$$p_c = g_c p \quad (2.16)$$

Em que:

g_c é carga linear do corrimão, aplicada na extremidade em balanço dos degraus, ao longo de todo o comprimento da escada (kN/m);

p é a largura do piso da escada (m).

- Carregamento total

O carregamento total para ambos os estados de carregamento é composto por uma carga uniformemente distribuída e uma carga concentrada na extremidade em balanço do degrau. Para o caso da escada totalmente carregada, a carga concentrada é dada pelo peso do corrimão e a carga distribuída é dada pela equação (2.17).

$$p_{\text{carreg.}}^d = (p_d + p_r + q)p \quad (2.17)$$

Em que:

q é a carga acidental (kN/m²);

p é a largura do piso da escada (m).

O modelo de carregamento para o primeiro estado é dado pela Figura 2.5.

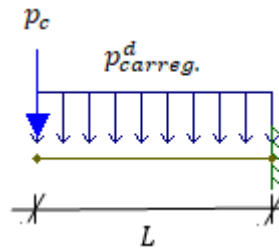


Figura 2.5 - Modelo de carregamento para cálculo da armadura dos degraus. O modelo considera que a escada está totalmente carregada (Fonte: autor).

A largura (L) pode ser calculada a partir da largura efetiva, dada pela equação (2.14).

Considerando a escada descarregada, o carregamento distribuído total é dado pela equação (2.18).

$$p_{\text{descarreg.}}^d = (p_d + p_r)p \quad (2.18)$$

Já o carregamento concentrado é dado pela equação (2.19).

$$p_{\text{descarreg.}}^c = p_c + q_{\text{conc.}} \quad (2.19)$$

Em que:

$q_{\text{conc.}}$ é a carga acidental concentrada (kN).

Logo, o modelo de carregamento é dado pela Figura 2.6.

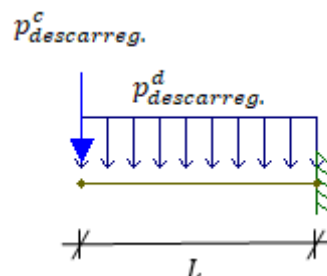


Figura 2.6 - Modelo de carregamento para cálculo da armadura dos degraus. O modelo considera a escada descarregada (Fonte: autor).

O estado de carregamento utilizado no dimensionamento deve ser aquele que provocar o maior momento fletor no engaste ($M_k^{engaste}$). O valor de momento obtido deve ser majorado de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), obtendo-se o valor do momento solicitante de cálculo na seção (M_{Sd}).

2.2.2.2 Viga lateral

O dimensionamento da viga lateral inclinada deve ser realizado a partir dos esforços solicitantes gerados pelo carregamento dos degraus. São eles: esforço cortante, momento fletor e momento torçor. Para a obtenção dos valores de cálculo do esforço cortante e momento fletor deve ser considerado um carregamento uniformemente distribuído na viga. Para a escada totalmente carregada, o valor desse carregamento é dado pela equação (2.20).

$$g_{\text{carreg.}} = p_c + p_{\text{carreg.}}^d \cdot L \quad (2.20)$$

Já para a escada descarregada, o carregamento é dado pela equação (2.21).

$$g_{\text{descarreg.}} = p_{\text{descarreg.}}^c + p_{\text{descarreg.}}^d \cdot L \quad (2.21)$$

A Figura 2.7 apresenta o modelo de carregamento utilizado para a obtenção do momento fletor e esforço cortante solicitante de cálculo.

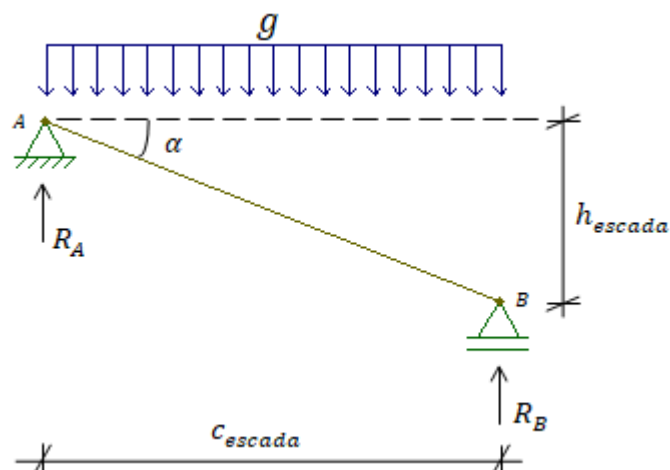


Figura 2.7 - Modelo de viga lateral e seus carregamentos, para o cálculo do momento fletor e esforço cortante solicitante de cálculo (Fonte: autor).

A inclinação (α) da viga lateral pode ser obtida a partir da equação (2.22).

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h_{escada}}{c_{escada}}\right) \quad (2.22)$$

O valor das reações (R_A, R_B) nos apoios é dado pela equação (2.23).

$$R_A = R_B = \frac{g c_{escada}}{2} \quad (2.23)$$

O comprimento da escada (c_{escada}) deve ser calculado similarmente ao cálculo da largura efetiva, dado pela equação (2.14).

O cálculo do esforço cortante e do momento fletor característico pode ser realizado a partir das equações (2.24) e (2.25), respectivamente.

$$V_k = R_{A=B} \cos(\alpha) \quad (2.24)$$

$$M_k = R_{A=B} \frac{c_{escada}}{2} - q \frac{c_{escada}^2}{8} \quad (2.25)$$

Os valores característicos devem ser majorados de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), obtendo-se o valor do cortante solicitante de cálculo (V_{Sd}) e do momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}).

O momento fletor no engaste dos degraus é responsável pelo surgimento de esforços de torção na viga lateral. O carregamento utilizado para o cálculo da torção solicitante de cálculo é dado, então, pelo valor do momento fletor solicitante característico obtido durante o dimensionamento da armadura dos degraus. Logo, o carregamento e o momento torçor de cálculo são dados pelas equações (2.26) e (2.27), respectivamente.

$$g = M_k^{\text{engaste}} \quad (2.26)$$

$$T_k = R'_{A=B} \cos(\alpha) \quad (2.27)$$

Em que:

R'_{AEB} é o valor das reações nos apoios, obtidas a partir do carregamento apresentado na equação 2.26.

O valor do momento torçor característico deve ser majorado de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), obtendo-se o valor do momento torçor solicitante de cálculo (T_{Sd}).

2.3 Dimensionamento

2.3.1 Escada de um lance, armada longitudinalmente

A ABNT NBR 6118 (2014), determina que "O dimensionamento de armaduras longitudinais deve conduzir a um conjunto de esforços resistentes (N_{Rd} , M_{Rd}), que constituam envoltória dos esforços solicitantes (N_{Sd} , M_{Sd}) determinados na análise estrutural." No caso de escadas, entretanto, podemos desconsiderar os esforços normais citados, uma vez que, são muito pequenos, e realizar o dimensionamento considerando apenas a flexão simples (DE ARAÚJO, 2010).

Na realização do cálculo da armadura longitudinal da escada, será considerada a utilização de concreto com resistência à compressão característica (f_{ck}) igual a 20 MPa. Além disso, será utilizada armadura simples com aço CA-50.

Para realizar o dimensionamento, é necessário apresentar alguns conceitos e definições empregados na ABNT NBR 6118 (2014). São eles:

- h = altura da seção transversal.
- b_w = largura da seção transversal.
- d = altura útil da seção transversal. É dada pela distância entre a borda mais comprimida de concreto e o centro de gravidade da armadura de tração.
- d' = é a distância entre a borda mais tracionada do concreto e o centro de gravidade da armadura de tração.

- x = altura da linha neutra da seção transversal. É dada pela distância entre a borda mais comprimida do concreto e o ponto de tensões e deformações nulas.
- y = altura da linha neutra convencional. É dada pela altura do diagrama retangular de tensão-deformação da seção transversal. Para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa, o valor dessa altura é dado por $y = 0,8 x$.
- z = braço de alavanca. É dado pela distância entre o ponto de aplicação da resultante das tensões normais de compressão no concreto (F_c) até o ponto de aplicação da resultante das tensões normais de tração no aço (F_s).
- f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão.
- f_{yk} = resistência característica do aço à tração.
- f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto. Para combinação normal no estado limite último, é dada por $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$.
- f_{yd} = resistência de cálculo ao escoamento do aço. Para combinação normal no estado limite último, é dada por $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$.
- ϵ_c = deformação do concreto comprimido.
- ϵ_s = deformação do aço tracionado.
- σ_{sd} = tensão de escoamento do aço.

A distribuição de tensões no concreto é feita de acordo com um diagrama parábola-retângulo, com tensão máxima igual a $0,85f_{cd}$. Esse diagrama pode ser substituído por um diagrama retangular com mesma tensão máxima e altura $y = 0,8 x$ (ABNT NBR 6118, 2014).

Na Figura 2.8 estão representados os conceitos citados anteriormente, além dos diagramas de deformações e tensões parábola-retângulo e retangular da seção transversal de uma viga.

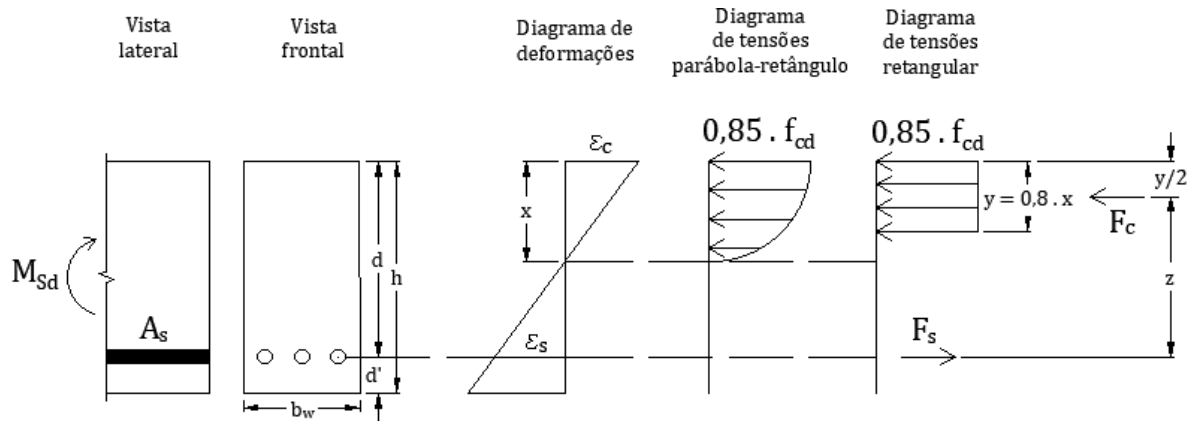


Figura 2.8 - Diagrama de deformações e diagramas de tensões parábola-retângulo e retangular da seção transversal de uma viga (Fonte: adaptado de CARVALHO E FILHO, 2007).

O primeiro passo para realizar o dimensionamento, consiste em obter o valor da altura h da viga, perpendicularmente ao eixo da escada. Essa altura, dada na Figura 2.9, é obtida a partir das equações (2.28) e (2.29).

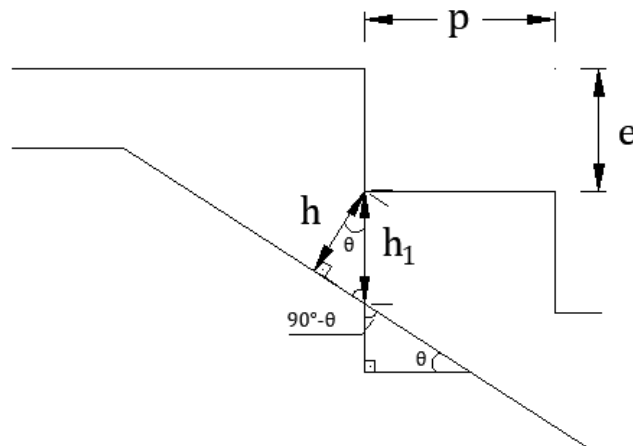


Figura 2.9 - Corte longitudinal da escada, especificando a altura da laje sob os degraus (Fonte: autor).

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{e}{p} \quad (2.28)$$

$$h = h_1 \cos(\theta) \quad (2.29)$$

Já a altura útil da viga (d) é dada pela equação (2.30).

$$d = h - d' \quad (2.30)$$

O valor de d' é determinado pelo somatório do cobrimento da viga, o diâmetro da armadura transversal e o raio da armadura longitudinal. O cobrimento mínimo da viga pode ser obtido pela ABNT NBR 6118 (2014), de acordo com a classe de agressividade do ambiente.

O dimensionamento na flexão simples deve ser realizado considerando que o momento fletor solicitante de cálculo não supere a resistência de cálculo da seção, dada pela equação (2.31). Para tanto, deve-se considerar o estado limite último de ruína da seção transversal, que determina que a ruína pode ocorrer por ruptura do concreto comprimido ou pela deformação excessiva da armadura tracionada.

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b y z \quad (2.31)$$

Substituindo $y = 0,8 x$ e $z = d - \frac{y}{2} = d - 0,4 x$, obtém-se a equação (2.32).

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b 0,8 x (d - 0,4x) \quad (2.32)$$

Chamando de β_x a relação entre a altura da linha neutra da seção transversal (x) e a sua altura útil (d), pode-se escrever a equação (2.33) para a obtenção do momento fletor resistente de cálculo.

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b 0,8 \beta_x d^2 (1 - 0,4\beta_x) \quad (2.33)$$

O valor de β_x é determinado pela ABNT NBR 6118 (2014), de acordo com os domínios de deformação da seção transversal. Esses domínios, apresentados na Figura 2.10, representam as diversas possibilidades de ruína da seção transversal.

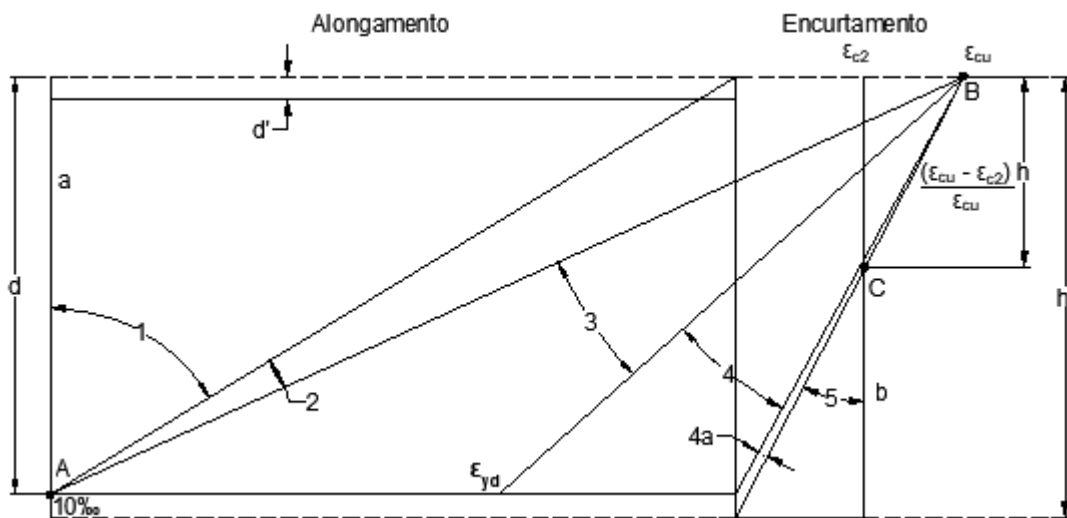


Figura 2.10 - Domínios de estado limite último de uma seção transversal (Fonte: adaptado da ABNT NBR 6118, 2014).

