

Análise da segurança na utilização de pilares com dimensões menores que as estabelecidas na NBR 6118-2023 em edificações térreas e sobrados



**Vitor Mascarenhas
Lustosa De Alvarenga**

**Aline Figueirêdo
da Nóbrega**

**Fabiola Luana
Maia Rocha**

**Diego de Paiva
Bezerra**

**Letícia Sabrina de
Melo Souza**

**Iranilza Costa
da Silva**

**Ezio Luiz
Martins Simões**

**Tayná Chaves Santana
Lopes Ferreira**



Compartilhando conhecimento

Análise da segurança na utilização de pilares com dimensões menores que as estabelecidas na NBR 6118-2023 em edificações térreas e sobrados



**Vitor Mascarenhas
Lustosa De Alvarenga**

**Aline Figueirêdo
da Nóbrega**

**Fabiola Luana
Maia Rocha**

**Diego de Paiva
Bezerra**

**Letícia Sabrina de
Melo Souza**

**Iranilza Costa
da Silva**

**Ezio Luiz
Martins Simões**

**Tayná Chaves Santana
Lopes Ferreira**



Compartilhando conhecimento

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

ISBN: 978-65-88890