Para concreto com $f_{ck} \leq 50$ MPa, tem-se que os valores limites de β_x para cada domínio são:

- Domínio 2: $0 < \beta_x < 0,2593$
- Domínio 3: $0,2593 < \beta_x < 0,6284$
- Domínio 4: $0,6284 < \beta_x < 1$

Quando o dimensionamento é realizado no domínio 2 ou 3, pode-se considerar $\sigma_{sd} = f_{yd}$. Caso contrário é necessário calcular o valor de σ_{sd} de acordo com o diagrama tensão-deformação do aço.

O cálculo da área de aço necessária é realizado a partir da equação (2.34).

$$M_{Rd} = F_s z \quad (2.34)$$

A força resultante de tração na armadura (F_s) é dada pelo produto entre a tensão de escoamento do aço (σ_{sd}) e a área de aço (A_s). Assim, chega-se à equação (2.35) para o cálculo da área de aço na seção transversal.

$$M_{Rd} = \sigma_{sd} A_s (d - 0,4\beta_x d) \quad (2.35)$$

A partir da área de aço obtida é possível calcular a quantidade de barras necessárias e o espaçamento entre elas. A ABNT NBR 6118 (2014) define uma área mínima de aço para armaduras longitudinais, correspondente a 0,15% da área de concreto.

Para determinar se a laje deve ser armada em ambas as direções, é necessário, verificar as condições (2.36) e (2.37).

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2 \text{ para laje armada em duas direções.} \quad (2.36)$$

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2 \text{ para laje armada em uma direção.} \quad (2.37)$$

Em que:

l_y é o comprimento na direção de maior vão;

l_x é o comprimento na direção de menor vão.

Caso seja determinado que a laje deve conter armadura em duas direções, é necessário realizar a verificação quanto aos esforços de flexão para ambas as direções. Caso contrário, deve ser realizado o cálculo da armadura de distribuição. Pela ABNT NBR 6118 (2014), tem-se que "Para controlar a fissuração, deve ser prevista armadura positiva adicional, independente da armadura principal de flexão, em malha uniformemente distribuída em duas direções para 20% dos esforços totais."

Os valores mínimos para a armadura de distribuição são dados então, segundo a norma citada, pelas condições (2.38) e (2.39).

$$\frac{A_s}{s} \geq 20\% \text{ da armadura principal} \quad (2.38)$$

$$\frac{A_s}{s} \geq 0,9 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad (2.39)$$

Pela ABNT NBR 6118 (2014), a resistência de aderência entre a armadura e o concreto na ancoragem de armaduras é dada pela equação (2.40).

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} \quad (2.40)$$

Em que:

$\eta_1 = 1,0$ para barras lisas;

$\eta_1 = 1,4$ para barras entalhadas;

$\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas;

$\eta_2 = 1,0$ para situações de boa aderência;

$\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência;

$\eta_3 = 1,0$ para $\phi < 32$ mm, onde ϕ é o diâmetro da barra, expresso em mm;

$\eta_3 = \frac{132 - \phi}{100}$ para $\phi \geq 32$ mm, onde ϕ é o diâmetro da barra, expresso em mm;

f_{ctd} = resistência de cálculo à tração do concreto (kN/m²). É dada pela equação (2.41).

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,7 f_{ct,m}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\gamma_c} \quad (2.41)$$

Em que:

$f_{ctk,inf}$ = resistência característica à tração do concreto, na borda inferior;

$f_{ct,m}$ = resistência média à tração do concreto;

$\gamma_c = 1,4$ para combinação normal no estado limite último.

O comprimento de ancoragem pode ser obtido, então, pela equação (2.42), dada pela ABNT NBR 6118 (2014).

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \quad (2.42)$$

2.3.2 Escada em balanço, com degraus isolados

O cálculo das armaduras de uma escada em balanço, com degraus isolados, deve ser realizado para que tanto os degraus, quanto a viga lateral, resistam aos esforços solicitantes. No caso dos degraus é necessário realizar o dimensionamento quanto aos esforços de flexão. Já para a viga lateral, o dimensionamento é realizado considerando o esforço cortante, momento fletor e momento torçor.

O dimensionamento dos degraus e da viga lateral, para resistir aos esforços de flexão, deve ser realizado conforme os procedimentos determinados no tópico 2.3.1. Já o dimensionamento da viga lateral para resistir ao esforço cortante e momento torçor, deve ser realizado a partir dos procedimentos apresentados nos tópicos a seguir.

2.3.2.1 Dimensionamento ao esforço cortante

A ABNT NBR 6118 (2014) descreve os procedimentos necessários para realizar o dimensionamento da armadura transversal em vigas. Para isso, é tomada como base a teoria da treliça de Morsch, que propõe uma analogia entre os mecanismos resistentes da viga e uma treliça (CARVALHO e FILHO, 2007). Criada por W. Ritter e E. Morsch, essa teoria determina a armadura de cisalhamento em uma viga de concreto armado, considerando que as armaduras e o concreto realizam, conjuntamente, o equilíbrio do esforço cortante (CARVALHO e FILHO, 2007).

Para realizar a criação do modelo de treliça, Morsch considerou uma viga biapoiada de concreto armado, com estado de fissuração próximo à ruptura, como dado na Figura 2.11 (CARVALHO e FILHO, 2007). De acordo com Carvalho e Filho (2007), nesse estado de fissuração, a viga apresenta fissuras inclinadas na região onde o cisalhamento é predominante e, entre elas, concreto comprimido (bielas comprimidas).

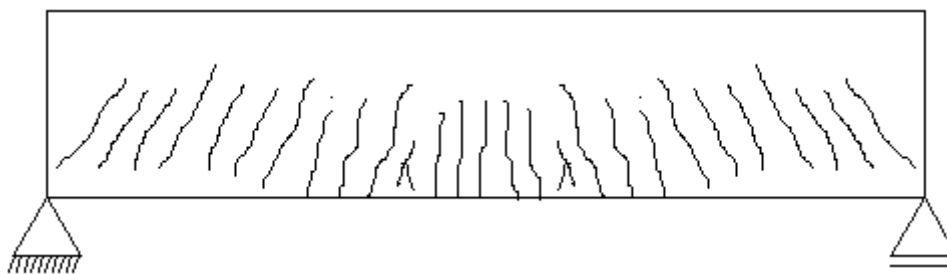


Figura 2.11 - Viga com estado de fissuração próximo à ruptura (Fonte: autor).

A Figura 2.12 apresenta a treliça análoga de Morsch, com a representação dos elementos resistentes de uma viga. Carvalho e Filho (2007) apresenta as seguintes definições dos elementos constituintes da treliça:

- Banzo superior comprimido: representa a região comprimida do concreto, acima da linha neutra.
- Banzo inferior tracionado: representa as barras da armadura longitudinal de tração.
- Montantes ou diagonais tracionadas: representa a armadura transversal da viga, que cruza certa fissura. Podem ser constituídos por estribos, que apresentam inclinação $\alpha = 90^\circ$, ou barras inclinadas, que apresentam inclinação $\alpha = 45^\circ$.
- Diagonais comprimidas: representa a região entre fissuras, constituída por concreto comprimido (bielas comprimidas). No modelo clássico de treliça de Morsch, as diagonais têm inclinação $\theta = 45^\circ$ em relação ao eixo da peça. Entretanto, com o desenvolvimento de pesquisas experimentais, verificou-se que essa inclinação é menor que 45° , resultando na chamada treliça generalizada de Morsch.

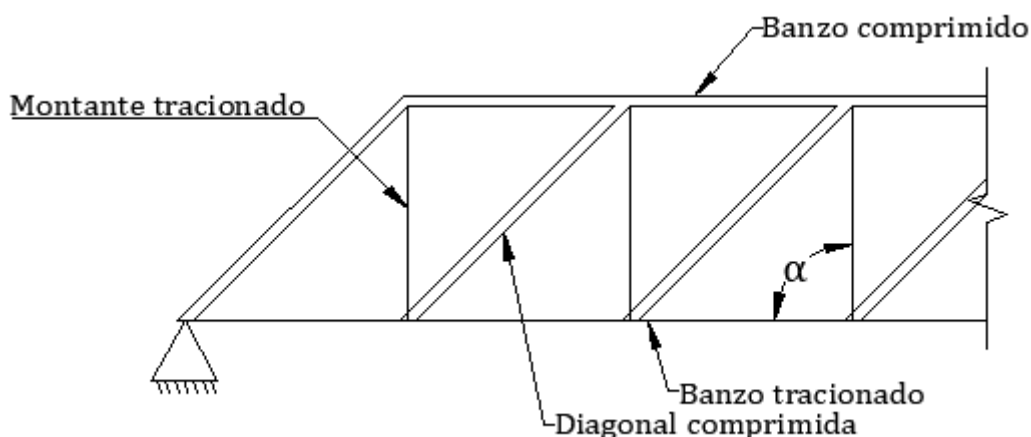


Figura 2.12 - Treliça análoga de Morsch para o caso de viga biapoada armada com estribos verticais (Fonte: autor).

A partir do equilíbrio de forças na treliça de Morsch é possível obter as diversas equações apresentadas na norma vigente para o dimensionamento de elementos sujeitos a esforços cortantes.

Pela ABNT NBR 6118 (2014), devem ser verificadas duas condições para que a resistência da viga seja considerada satisfatória. A primeira análise, dada pela condição (2.43), realiza a verificação relativa à ruína das bielas comprimidas. Já a segunda análise, dada pela condição (2.44), realiza a verificação relativa à ruptura por tração diagonal.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2} \quad (2.43)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (2.44)$$

Em que:

V_{Sd} é a força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd2} é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das bielas comprimidas;

$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$ é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruptura por tração diagonal. V_c é a parcela da força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça e V_{sw} é a parcela resistida pela armadura transversal.

A ABNT NBR 6118 (2014) admite dois modelos para a obtenção das forças resistentes de cálculo. O Modelo I tem como base a treliça clássica de Morsch, considerando a inclinação (θ) das diagonais comprimidas igual a 45° e admitindo que a parcela V_c tenha valor constante e independente de V_{Sd} . Já o Modelo II tem como base a treliça generalizada de Morsch, considerando a inclinação (θ) das diagonais comprimidas entre 30° e 45° e admitindo que a parcela V_c sofra redução com o aumento de V_{Sd} .

O dimensionamento da escada em balanço, com degraus isolados, apresentada neste trabalho será realizada a partir do Modelo I de dimensionamento, para fins de simplificação. Portanto, neste capítulo serão apresentados apenas os procedimentos desse modelo, sendo necessário realizar consulta na norma ABNT NBR 6118 (2014) para informações referentes ao segundo método de cálculo. Além disso, a armadura transversal será constituída por estribos e o dimensionamento será realizado considerando flexão simples.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das bielas comprimidas, para o Modelo I, é dada pela equação (2.45).

$$V_{Rd2} = 0,27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d \quad (2.45)$$

Em que:

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}, \text{ sendo } f_{ck} \text{ em MPa;}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}, \text{ sendo } f_{ck} \text{ em kN/m}^2;$$

b_w é a largura da seção transversal (m);

d é a altura útil da seção transversal (m).

Já a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruptura por tração diagonal, é dada pela equação (2.46).

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (2.46)$$

Em que:

$$V_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} 0,9 d f_{ywd} (\sin \alpha + \cos \alpha);$$

$$V_c = V_{co} = 0,6 f_{ctd} b_w d \text{ na flexão simples.}$$

Onde:

A_{sw} é a área da seção transversal dos estribos;

s é o espaçamento entre os estribos;

f_{ywd} é a tensão na armadura transversal passiva, sendo igual a f_{yd} no caso de estribos;

f_{ctd} é a resistência de cálculo à tração do concreto, dada pela equação (2.41).

A equação (2.47) apresenta a taxa de armadura mínima, constituída por estribos, para vigas submetidas a esforços cortantes.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s \sin \alpha} \geq 0,2 \frac{f_{ct,m}}{f_{ywk}} \quad (2.47)$$

Em que:

$f_{ct,m}$ é a resistência média à tração do concreto, dada por $f_{ct,m} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$;

f_{ywk} é a resistência característica ao escoamento do aço da armadura transversal.

2.3.2.2 Dimensionamento à torção

O dimensionamento à torção em estruturas de concreto armado adota a teoria da treliça de Morsch, de maneira similar ao dimensionamento ao esforço cortante (DE ARAÚJO, 2010). No caso da torção, a treliça utilizada é espacial e as barras

longitudinais, os estribos e as bielas comprimidas realizam o equilíbrio do momento torçor (DE ARAÚJO, 2010). A ABNT NBR 6118 (2014) determina que a inclinação (θ) das diagonais comprimidas deve estar compreendida entre 30° e 45° . O dimensionamento da escada em balanço, engastada em viga lateral, apresentada neste trabalho será realizado considerando $\theta = 45^\circ$.

Para determinar o modelo de treliça espacial utilizado no dimensionamento à torção, é considerada uma viga biapoiada de concreto armado, com estado de fissuração próximo à ruptura. Nesse estado, apenas uma região do concreto, junto à face externa da seção transversal das armaduras, resiste aos esforços de torção (DE ARAÚJO, 2010). Assim, a resistência à torção de uma viga de seção transversal cheia é igual à resistência de uma seção vazada com as mesmas armaduras, podendo ser desconsiderada a área central (DE ARAÚJO, 2010).

O dimensionamento é realizado, então, considerando uma seção transversal vazada com espessura da parede dada pelas equações (2.48) e (2.49), segundo a ABNT NBR 6118 (2014).

$$h_e \leq \frac{A}{u} \quad (2.48)$$

$$h_e \geq 2 c_1 \quad (2.49)$$

Em que:

A é a área da seção cheia;

u é o perímetro da seção cheia;

c_1 é a distância entre o eixo da barra longitudinal do canto e a face lateral do elemento estrutural.

Pela ABNT NBR 6118 (2014), devem ser verificadas três condições para que a resistência da viga seja considerada satisfatória. A primeira análise, dada pela condição (2.50), realiza a verificação relativa à ruína das bielas comprimidas. A segunda análise, dada pela condição (2.51), realiza a verificação da parcela resistida

pelos estribos. Já a terceira análise, dada pela condição (2.52), realiza a verificação da parcela resistida pelas barras longitudinais.

$$T_{Sd} \leq T_{Rd2} \quad (2.50)$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd3} \quad (2.51)$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd4} \quad (2.52)$$

Em que:

T_{Sd} é o momento torçor solicitante de cálculo;

T_{Rd2} é o momento torçor resistente de cálculo, relativo à ruína das bielas comprimidas;

T_{Rd3} é o momento torçor resistente de cálculo, relativo à parcela resistida pelos estribos;

T_{Rd4} é o momento torçor resistente de cálculo, relativo à parcela resistida pela armadura longitudinal.

A ABNT NBR 6118 (2014) define o valor de T_{Rd2} a partir da equação (2.53).

$$T_{Rd2} = 0,50 \alpha_{v2} f_{cd} A_e h_e \text{sen}2\theta \quad (2.53)$$

Em que:

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}, \text{ sendo } f_{ck} \text{ em MPa};$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}, \text{ sendo } f_{ck} \text{ em kN/m}^2;$$

A_e é a área limitada pela parede interna da seção vazada;

h_e é a espessura da parede da seção vazada;

θ é o ângulo de inclinação das diagonais de concreto.

A verificação conjunta da resistência das bielas comprimidas, quanto ao esforço cortante e ao momento torçor, é dado pela equação (2.54).

$$\frac{V_d}{V_{Rd2}} + \frac{T_d}{T_{Rd2}} \leq 1 \quad (2.54)$$

A ABNT NBR 6118 (2014) define o valor de T_{Rd3} e T_{Rd4} pelas equações (2.55) e (2.56), respectivamente.

$$T_{Rd3} = \frac{A_{s,90}}{s} f_{ywd} 2 A_e \cot \theta \quad (2.55)$$

$$T_{Rd4} = \frac{A_{sl}}{u_e} f_{ywd} 2 A_e \operatorname{tg} \theta \quad (2.56)$$

Em que:

$A_{s,90}$ é área da seção transversal do número total de ramos de um estribo perpendicular ao eixo da peça, contidos na parede equivalente;

s é o espaçamento entre eixos dos estribos, medido segundo o eixo longitudinal da peça;

f_{ywd} é a tensão na armadura transversal passiva, sendo igual a f_{yd} no caso de estribos;

A_{sl} é a soma das áreas das seções das barras longitudinais;

u_e é o perímetro da região limitada pela parede interna da seção vazada.

A taxa de armadura transversal ($A_{s,90}/s$) utilizada é dada pelo maior valor entre a taxa obtida através da equação (2.55) e do valor da taxa de armadura transversal mínima, dada pela equação (2.57), a seguir.

$$\frac{A_{s,90\text{mín}}}{s} = \frac{0,2 b_w f_{ct,m}}{f_{ywk}} \quad (2.57)$$

Em que:

f_{ywk} é a resistência característica ao escoamento do aço da armadura transversal;

$f_{ct,m}$ é a resistência média à tração do concreto, dada por $f_{ct,m} = 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$.

Já a taxa de armadura longitudinal (A_{sl}/u_e) utilizada é dada pelo maior valor entre a taxa obtida através da equação (2.56) e do valor da taxa de armadura longitudinal mínima, dada pela equação (2.58), a seguir.

$$\frac{A_{sl,min}}{u_e} = \frac{0,2 h_e f_{ct,m}}{f_{ywk}} \quad (2.58)$$

2.3.2.3 Dimensionamento final

A taxa de armadura transversal ($A_{S,90/s}$) *TOTAL*, é dada pela soma da taxa obtida pelo dimensionamento à torção e 1/2 da taxa obtida a partir do dimensionamento ao esforço cortante.

A área de aço obtida no cálculo da armadura longitudinal é dada pela soma da área obtida no dimensionamento à flexão e a área obtida no dimensionamento à torção, na face inferior da seção transversal. Na face superior e nas laterais da seção transversal é utilizada apenas a área obtida pelo dimensionamento à torção.

3 APLICAÇÕES

3.1 Escada de um lance, armada longitudinalmente

3.1.1 Projeto arquitetônico

A elaboração do projeto arquitetônico de uma escada requer que sejam estabelecidas condições prévias quanto aos seus elementos e localização. A escada dimensionada neste tópico apresenta apenas um lance, vencendo um desnível de 3,06 metros. O método construtivo utilizado é o concreto armado e o guarda-corpo é construído em alvenaria. O edifício considerado apresenta dois pavimentos, com 1300 m² de área construída e tem como ocupação uma agência bancária.

As dimensões dos pisos e espelhos devem ser determinadas para atender as condições (2.1), (2.2) e (2.3), apresentadas no tópico 2.1.1. Logo, serão utilizados:

$$p = 28 \text{ cm}$$

$$e = 18 \text{ cm}$$

O cálculo da largura mínima da escada deve ser realizado a partir da equação (2.4), no tópico 2.1.2. A partir dessa equação, obtém-se o número de unidades de passagem, correspondente a 0,55 metros, através da população de 1 pavimento e da capacidade da unidade de passagem. Para uma edificação destinada à ocupação por agência bancária, a população é de uma pessoa a cada 7 m² de área, enquanto a capacidade da unidade de passagem é igual a 60 (ABNT NBR 9077, 2001). Logo, tem-se:

$$N = \frac{P}{C} = \frac{650}{60} = 1,08 \cong 2 \text{ unidades de passagem}$$

$$l_{\text{mín}} = 0,55 N = 0,55 \cdot 2 = 1,10 \text{ m}$$

A largura da escada foi definida como:

$$l = 1,45 \text{ m} > 1,10 \text{ m}$$

Para que os corrimãos possam ser instalados de acordo com a altura exigida em norma (0,70 m e 0,92 m, medidos do ponto central do piso até a sua face superior), o guarda-corpo foi definido com 1 metro de altura.

As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam a vista superior e lateral, respectivamente, da escada dimensionada. Essa é constituída por 16 degraus, com piso de 28 cm e espelho de 18 cm. Os patamares de saída e chegada contêm 1,15 m de comprimento. A escada apresenta laje de 20 cm de espessura e 1,60 m de largura. O guarda-corpo contém 15 cm de largura.

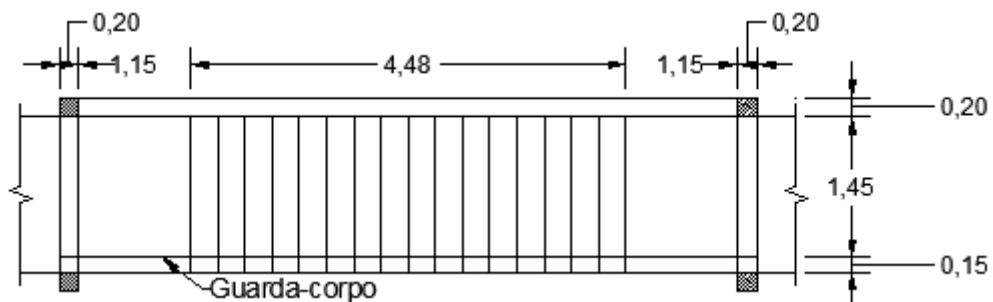


Figura 3.1 - Vista superior da escada de um lance, armada longitudinalmente. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

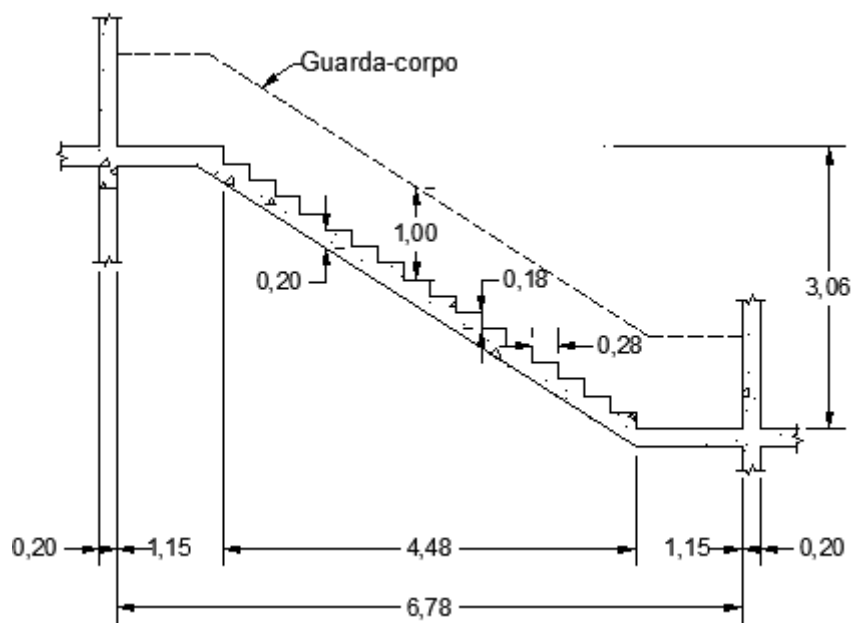


Figura 3.2 - Vista lateral da escada de um lance, armada longitudinalmente. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

3.1.2 Memorial de cálculo

3.1.2.1 Carregamentos

A ABNT NBR 6120 (1980) define que o valor mínimo para cargas acidentais em escadas, com acesso ao público, é de 3 kN/m². Já os valores das cargas permanentes devem ser calculados a partir dos seguintes valores de peso específico aparente, especificados na ABNT NBR 6120 (1980):

- Peso específico aparente do concreto armado ($\gamma_{conc.arm.}$) = 25 kN/m³.
- Peso específico aparente do revestimento de argamassa de cimento e areia ($\gamma_{rev.}$) = 21 kN/m³.
- Peso específico aparente da alvenaria de tijolos furados ($\gamma_{alv.}$) = 13 kN/m³.

- Espessura média dos degraus

A partir da equação (2.7), tem-se:

$$h_m = h_1 + \frac{e}{2} = 20 + \frac{18}{2} = 29 \text{ cm}$$

- Peso próprio

O peso próprio na região do patamar, dado pela equação (2.6), é igual a:

$$p_p = \gamma_{conc.arm.} \cdot h_p = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m} = 5 \text{ kN/m}^2$$

O peso próprio na região dos degraus, dado pela equação (2.8), é igual a:

$$p_d = \gamma_{conc.arm.} \cdot h_m = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,29 \text{ m} = 7,25 \text{ kN/m}^2$$

- Peso do revestimento

Considerando revestimento com espessura igual a 0,05 m, temos que o peso do revestimento, a partir da equação (2.9), é igual a:

$$p_r = \gamma_{rev.} \cdot h_r = 21 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

- Peso do guarda-corpo

Considerando guarda-corpo com altura igual a 1 m e espessura igual a 0,15 m, tem-se que seu peso, dado pelas equações (2.10) e (2.11), é igual a:

$$p_g = \gamma_{\text{alv.}} \cdot t \cdot H = 13 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 1,95 \text{ kN/m}$$

$$p'_g = \frac{p_g}{L} = \frac{1,95 \text{ kN/m}}{1,60 \text{ m}} = 1,22 \text{ kN/m}^2$$

- Carregamento total

Pelas equações (2.12) e (2.13), o carregamento total na região do patamar e dos degraus, respectivamente, é dado por:

$$p_p^T = \frac{p_p + p_r + p'_g + q}{2} = \frac{5 + 1,05 + 1,22 + 3}{2} = 5,14 \text{ kN/m}$$

$$p_d^T = \frac{p_d + p_r + p'_g + q}{2} = \frac{7,25 + 1,05 + 1,22 + 3}{2} = 6,26 \text{ kN/m}$$

Assim, obtém-se o modelo de carregamento apresentado na Figura 3.3.

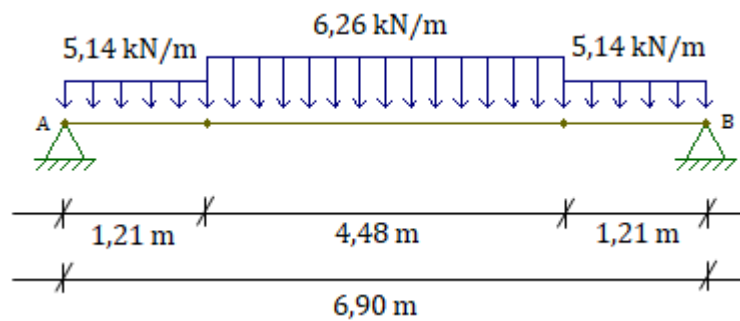


Figura 3.3 - Carregamento aplicado para o cálculo da armadura longitudinal da escada (Fonte: autor).

O comprimento do patamar foi calculado a partir da equação (2.14).

$$l_f = l_o + a_1 + a_2 = 1,15 + 0,06 + 0 = 1,21 \text{ m}$$

Em que a_1 é o menor valor entre $\frac{t_1}{2} = \frac{20}{2} = 10$ cm e $0,3 h = 0,3 \cdot 20 = 6$ cm. Os parâmetros t_1 , t_2 e h estão representados na Figura 2.4.

O cortante máximo para o carregamento aplicado, dada pela equação (2.15), é igual a:

$$V_{\text{máx}} = p_p^T c_p + \frac{p_d^T c_d}{2} = 5,14 \cdot 1,21 + \frac{6,26 \cdot 4,48}{2} = 20,24 \text{ kN}$$

O momento máximo pode ser calculado considerando o somatório de momento à esquerda da seção central igual a 0.

$$M_{\text{máx}} = 3,45 V_A - 5,14 \cdot 1,21 \cdot 2,845 - 6,26 \cdot 2,24 \cdot 1,12$$

Como a reação no apoio A (V_A) é igual ao cortante máximo, tem-se:

$$M_{\text{máx}} = 3,45 \cdot 20,24 - 5,14 \cdot 1,21 \cdot 2,845 - 6,26 \cdot 2,24 \cdot 1,12 = 36,43 \text{ kNm}$$

O momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) deve ser obtido, majorando o valor de momento máximo encontrado. Logo:

$$M_{Sd} = 1,4 \cdot 36,43 = 51,00 \text{ kNm}$$

3.1.2.2 Dimensionamento

- Altura da laje

A altura da laje, perpendicularmente ao eixo da escada, é dada pelas equações (2.28) e (2.29).

$$\text{tg} \theta = \frac{e}{p} = \frac{18}{28} = 0,64$$

$$\theta = \text{arctg}(0,64) = 32,74^\circ$$

$$h = h_1 \cos \theta = 20 \cdot \cos 32,74^\circ = 16,82 \text{ cm}$$

Pode-se aproximar por $h = 17,0$ cm.

Para a classe de agressividade ambiental I e concreto de alta resistência, tem-se que o cobrimento mínimo da laje é igual a 1,5 cm. Considerando armadura transversal com 5 mm de diâmetro e armadura longitudinal com 10 mm de diâmetro, adota-se $d' = 2,5$ cm. Assim, a altura útil é igual a:

$$d = h - d' = 17 - 2,5 = 14,5 \text{ cm}$$

- Armadura longitudinal

Igualando-se o momento fletor resistente de cálculo ao momento fletor solicitante de cálculo e realizando-se o dimensionamento por metro linear ($b=1$), tem-se, a partir da equação (2.33).

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b 0,8 \beta_x d^2 (1 - 0,4 \beta_x)$$

$$51,00 = 0,85 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,4} \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot \beta_x \cdot 0,145^2 (1 - 0,4 \cdot \beta_x)$$

$$0,4 \beta_x^2 - \beta_x + 0,2497 = 0$$

Utilizando-se a fórmula de Bháskara, obtém-se $\beta_x' = 0,2814$ e $\beta_x'' = 2,2186$. Os valores de β_x variam entre 0 e 1, portanto $\beta_x = 0,2814$. Como β_x varia entre 0,2593 e 0,6284 no domínio 3 de deformação, o dimensionamento será realizado nesse domínio. Portanto, é possível considerar que $\sigma_{sd} = f_{yd}$.

A área de aço necessária é dada, então, pela equação (2.35).

$$M_{Rd} = \sigma_{sd} A_s (d - 0,4 \beta_x d)$$

$$51,00 = \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} A_s (0,145 - 0,4 \cdot 0,2814 \cdot 0,145)$$

Logo $A_s = 9,12 \text{ cm}^2$.

Utilizando barras de 10 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{9,12}{\left(\frac{\pi \cdot 1^2}{4}\right)} = 11,61 \cong 12 \text{ barras}$$

Logo, o espaçamento entre as barras é dado por:

$$e = \frac{100 \text{ cm}}{12} = 8,33 \cong 8 \text{ cm}$$

Para a laje de 1,60 m de largura e cobrimento de 1,5 cm, tem-se:

$$20\text{Ø}10\text{mm } c/8\text{cm}$$

Para determinar se a laje deve ser armada em ambas as direções, é necessário, verificar as condições (2.36) e (2.37).

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{6,78}{1,60} = 4,24 > 2$$

Como $\lambda > 2$, tem-se que a laje deve ser armada em apenas uma direção, sendo necessário calcular a armadura de distribuição.

- Armadura de distribuição

As armaduras de distribuição são calculadas considerando-se 20% da área de aço das armaduras principais. Logo:

$$A_{S,\text{dist}} = (20\%)A_s = \frac{1}{5} \cdot 9,12 = 1,82 \text{ cm}^2$$

Utilizando barras de 5,0 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{1,82}{\left(\frac{\pi \cdot 0,5^2}{4}\right)} = 9,27 \cong 9 \text{ barras}$$

Logo, o espaçamento entre as barras é dado por:

$$e = \frac{100 \text{ cm}}{9} = 11,11 \cong 11 \text{ cm}$$

O comprimento total da escada pode ser dado por:

$$L = 115 + \frac{(448 + 28)}{\cos 32,74^\circ} + 87 = 767,90 \text{ cm}$$

Tem-se, então:

$$70\text{Ø}5\text{mm c}/11\text{cm}$$

- Ancoragem

A resistência de aderência entre a armadura e o concreto na ancoragem é dada pelas equações (2.40) e (2.41). Considerando barras nervuradas, com boa aderência e diâmetro menor que 32 mm, conclui-se que:

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \sqrt[3]{20^2}}{1,4} = 1,11 \text{ MPa} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,11 \cdot 10^3 = 2,50 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

O comprimento de ancoragem é dado pela equação (2.42). Logo:

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot \left(\frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \right)}{4 \cdot 2,50 \cdot 10^3} = 434,78 \text{ mm} = 43,48 \text{ cm}$$

Logo, o comprimento de ancoragem é igual 44 cm.

- Detalhamento

A Figura 3.4 apresenta a vista superior da escada dimensionada, com a localização dos cortes AA e BB. As Figuras 3.5 e 3.6 apresentam, respectivamente, o corte AA, com o detalhamento das armaduras longitudinais e o corte BB, com o detalhamento das armaduras de distribuição.

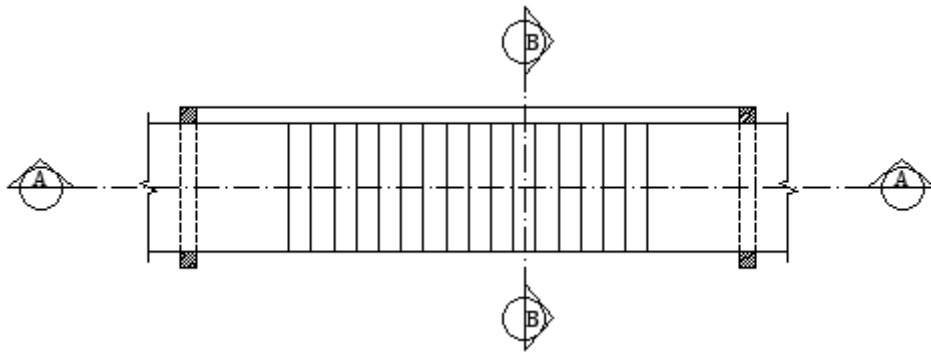


Figura 3.4 - Vista superior da escada dimensionada, com a localização dos cortes AA e BB (Fonte: autor).

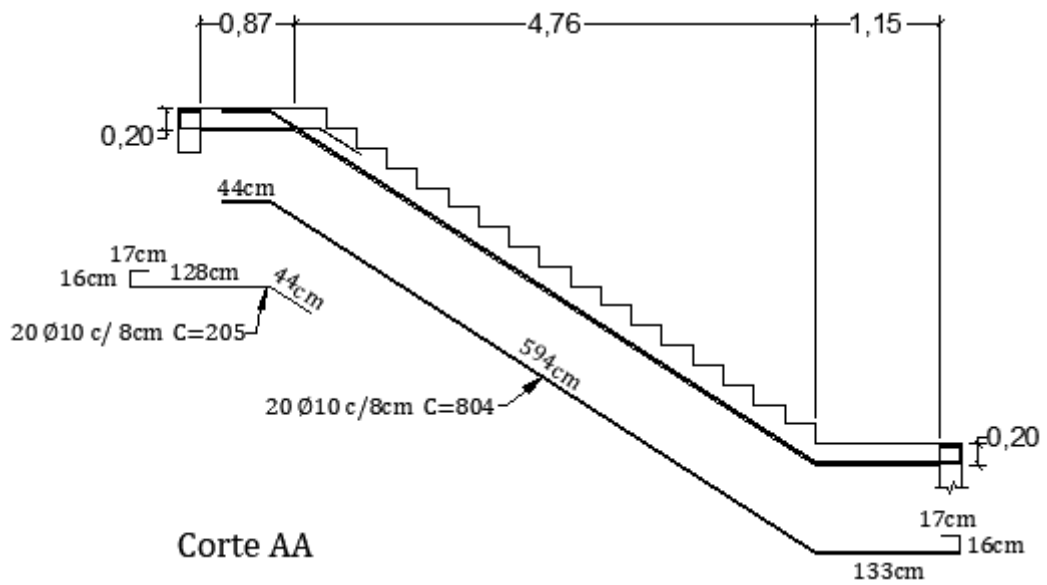


Figura 3.5 - Corte AA: Detalhamento das armaduras longitudinais. As medidas cujas unidades não estão indicadas, estão representadas em metros (Fonte: autor).

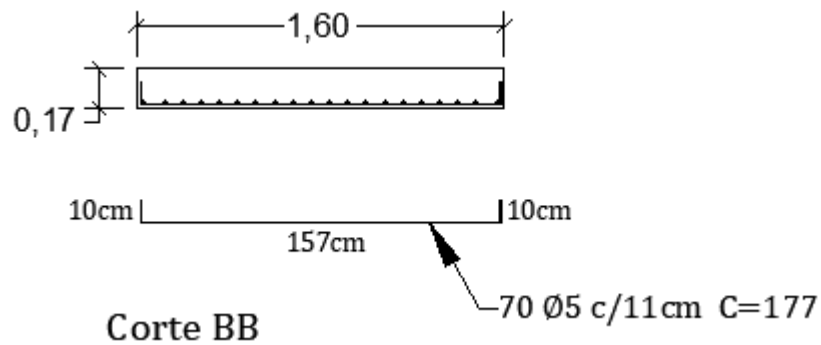


Figura 3.6 - Corte BB: Detalhamento das armaduras de distribuição. As medidas cujas unidades não estão indicadas, estão representadas em metros (Fonte: autor).

3.2 Escada em balanço, com degraus isolados

3.2.1 Projeto Arquitetônico

A escada em balanço, com degraus isolados, dimensionada no presente tópico, localiza-se em uma residência com dois pavimentos. Essa apresenta apenas um lance, vencendo um desnível de 3,06 metros. O método construtivo é o concreto armado, sendo utilizado corrimão metálico.

As dimensões dos pisos e espelhos devem ser determinadas para atender as condições (2.1), (2.2) e (2.3), apresentados no tópico 2.1.1. Logo, serão utilizados:

$$p = 28 \text{ cm}$$

$$e = 18 \text{ cm}$$

Como a escada localiza-se em uma residência, não foi realizado o cálculo da sua largura mínima, sendo utilizada largura de 80 cm. As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam a vista superior e lateral, respectivamente, da escada dimensionada. Essa é constituída por 16 degraus, com piso de 28 cm e espelho de 18 cm. Os degraus apresentam espessura de 8 cm e espaçamento horizontal de 2 cm entre cada degrau.

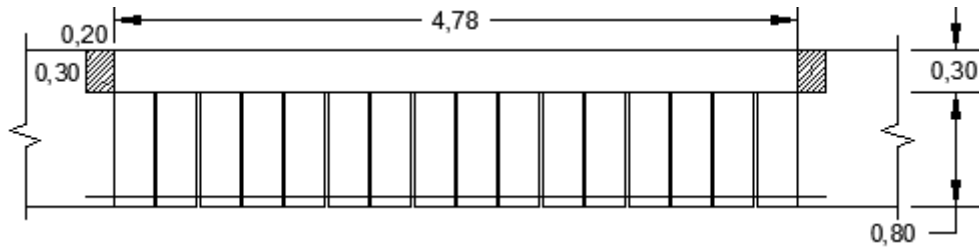


Figura 3.7 - Vista superior da escada em balanço, com degraus isolados. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

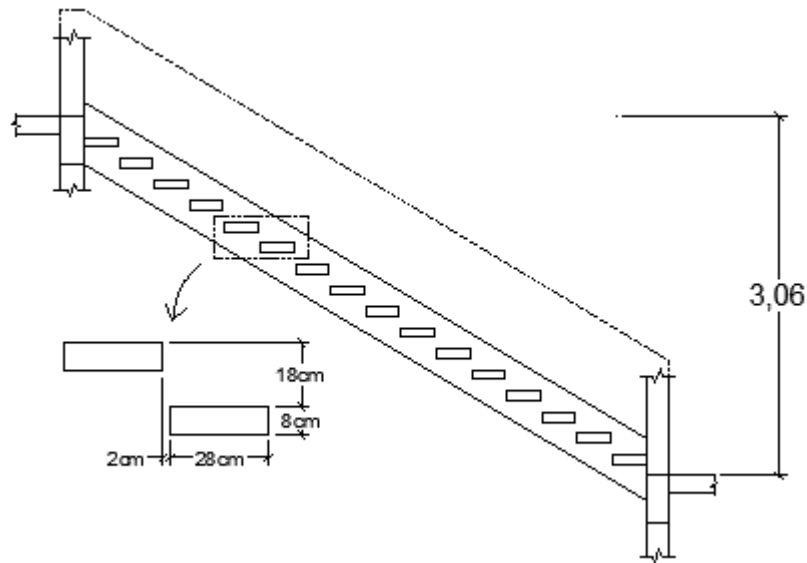


Figura 3.8 - Vista lateral da escada em balanço, com degraus isolados. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

3.2.2 Memorial de cálculo - Armadura dos degraus

3.2.2.1 Carregamentos

A ABNT NBR 6120 (1980) define que o valor mínimo para cargas acidentais em escadas, sem acesso ao público, é de $2,5 \text{ kN/m}^2$. Já o carregamento acidental concentrado na extremidade do balanço é de $2,5 \text{ kN}$ (ABNT NBR 6120, 1980). A carga linear do corrimão, distribuída ao longo da extremidade em balanço da escada, pode ser considerada $0,2 \text{ kN/m}$.

Os valores das cargas permanentes devem ser calculados a partir dos seguintes valores de peso específico aparente, especificados na ABNT NBR 6120 (1980):

- Peso específico aparente do concreto armado ($\gamma_{conc.arm.}$) = 25 kN/m³.
- Peso específico aparente do revestimento de argamassa de cimento e areia ($\gamma_{rev.}$) = 21 kN/m³.

- Peso próprio

O peso próprio dos degraus, dado pela equação (2.8), é igual a:

$$p_d = \gamma_{conc.arm.} \cdot h_m = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,08 \text{ m} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

- Peso do revestimento

Considerando revestimento com espessura igual a 0,05 m, tem-se que o peso do revestimento, a partir da equação (2.9), é igual a:

$$p_r = \gamma_{rev.} \cdot h_r = 21 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

- Peso do corrimão

O peso do corrimão, dado pela equação (2.16), é igual a:

$$p_c = g_c \cdot p = 0,2 \text{ kN/m} \cdot 0,28 \text{ m} = 0,06 \text{ kN}$$

- Carregamento total

O cálculo da armadura dos degraus é realizado a partir de dois estados de carregamento: degrau totalmente carregado e degrau descarregado. Para o estado totalmente carregado, a carga concentrada na extremidade em balanço é igual ao peso do corrimão e a carga distribuída no degrau é dada pela equação (2.17).

$$p_{carreg.}^d = (p_d + p_r + q) \cdot p = (2 + 1,05 + 2,5) \cdot 0,28 = 1,55 \text{ kN/m}$$

A Figura 3.9 apresenta o carregamento da viga para o caso de degrau totalmente carregado.

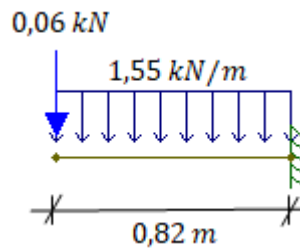


Figura 3.9 - Carregamento aplicado para cálculo da armadura dos degraus. O esquema considera que o degrau está totalmente carregado (Fonte: autor).

A largura do degrau foi calculada a partir da equação (2.14).

$$l_f = l_o + a_1 + a_2 = 0,8 + 0,024 + 0 = 0,82 \text{ m}$$

Em que a_1 é o menor valor entre $\frac{t_1}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$ e $0,3 h = 0,3 \cdot 8 = 2,4 \text{ cm}$.

Os parâmetros t_1 , t_2 e h estão representados na Figura 2.4.

Para o estado descarregado, a carga distribuída é dada pela equação (2.18) e a carga concentrada é dada pela equação (2.19).

$$p_{\text{descarreg.}}^d = (p_d + p_r) p = (2 + 1,05) \cdot 0,28 = 0,85 \text{ kN/m}$$

$$p_{\text{descarreg.}}^c = p_c + q_{\text{conc.}} = 0,06 + 2,5 = 2,56 \text{ kN}$$

A Figura 3.10 apresenta o carregamento da viga para o caso de degrau descarregado.

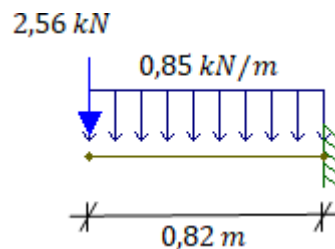


Figura 3.10 - Carregamento aplicado para cálculo da armadura dos degraus. O esquema considera que o degrau está descarregado (Fonte: autor).

O estado de carregamento utilizado é aquele que provoca maior momento fletor no engaste. Para o degrau totalmente carregado, tem-se:

$$M_k^{\text{engaste}} = 0,06 \cdot 0,82 + 1,55 \cdot 0,82 \cdot 0,41 = 0,57 \text{ kNm}$$

Para o degrau descarregado, tem-se:

$$M_k^{\text{engaste}} = 2,56 \cdot 0,82 + 0,85 \cdot 0,82 \cdot 0,41 = 2,38 \text{ kNm}$$

Logo, deve ser utilizado o segundo estado de carregamento, em que:

$$M_k^{\text{engaste}} = 2,38 \text{ kNm}$$

O momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) deve ser obtido majorando o valor de momento máximo encontrado. Logo:

$$M_{Sd} = 1,4 \cdot 2,38 = 3,33 \text{ kNm}$$

3.2.2.2 Dimensionamento

- Altura da viga

Os degraus da escada dimensionada apresentam altura $h = 8$ cm. Considerando a utilização de armadura longitudinal de 6,3 mm de diâmetro, pode-se utilizar cobrimento igual a 1,0 cm. Para armadura transversal de 6,3 mm de diâmetro, adota-se $d' = 2,0$ cm. Assim, a altura útil é igual a:

$$d = h - d' = 8 - 2,0 = 6 \text{ cm}$$

- Armadura longitudinal

Igualando-se o momento fletor resistente de cálculo ao momento fletor solicitante de cálculo, tem-se, a partir da equação (2.33).

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b 0,8 \beta_x d^2 (1 - 0,4 \beta_x)$$

$$3,33 = 0,85 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,4} \cdot 0,28 \cdot 0,8 \cdot \beta_x \cdot 0,06^2 (1 - 0,4 \beta_x)$$

$$0,4 \beta_x^2 - \beta_x + 0,3401 = 0$$

Utilizando a fórmula de Bháskara, obtém-se $\beta_x' = 0,4061$ e $\beta_x'' = 2,0939$. Os valores de β_x variam entre 0 e 1, portanto $\beta_x = 0,4061$. Como β_x varia entre 0,2593 e 0,6284 no domínio 3 de deformação, o dimensionamento será realizado nesse domínio. Portanto, pode-se considerar $\sigma_{sd} = f_{yd}$.

A área de aço necessária é dada, então, pela equação (2.35).

$$M_{Rd} = \sigma_{sd} A_s (d - 0,4 \beta_x d)$$

$$3,33 = \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} A_s (0,06 - 0,4 \cdot 0,4061 \cdot 0,06)$$

Logo $A_s = 1,52 \text{ cm}^2$.

Utilizando barras de 6,3 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{1,52}{\left(\frac{\pi \cdot 0,63^2}{4} \right)} = 4,88 \cong 5 \text{ barras}$$

Para piso com largura de 28 cm e cobrimento de 1,0 cm, o espaçamento entre barras é igual a 6 cm. Logo, conclui-se que:

$5\text{Ø}6,3\text{mm c}/6\text{cm}$

Para determinar se a laje deve ser armada em ambas as direções, é necessário, verificar as condições (2.36) e (2.37).

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{0,80}{0,28} = 2,86 > 2$$

Como $\lambda > 2$, tem-se que a laje deve ser armada em apenas uma direção, sendo necessário calcular a armadura de distribuição.

- Armadura de distribuição

As armaduras de distribuição são calculadas considerando-se 20% da área de aço das armaduras principais. Logo:

$$A_{S,dist.} = (20\%)A_s = \frac{1}{5} \cdot 1,52 = 0,30 \text{ cm}^2 < 0,9 \text{ cm}^2$$

Como a armadura de distribuição calculada é menor que a armadura mínima, deve-se considerar $A_{s \text{ dist}} = 0,9 \text{ cm}^2$. Daí, utilizando barras de 6,3 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{0,9}{\left(\frac{\pi \cdot 0,63^2}{4}\right)} = 2,89 \cong 3 \text{ barras}$$

Para laje com 80 cm de largura, tem-se que o espaçamento entre barras é igual a 38 cm. Logo, conclui-se que:

3Ø6,3mm c/38cm

- Ancoragem

A resistência de aderência entre a armadura e o concreto na ancoragem é dada pelas equações (2.40) e (2.41). Considerando barras nervuradas, com boa aderência e diâmetro menor que 32 mm, tem-se:

$$f_{ctd} = \frac{0,21\sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\gamma_c} = \frac{0,21\sqrt[3]{20^2}}{1,4} = 1,11 \text{ MPa} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,11 \cdot 10^3 = 2,50 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

O comprimento de ancoragem é dado pela equação (2.42). Logo:

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{6,3 \left(\frac{500 \cdot 10^3}{1,15}\right)}{4 \cdot 2,50 \cdot 10^3} = 273,91 \text{ mm} = 27,39 \text{ cm}$$

Logo, o comprimento de ancoragem é igual a 28 cm.

- Detalhamento

As Figuras 3.11 e 3.12 apresentam, respectivamente, o detalhamento das armaduras longitudinais e armaduras de distribuição de um degrau da escada em balanço, com degraus isolados. A Figura 3.13 apresenta a vista superior, com o detalhamento da localização das armaduras longitudinais e de distribuição de um degrau. O detalhamento apresentado é semelhante para todos os degraus da escada dimensionada.

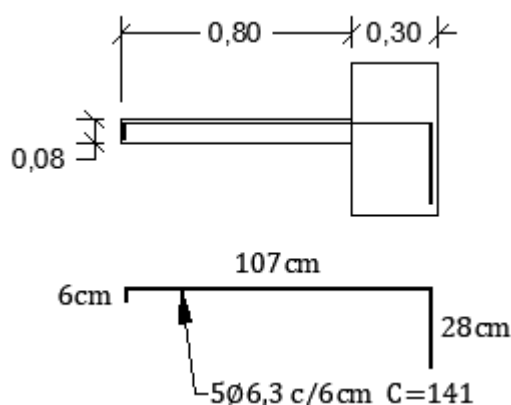


Figura 3.11 - Vista lateral de um degrau da escada engastada com degraus isolados. Apresenta o detalhamento das armaduras longitudinais de flexão. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

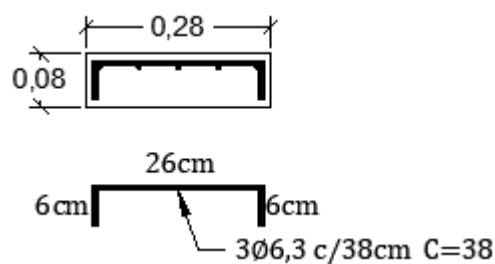


Figura 3.12 - Corte transversal de um degrau da escada engastada com degraus isolados. Apresenta o detalhamento das armaduras de distribuição. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

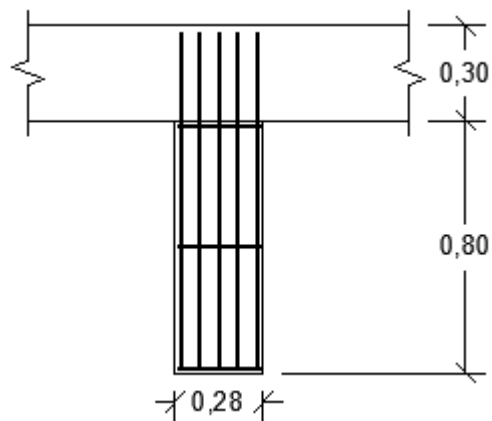


Figura 3.13 - Vista superior de um degrau da escada engastada com degraus isolados. Apresenta o detalhamento das armaduras longitudinais e de distribuição. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

3.2.3 Memorial de cálculo - Viga lateral

3.2.3.1 Carregamentos

A viga lateral inclinada dimensionada neste tópico apresenta seção transversal 30 x 45 cm. O cálculo das armaduras da viga deve ser realizado para resistir ao esforço cortante, momento fletor e momento torçor solicitante. O carregamento aplicado na viga, para a obtenção dos valores de cálculo do esforço cortante e momento fletor, para a escada descarregada, é dado pela equação (2.21).

$$g_{\text{descarreg.}} = p_{\text{descarreg.}}^c + p_{\text{descarreg.}}^d \cdot L = 2,56 + 0,85 \cdot 0,82 = 3,26 \text{ kN}$$

A Figura 3.14 apresenta o carregamento utilizado para a determinação do momento fletor e esforço cortante solicitante de cálculo.

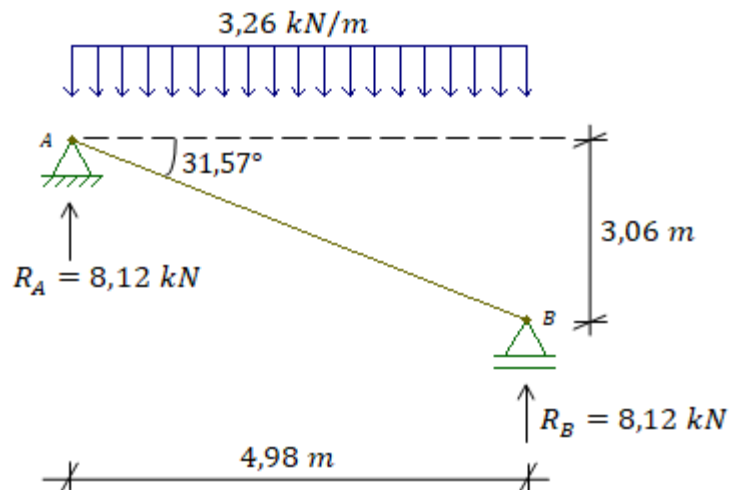


Figura 3.14 - Carregamento aplicado na viga, para obtenção do momento fletor e esforço cortante solicitante de cálculo (Fonte: autor).

O comprimento da escada foi calculado a partir da equação (2.14).

$$l_f = l_o + a_1 + a_2 = 4,78 + 0,1 + 0,1 = 4,98 \text{ m}$$

Em que a_1 é o menor valor entre $\frac{t_1}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$ e $0,3 h = 0,3 \cdot 45 = 13,5 \text{ cm}$ e

a_2 é o menor valor entre $\frac{t_2}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$ e $0,3 h = 0,3 \cdot 45 = 13,5 \text{ cm}$. Os parâmetros t_1 , t_2 e h estão representados na Figura 2.4.

A inclinação (α) da viga lateral foi obtida a partir da equação (2.22).

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h_{\text{escada}}}{c_{\text{escada}}}\right) = \arctg\left(\frac{3,06}{4,98}\right) = 31,57^\circ$$

O valor das reações (R_A , R_B) nos apoios foi calculada pela equação (2.23).

$$R_A = R_B = \frac{3,26 \cdot 4,98}{2} = 8,12 \text{ kN}$$

O cálculo do esforço cortante e do momento fletor característico pode ser realizado a partir das equações (2.24) e (2.25), respectivamente.

$$V_k = R_{A=B} \cos \alpha = 8,12 \cos(31,57^\circ) = 6,92 \text{ kN}$$

$$M_k = R_{A=B} \frac{c_{escada}}{2} - q \frac{c_{escada}^2}{8} = 8,12 \cdot \frac{4,98}{2} - 3,26 \cdot \frac{4,98^2}{8} = 10,11 \text{ kNm}$$

Os valores característicos devem ser majorados de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), obtendo-se o valor do cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) e do momento fletor solicitante de cálculo (M_{sd}):

$$V_{sd} = 1,4 \cdot 6,92 = 9,69 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 1,4 \cdot 10,11 = 14,15 \text{ kNm}$$

O carregamento aplicado na viga, para obtenção do valor de cálculo do momento torçor, é dado pela equação (2.26).

$$g = M_{engaste}^k = 2,38 \text{ kNm}$$

O momento torçor característico é dado pela equação (2.27).

$$T_k = R_{A=B} \cos \alpha = 5,93 \cdot \cos(31,57^\circ) = 5,05 \text{ kNm}$$

Em que:

$$R_A = R_B = \frac{2,38 \cdot 4,98}{2} = 5,93 \text{ kNm}$$

O valor do momento torçor característico deve ser majorado de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), obtendo-se o valor do momento torçor solicitante de cálculo (T_{sd}):

$$T_{sd} = 1,4 \cdot 5,05 = 7,07 \text{ kNm}$$

3.2.3.2 Dimensionamento à flexão

- Altura da viga

A viga lateral dimensionada apresenta altura $h = 45 \text{ cm}$. Para a classe de agressividade ambiental I e concreto de alta resistência, tem-se que o cobrimento

mínimo da viga é igual a 2,0 cm. Considerando armadura longitudinal e transversal com 6,3 mm de diâmetro, adota-se $d' = 3,0$ cm. Assim, a altura útil é igual a:

$$d = h - d' = 45 - 3,0 = 42 \text{ cm}$$

- Armadura longitudinal

Igualando-se o momento fletor resistente de cálculo ao momento fletor solicitante de cálculo, tem-se, a partir da equação (2.33).

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b 0,8 \beta_x d^2 (1 - 0,4 \beta_x)$$

$$14,15 = 0,85 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1,4} \cdot 0,3 \cdot 0,8 \cdot \beta_x \cdot 0,42^2 (1 - 0,4 \cdot \beta_x)$$

$$0,4\beta_x^2 - \beta_x + 0,0275 = 0$$

Utilizando a fórmula de Bháskara, obtém-se $\beta_x' = 0,0278$ e $\beta_x'' = 2,4722$. Os valores de β_x variam entre 0 e 1, portanto $\beta_x = 0,0278$. Como β_x varia entre 0 e 0,2593 no domínio 2 de deformação, o dimensionamento será realizado nesse domínio. Portanto, pode-se considerar também que $\sigma_{sd} = f_{yd}$.

A área de aço necessária é dada, então, pela equação (2.35).

$$M_{Rd} = \sigma_{sd} A_s (d - 0,4 \beta_x d)$$

$$14,15 = \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} A_s (0,42 - 0,4 \cdot 0,0278 \cdot 0,42)$$

Logo $A_s = 0,78 \text{ cm}^2$.

A armadura longitudinal mínima é dada por 0,15% da área de concreto da seção transversal. Logo, tem-se:

$$A_{s,\text{mín}} = (0,15\%) A_c = 0,15\% \cdot 45 \cdot 30 = 2,03 \text{ cm}^2$$

Logo, será utilizado $A_s = 2,03 \text{ cm}^2$.

3.2.3.3 Dimensionamento ao esforço cortante

- Ruína das bielas comprimidas

A verificação das bielas comprimidas é realizada a partir da seguinte condição.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

A força cortante resistente de cálculo (V_{Rd2}), é dada pela equação (2.45).

$$V_{Rd2} = 0,27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \frac{f_{ck}}{1,4} b_w d$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \left(1 - \frac{20}{250} \right) \frac{20 \cdot 10^3}{1,4} \cdot 0,3 \cdot 0,42 = 447,12 \text{ kN}$$

Como ($V_{Sd} = 9,69 \text{ kN}$) < ($V_{Rd2} = 447,12 \text{ kN}$), não ocorrerá ruptura pela ruína das bielas comprimidas.

- Armadura transversal

A verificação da ruptura por tração diagonal é realizada a partir da seguinte condição:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3}$$

A força cortante resistente de cálculo (V_{Rd3}), é dada pela equação (2.46).

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$$

Em que:

$$V_c = V_{co} = 0,6 f_{ctd} b_w d$$

$$V_c = 0,6 \frac{0,21 \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\gamma_c} b_w d$$

$$V_c = 0,6 \cdot \frac{0,21 \sqrt[3]{20^2} \cdot 10^3}{1,4} \cdot 0,3 \cdot 0,42 = 83,55 \text{ kN}$$

Como ($V_{Sd} = 9,69 \text{ kN}$) < ($V_c = 83,55 \text{ kN}$), não é necessário calcular a parcela da força cortante resistida pela armadura transversal (V_{sw}). A taxa de armadura transversal é dada, então, pela armadura mínima, obtida pela equação (2.47).

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s \sin \alpha} \geq 0,2 \frac{f_{ct,m}}{f_{ywk}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,2 b_w f_{ct,m} \sin \alpha}{f_{ywk}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,2 b_w 0,3 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \sin \alpha}{f_{ywk}}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \sqrt[3]{20^2} \cdot 10^3 \sin 90^\circ}{500 \cdot 10^3} = 2,65 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

3.2.3.4 Dimensionamento à torção

- Seção transversal

O dimensionamento à torção é realizado considerando uma seção transversal vazada, com espessura de parede fina dada pelas equações (2.48) e (2.49). Considerando $c_1 = d' = 3 \text{ cm}$, tem-se:

$$h_e \leq \left(\frac{A}{u} = \frac{30 \cdot 45}{2 \cdot (30 + 45)} = \frac{1350}{150} = 9,0 \text{ cm} \right)$$

$$h_e \geq (2 c_1 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ cm})$$

Logo, $6 \text{ cm} \leq h_e \leq 9,0 \text{ cm}$. Assim, adota-se $h_e = 6 \text{ cm}$.

A área limitada pela parede interna da seção vazada (A_e) e o perímetro dessa região (u_e) são dados por:

$$A_e = (30 - 6) \cdot (45 - 6) = 936 \text{ cm}^2$$

$$u_e = 2 \cdot (24 + 39) = 126 \text{ cm}$$

- Ruína das bielas comprimidas

A verificação das bielas comprimidas é realizada a partir da seguinte condição.

$$T_{Sd} \leq T_{Rd2}$$

O momento torçor resistente de cálculo (T_{Rd2}), é dado pela equação (2.53).

$$T_{Rd2} = 0,50 \alpha_{v2} f_{cd} A_e h_e \sin 2\theta$$

$$T_{Rd2} = 0,50 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \frac{f_{ck}}{1,4} A_e h_e \sin 2\theta$$

$$T_{Rd2} = 0,50 \left(1 - \frac{20}{250} \right) \frac{20 \cdot 10^3}{1,4} \cdot 0,0936 \cdot 0,06 \sin 90^\circ$$

$$T_{Rd2} = 36,91 \text{ kNm}$$

Como ($T_{Sd} = 7,07 \text{ kNm}$) < ($T_{Rd2} = 36,91 \text{ kNm}$), não ocorrerá ruptura pela ruína das bielas comprimidas.

A verificação conjunta da resistência das bielas comprimidas, quanto ao esforço cortante e ao momento torçor, é dado pela equação (2.54).

$$\frac{V_d}{V_{Rd2}} + \frac{T_d}{T_{Rd2}} \leq 1$$

$$\frac{9,69}{447,12} + \frac{7,07}{36,91} \leq 1$$

$$0,21 \leq 1$$

Como $0,21 \leq 1$, não ocorrerá ruptura pela ruína das bielas comprimidas.

- Armadura transversal

A verificação da parcela do momento torçor resistida pelos estribos é dada pela seguinte condição:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd3}$$

O momento torçor resistente de cálculo (T_{Rd3}), é dado pela equação (2.55).

$$T_{Rd3} = \frac{A_{s,90}}{s} f_{ywd} 2 A_e \cot \theta$$

Igualando-se o momento torçor resistente de cálculo ao momento torçor solicitante, tem-se:

$$T_{Rd3} = T_{Sd} = \frac{A_{s,90}}{s} f_{ywd} 2 A_e \cot \theta$$

$$7,07 = \frac{A_{s,90}}{s} \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \cdot 2 \cdot 0,0936 \cot 45^\circ$$

$$\frac{A_{s,90}}{s} = 0,87 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

- Armadura longitudinal

A verificação da parcela do momento torçor resistida pela armadura longitudinal é dada pela seguinte condição:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd4}$$

O momento torçor resistente de cálculo (T_{Rd4}), é dado pela equação (2.56).

$$T_{Rd4} = \frac{A_{sl}}{u_e} f_{ywd} 2 A_e \tan \theta$$

Igualando o momento torçor resistente de cálculo ao momento torçor solicitante, temos:

$$T_{Rd4} = T_{Sd} = \frac{A_{sl}}{u_e} f_{ywd} 2 A_e \operatorname{tg} \theta$$

$$7,07 = \frac{A_{sl}}{u_e} \cdot 2 \cdot 0,0936 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1,15} \operatorname{tg} 45^\circ$$

$$\frac{A_{sl}}{u_e} = 0,87 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

A taxa mínima de armadura longitudinal é dada pela equação (2.58).

$$\frac{A_{sl,\text{mín}}}{u_e} = \frac{0,2 h_e f_{ct,m}}{f_{ywk}}$$

$$\frac{A_{sl,\text{mín}}}{u_e} = \frac{0,2 \cdot 0,06 \cdot 0,3 \sqrt{20^2} \cdot 10^3}{500 \cdot 10^3}$$

$$\frac{A_{sl,\text{mín}}}{u_e} = 0,53 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Logo, será utilizado $\frac{A_{sl}}{u_e} = 0,87 \text{ cm}^2 / \text{m}$.

3.2.3.5 Dimensionamento final

- Estribos

$$\left(\frac{A_{s,90}}{s} \right)_{\text{TOTAL}} = 0,87 + \frac{2,65}{2} = 2,20 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Utilizando barras de 6,3 mm de diâmetro, tem-se:

$$A_b = \frac{\pi \cdot 0,63^2}{4} = 0,31 \text{ cm}^2$$

$$\frac{0,31}{s} = 2,20$$

$$s = 14,09 \cong 14 \text{ cm}$$

- Armadura longitudinal

Para a face inferior:

$$A_{sl} = 2,03 + 0,87 \cdot (0,3 - 0,06) = 2,24 \text{ cm}^2$$

Utilizando barras de 10,0 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{2,24}{\left(\frac{\pi \cdot 1,0^2}{4}\right)} = 2,85 \cong 3 \text{ barras}$$

Para a face superior:

$$A_{sl} = 0,87 \cdot (0,3 - 0,06) = 0,21 \text{ cm}^2$$

Utilizando barras de 4,2 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{0,21}{\left(\frac{\pi \cdot 0,42^2}{4}\right)} = 1,52 \cong 2 \text{ barras}$$

Para as faces laterais:

$$A_{sl} = 0,87 \cdot (0,45 - 0,06) = 0,34 \text{ cm}^2$$

Utilizando barras de 5,0 mm de diâmetro, tem-se que o número de barras é igual a:

$$n = \frac{0,34}{\left(\frac{\pi \cdot 0,5^2}{4}\right)} = 1,73 \cong 2 \text{ barras}$$

- Detalhamento

A Figura 3.15 apresenta o detalhamento das armaduras longitudinais e estribos da viga lateral inclinada.

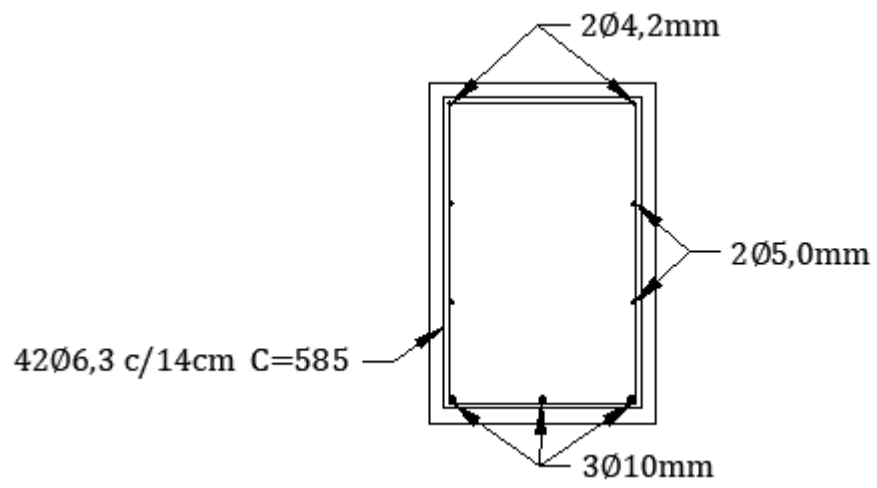


Figura 3.15 - Detalhamento da viga lateral inclinada (Fonte: autor).

4 CYPECAD

4.1 Sobre o software

O CYPECAD é um software desenvolvido pela empresa espanhola CYPE Ingenieros, utilizado na elaboração de projetos estruturais de edifícios (CYPE INGENIEROS). A versão em português do programa é responsabilidade da empresa portuguesa Top - Informática, Ltda., representante da CYPE Ingenieros desde o ano de 1991 (TOP - INFORMÁTICA).

Desenvolvido para realizar projetos estruturais em concreto armado ou misto de concreto e aço, o CYPECAD abrange as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos (MULTIPLUS). Para o dimensionamento de estruturas de concreto armado, o software, na versão 2016, tem como base as normas ABNT NBR 6118 (2014) - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, ABNT NBR 6122 (1996) - Projeto e execução de fundações, ABNT NBR 6120 (1980) - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, ABNT NBR 7480 (2007) - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação, ABNT NBR 6123 (1988) - Forças devido ao vento em edificações e ABNT NBR 8681 (2003) - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (MULTIPLUS).

O CYPECAD contém um núcleo para o dimensionamento de escadas, que apresenta o detalhamento dos lances e patamares, além de permitir uma análise dos esforços e deslocamentos. Esse núcleo apresenta como limitação realizar apenas o dimensionamento de escadas com laje sob os degraus, que podem ser concretados com a laje ou realizados com tijolos. Outros tipos de escadas podem ser dimensionados com a utilização de simulações no programa.

4.2 Escada de um lance, armada longitudinalmente

O dimensionamento da escada de um lance, armada longitudinalmente, foi realizado através do software CYPECAD 2016 (Brasil). Para tanto, utilizou-se o núcleo de escadas presente no software, que realiza o cálculo das armaduras e

apresenta o seu detalhamento. A Figura 4.1 mostra as etapas utilizadas para dimensionamento da escada.

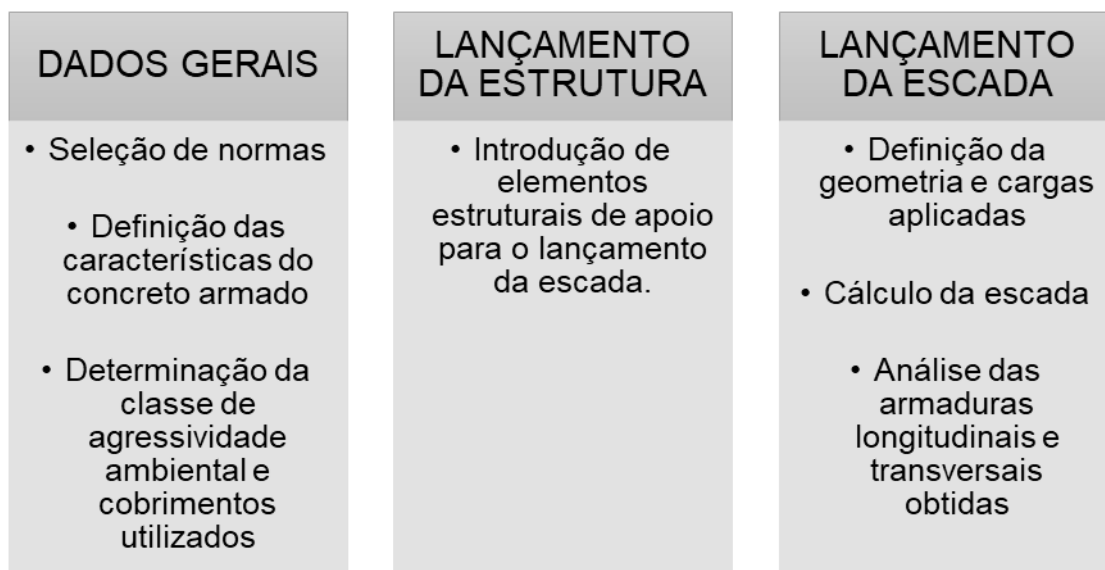


Figura 4.1 - Esquema do desenvolvimento do projeto utilizando o software CYPECAD 2016 - Brasil (Fonte: autor).

Na inserção dos dados gerais da obra é necessário definir as normas utilizadas, certificando-se que essas estejam atualizadas e tenham aplicação no Brasil. Para o desenvolvimento do projeto da escada foram selecionadas as normas apresentadas na Figura 4.2.

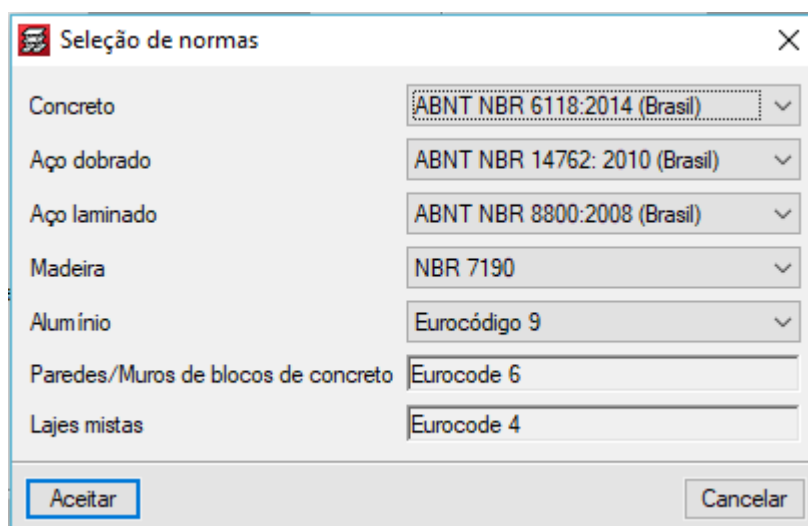


Figura 4.2 - Aba de seleção de normas do software CYPECAD (Fonte: CYPECAD).

Com o objetivo de realizar a comparação entre os métodos de cálculo manual e através do software, foram determinadas características do concreto armado similares para ambos. Definiu-se, portanto, concreto com resistência à compressão característica (f_{ck}) igual a 20 MPa, com agregado graúdo de calcário e dimensão máxima de 19 mm. Foram utilizadas barras de aço CA-50. A classe de agressividade do ambiente foi definido como CAA I (Agressividade fraca) e o cobrimento para escadas foi fixado em 1,5 cm.

Após a inserção dos dados gerais da obra, foram lançados os elementos estruturais de apoio para a introdução da escada. Para isso, foi lançada parte de uma edificação de dois pavimentos, como mostra a Figura 4.3, com pé direito de 3,06 m e área total de 120 m².

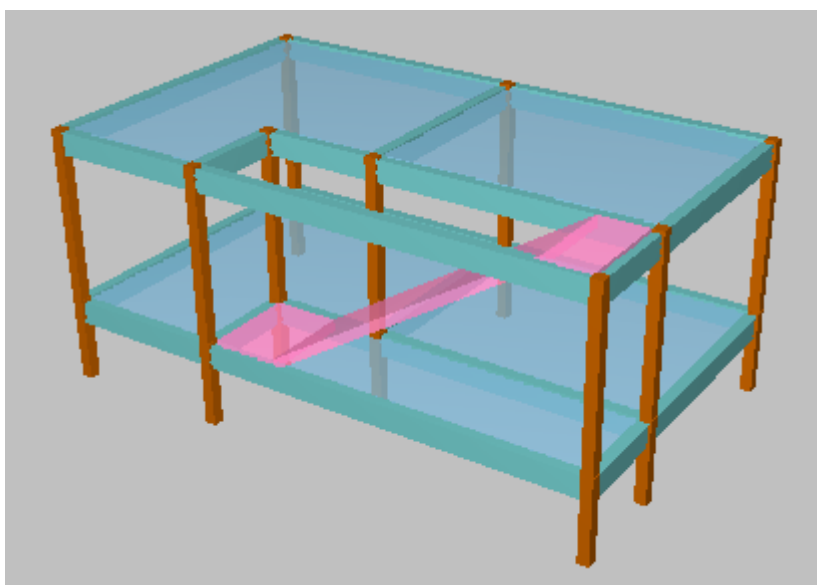


Figura 4.3 - Vista 3D da estrutura utilizada como base para a inserção da escada de um lance, armada longitudinalmente (Fonte: CYPECAD).

Para a inserção da escada, foi utilizado o módulo de escadas do CYPECAD. Os valores da geometria e cargas utilizados estão apresentados na Figura 4.4. A aba de criação da tipologia da escada está apresentada na Figura 4.5. Nessa são

inseridos os dados de altura da laje, número de degraus e comprimento dos patamares de chegada e saída.

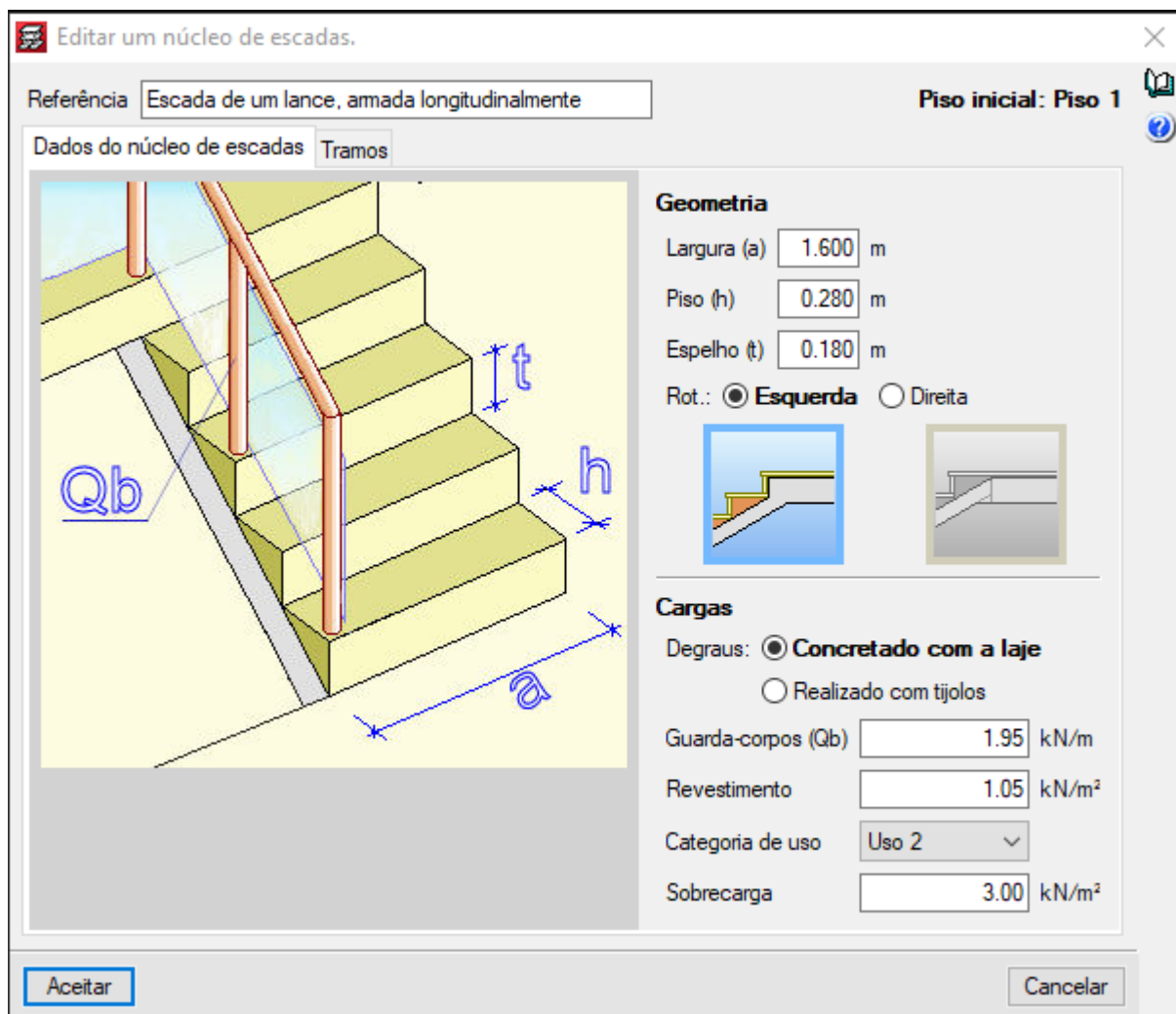


Figura 4.4 - Núcleo de escadas do CYPECAD (Fonte: CYPECAD).

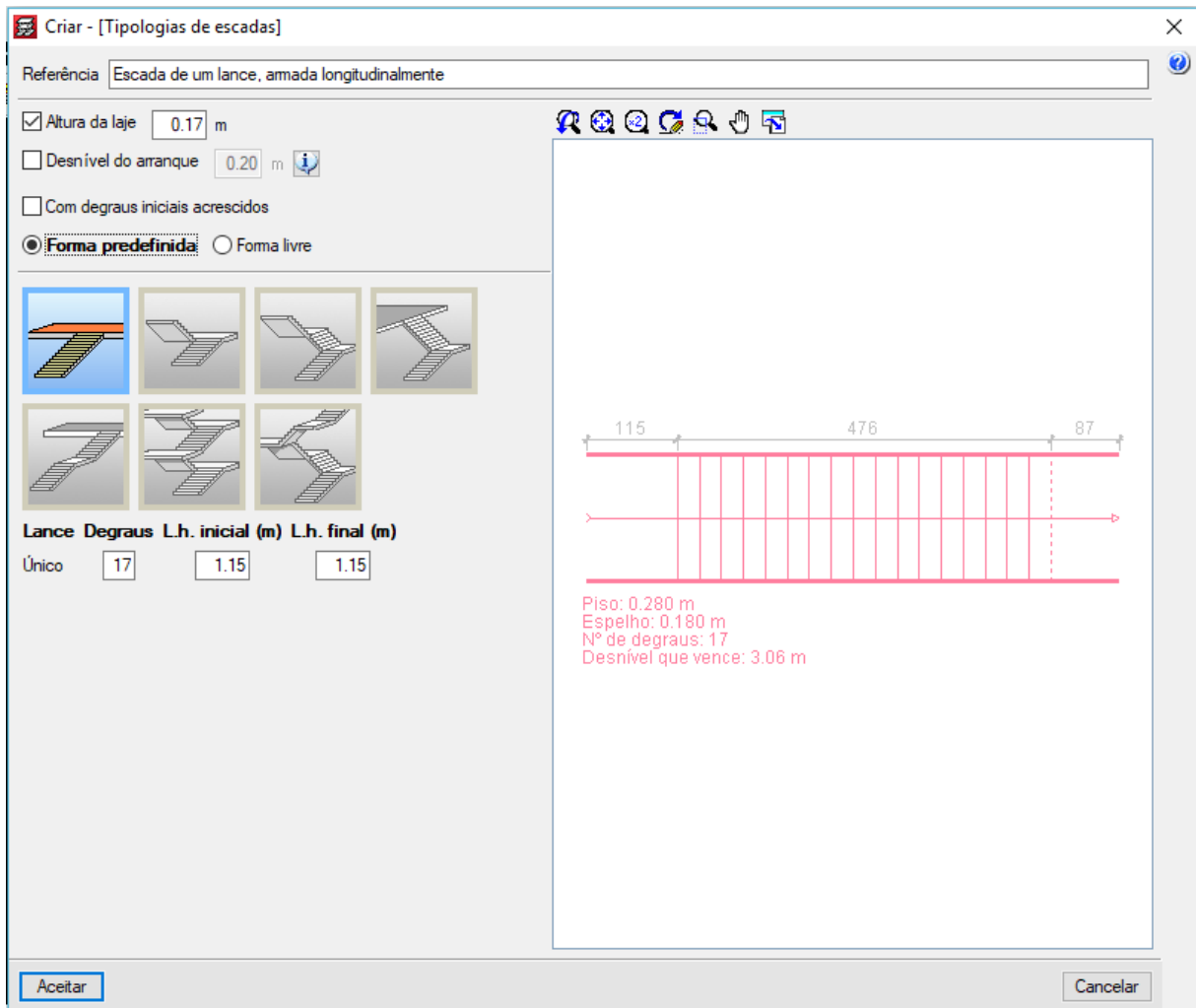


Figura 4.5 - Aba de criação da tipologia da escada (Fonte: CYPECAD).

Após a inserção da escada, o CYPECAD considera automaticamente que os patamares de chegada e saída estão apoiados sobre as vigas presentes nas extremidades. Realiza-se, então, o cálculo da estrutura e obtenção das armaduras longitudinais e de distribuição na região dos degraus e patamares. A Figura 4.6 apresenta o quadro de detalhamento gerado pelo CYPECAD. É possível observar que o software realiza o cálculo do peso próprio da laje e dos degraus inseridos, uma vez que, foram inseridos inicialmente apenas os valores de carga do revestimento, guarda-corpo e a sobrecarga. A Figura 4.7 apresenta a vista superior da escada, estando representados o comprimento na região dos degraus e patamares, além da posição dos cortes AA e BB.

Tramo 1		
Geometria	Largura	1.600 m
	Espessura	0.17 m
	Piso	0.280 m
	Espelho	0.180 m
	Desnível que vence	3.06 m
	Nº de degraus	17
	Piso final	Piso 2
	Piso inicial	Piso 1
Cargas	Peso próprio	4.17 kN/m ²
	Degraus (Concretado com a laje)	1.86 kN/m ²
	Revestimento	1.05 kN/m ²
	Guarda-corpos	1.95 kN/m
	Sobrecarga	3.00 kN/m ²
Materiais	Concreto	C20, em geral
	Aço	CA-50
	Cob. geométrico	1.5 cm

Figura 4.6 - Quadro gerado pelo CYPECAD através do cálculo da escada.
(Fonte: CYPECAD).

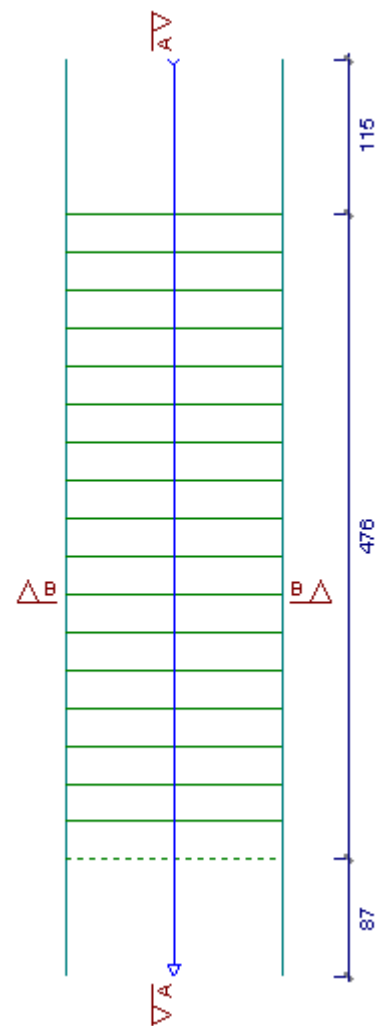


Figura 4.7 - Vista superior da escada.
(Fonte: CYPECAD).

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam, respectivamente, as seções AA e BB da escada, com o detalhamento das armaduras longitudinais de flexão e armaduras de distribuição. Os resultados obtidos são:

- Armadura longitudinal 33Ø12,5mm c/5cm
- Armadura de distribuição 80Ø5,0mm c/10cm

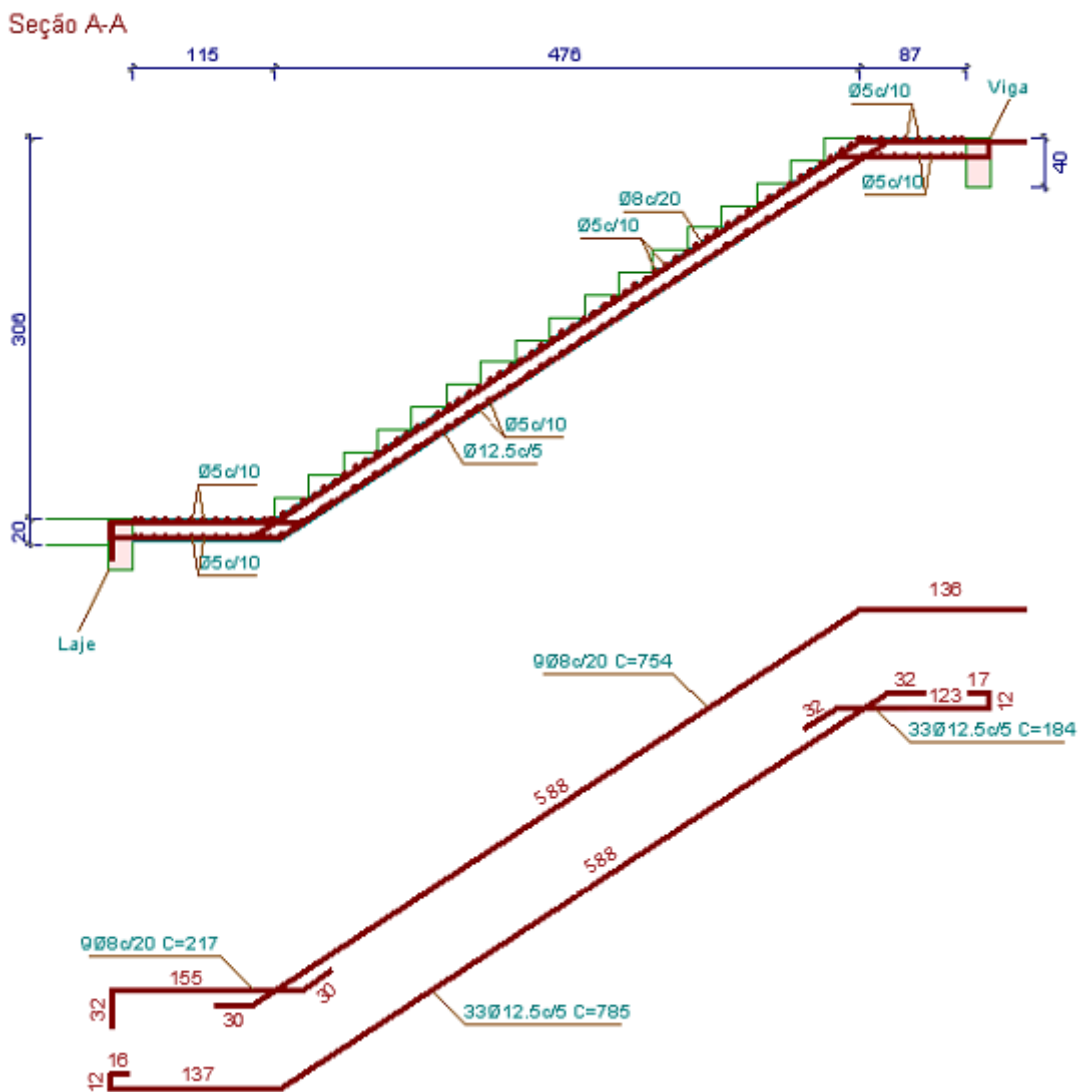


Figura 4.8 - Corte AA: Detalhamento das armaduras longitudinais (Fonte: CYPECAD).

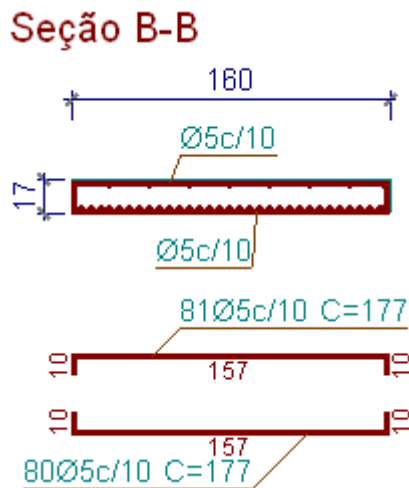


Figura 4.9 - Corte BB: Detalhamento das armaduras transversais (Fonte: CYPECAD).

4.3 Escada em balanço, com degraus isolados

O dimensionamento da escada em balanço, com degraus isolados, foi realizado através do software CYPECAD 2016 (Brasil). As etapas de definição de dados da obra e lançamento da estrutura são realizadas similarmente ao apresentado no tópico anterior. Já a etapa de lançamento da escada é realizada a partir de uma simulação utilizando o módulo de vigas e lajes do programa, uma vez que, seu núcleo de escadas não contém o modelo calculado.

A Figura 4.10 apresenta a vista 3D da estrutura de simulação da escada, além do edifício utilizado como base para a sua inserção. Para o lançamento da escada foi introduzida uma viga em um nível intermediário, 0,60 m acima do nível térreo, onde foram engastados os degraus (lajes lançadas a partir de vigas de borda). Tanto na viga lateral, como nos degraus, foi aplicado desnível em três pontos, gerando a inclinação necessária na escada.

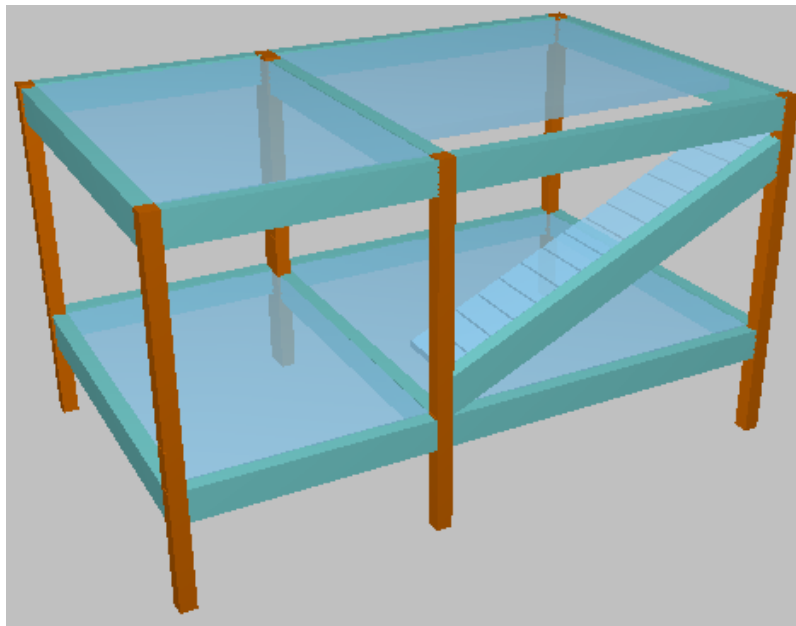


Figura 4.10 - Vista 3D da estrutura de simulação da escada e do edifício utilizado como base para a sua inserção (Fonte: CYPECAD).

O lançamento dos valores de carga acidental e de revestimento sobre a escada foi realizado através da aba de inserção de pisos presente no software. No nível intermediário, onde foi lançada a estrutura de simulação da escada, foi considerada sobrecarga de $2,5 \text{ kN/m}^2$ e carga de revestimento de $1,05 \text{ kN/m}^2$. Já a carga do corrimão, de $0,2 \text{ kN/m}$ foi aplicada na extremidade em balanço de cada degrau, utilizando-se a função de inserção de cargas lineares em vigas, disponível no CYPECAD.

Após o lançamento das cargas, realiza-se o cálculo da estrutura e obtenção das armaduras dos degraus e da viga lateral. Como é utilizada uma estrutura de simulação, é necessário realizar o detalhamento dos degraus e da viga lateral utilizando o software AutoCAD.

As Figuras 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, o detalhamento das armaduras longitudinais e armaduras de distribuição de um degrau da escada em balanço, com degraus isolados. A Figura 4.13 apresenta a vista superior, com o detalhamento da localização das armaduras longitudinais e de distribuição de um

degrau. O detalhamento apresentado é semelhante para todos os degraus da escada dimensionada. Os resultados obtidos são:

- Armadura longitudinal 2Ø6,3mm c/20cm
- Armadura de distribuição 5Ø6,3mm c/20cm

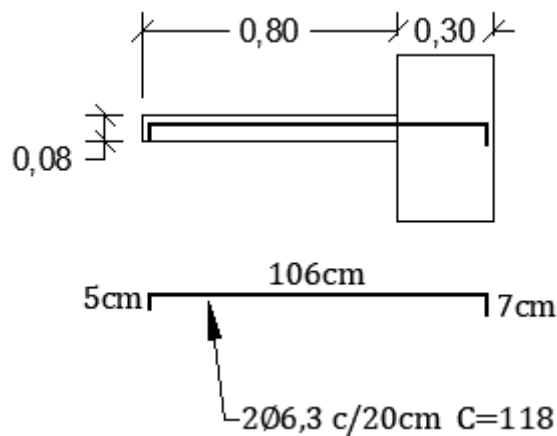


Figura 4.11 - Vista lateral de um degrau da escada engastada com degraus isolados. Apresenta o detalhamento das armaduras longitudinais de flexão obtidas a partir do CYPECAD. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

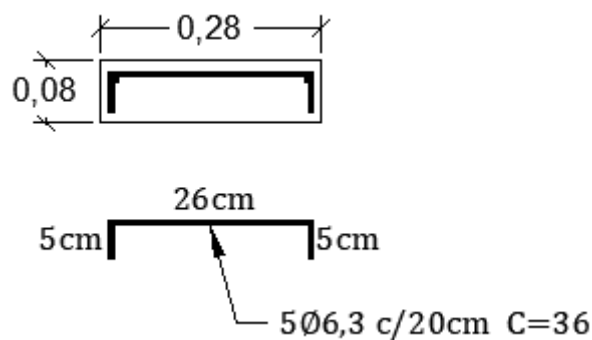


Figura 4.12 - Corte transversal de um degrau da escada engastada com degraus isolados. Apresenta o detalhamento das armaduras de distribuição obtidas a partir do CYPECAD. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

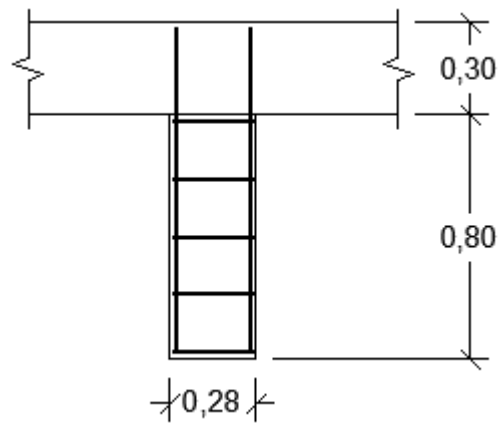


Figura 4.13 - Vista superior de um degrau da escada engastada com degraus isolados. Apresenta o detalhamento das armaduras longitudinais e de distribuição obtidas a partir do CYPECAD. As medidas estão apresentadas em metros (Fonte: autor).

A Figura 4.14 apresenta o detalhamento das armaduras longitudinais e estribos da viga lateral inclinada.

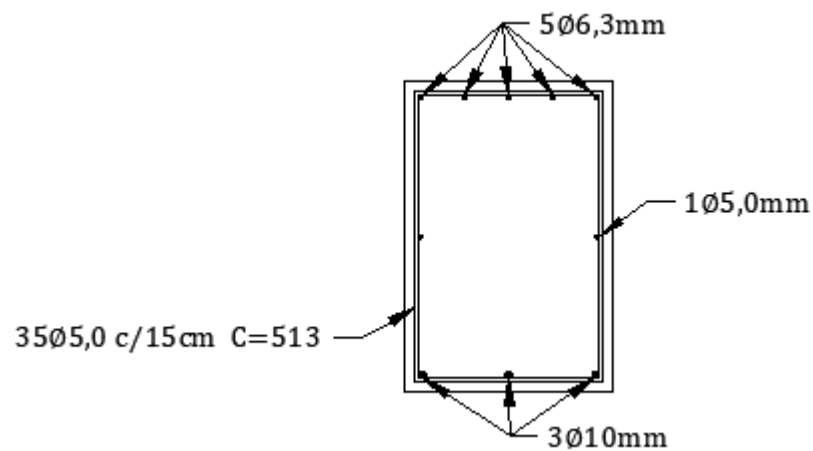


Figura 4.14 - Detalhamento da viga lateral inclinada, obtido a partir do CYPECAD (Fonte: autor).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A comparação entre os métodos de dimensionamento de escadas, detalhados no presente trabalho, foi realizada a partir da área de aço efetiva obtida em cada um deles. A Tabela 5.1 apresenta os valores de área de aço obtidos a partir do cálculo manual e através do CYPECAD para a escada de um lance, armada longitudinalmente. São apresentadas, também, as diferenças de área obtidas entre os métodos.

Tabela 5.1 - Diferença entre as áreas de aço obtidas a partir dos dois métodos de dimensionamento, para a escada de um lance, armada longitudinalmente

	Manual (cm ²)	CYPECAD (cm ²)	Diferença (cm ²)	Diferença (%)
Longitudinal	15,71	40,5	24,79	+ 157,80
Distribuição	13,74	15,71	1,97	+ 14,34

A escada de um lance, armada longitudinalmente, foi dimensionada de forma manual, considerando-a como uma laje inclinada, apoiada em vigas laterais. Para isso foi considerada apenas a flexão simples, desprezando-se os esforços axiais, uma vez que, são muito pequenos. Já o dimensionamento através do software CYPECAD foi realizado considerando o momento fletor e os esforços axiais presentes na escada. Esse fator pode explicar o aumento considerável da armadura de flexão na escada (157,80%).

O aumento de 14,34% nas armaduras de distribuição se deve aos diferentes métodos utilizados. O dimensionamento manual foi realizado utilizando-se o método de simplificação da estrutura geral. Já o dimensionamento no CYPECAD é realizado através do método dos elementos finitos, que consiste em dividir um elemento contínuo em diversos elementos menores, sem afetar o comportamento geral da estrutura (MAGNUS e VARGAS, 2018). Para o dimensionamento da escada de um lance, armada longitudinalmente, o CYPECAD apresentou, portanto, resultados mais conservadores em relação à segurança da estrutura e menos econômicos.

As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os valores de área de aço obtidos a partir do cálculo manual e através do CYPECAD para a escada em balanço, com degraus isolados. São apresentadas, também, as diferenças de área obtidas entre os métodos.

Tabela 5.2 - Diferença entre as áreas de aço obtidas a partir dos dois métodos de dimensionamento, para os degraus da escada em balanço, com degraus isolados

	Manual (cm ²)	CYPECAD (cm ²)	Diferença (cm ²)	Diferença (%)
Longitudinal	1,56	0,62	-0,94	- 60,26
Distribuição	0,94	1,56	0,62	+ 65,96

Tabela 5.3 - Diferença entre as áreas de aço obtidas a partir dos dois métodos de dimensionamento, para a viga lateral da escada em balanço, com degraus isolados

	Manual (cm ²)	CYPECAD (cm ²)	Diferença (cm ²)	Diferença (%)
Longitudinal superior	0,28	1,56	1,28	+ 457,14
Longitudinal inferior	2,36	2,36	0	0
Longitudinal lateral	0,39	0,2	-0,19	- 48,72
Estribos	13,09	6,87	-6,22	- 47,52

O dimensionamento da escada em balanço, com degraus isolados, através do software CYPECAD, apresentou limitações no lançamento da estrutura e das cargas aplicadas. Como o núcleo de escadas do programa não contém o modelo com degraus isolados, foi necessário utilizar uma estrutura de simulação a partir de lajes engastadas em uma viga lateral. No lançamento da viga lateral, não foi possível aplicar a inclinação de 31,57° utilizada no cálculo manual, sendo utilizada inclinação de 21°. Devido à menor inclinação, o comprimento da viga foi reduzido de 5,85 m para 5,33 m.

Para realizar o dimensionamento manual dos degraus da escada, foram analisadas duas situações de carregamento, sendo utilizada aquela que provoca maior momento fletor no engaste. A primeira considera os degraus totalmente carregados e a segunda considera os degraus descarregados, como demonstrado no tópico 3.2.2.1. Para o dimensionamento manual, foi utilizada a segunda hipótese, que gerou um momento fletor 76,05% maior que na primeira hipótese.

O dimensionamento através do software CYPECAD, entretanto, permite apenas a utilização da primeira situação de carregamento. Isso porque a segunda situação gera grandes deformações na estrutura dimensionada, não obtendo resultados válidos, uma vez que, o programa realiza uma análise linear da estrutura, baseada na hipótese de pequenas deformações.

A redução de 60,26% na área de aço das armaduras longitudinais dos degraus pode ser explicada pela utilização da primeira hipótese de carregamento, que considera os degraus totalmente carregados, gerando menor momento fletor no engaste. Já o aumento de 65,96% nas armaduras de distribuição se deve aos diferentes métodos utilizados, assim como pela utilização de uma estrutura de simulação para o dimensionamento da escada. O CYPECAD se mostrou, portanto, mais conservador em relação à segurança da estrutura no cálculo das armaduras de distribuição.

A redução na inclinação da viga lateral em aproximadamente 10° proporciona um aumento no momento torçor solicitante. Como a armadura longitudinal na face superior é obtida através do dimensionamento à torção, podemos explicar o aumento de 457,14% na área de aço obtida. Além disso, no cálculo da armadura longitudinal, o CYPECAD considera também o efeito de esforços axiais, que foram desprezados no dimensionamento manual.

A redução de 48,72% na área de aço da armadura longitudinal lateral e de 47,52% na área de aço dos estribos indica erro no modelo de escada simulado no CYPECAD. Isso porque, a redução na inclinação da viga lateral em aproximadamente 10° proporciona um aumento no momento torçor e esforço cortante solicitante, o que deveria provocar um aumento na taxa de armadura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, foram alcançados os objetivos propostos inicialmente. Através do dimensionamento dos dois modelos de escadas, foram aprofundados conhecimentos sobre o dimensionamento de escadas em concreto armado e sobre o funcionamento do software CYPECAD.

O dimensionamento manual das escadas evidenciou os passos e as considerações utilizadas no cálculo simplificado da estrutura. Essa etapa mostrou-se indispensável para a análise das normas utilizadas, visando garantir conforto e segurança aos usuários. Já os obstáculos apresentados durante o dimensionamento das escadas no CYPECAD demonstraram a importância do conhecimento da metodologia utilizada por softwares. Assim, é possível realizar a interpretação correta dos resultados e analisar se esses apresentam coerência com os valores utilizados na prática.

No dimensionamento da escada de um lance, armada longitudinalmente, o método de cálculo manual mostrou-se dispendioso, porém mais econômico, uma vez que apresentou taxas de armaduras menores em relação ao cálculo realizado através do CYPECAD. A utilização do software conferiu rapidez e praticidade ao processo, gerando resultados mais conservadores em relação à segurança da estrutura.

Para a escada em balanço, com degraus isolados, o cálculo manual também se mostrou dispendioso, porém mais confiável. O CYPECAD apresentou limitações no lançamento da estrutura e das cargas aplicadas, gerando resultados discrepantes dos calculados de forma manual e tornando inviável a comparação entre os métodos.

7 REFERÊNCIAS

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaço e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3ª Edição. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

CYPE INGENIEROS. Sobre a empresa: CYPE Ingenieros. **CYPE - Software para Engenharia e Construção**. Disponível em: <http://www.cype.pt/cype_ingenieros/>. Acesso em: 3 Junho 2019.

DE ARAÚJO, J. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: DUNAS, v. 4, 2010.

GAGETI, G. **Tipos, cálculos e detalhes de escadas de concreto armado**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 10. 2012.

GUERRIN, A. **Tratado de Concreto Armado**. São Paulo: Hemus, v. III, 1990.

KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2ª Edição. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

MAGNUS, T.; VARGAS, A. Análise comparativa de diferentes métodos de cálculo para escadas de concreto armado. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil / UNESC**, Santa Catarina, v. 1, p. 36, Março/Setembro 2018.

MULTIPLUS. CYPECAD - Software para cálculo estrutural e projeto estrutural. **Multipius Softwares Técnicos.** Disponível em: <<https://multipius.com/software/cypecad/index.asp>>. Acesso em: 3 Junho 2019.

QUEVEDO, F. **Programa Computacional para Automatizar o Dimensionamento e Detalhamento de Escadas de Concreto Armado em Edifícios.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 25. 2011.

SANTOS, R. **A Armação do Concreto no Brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 15. 2008.

TOP - INFORMÁTICA. Sobre a empresa: Top - Informática. **CYPE - Software para Engenharia e Construção.** Disponível em: <http://www.cype.pt/cype_ingenieros/topinformatica/>. Acesso em: 3 Junho 2019.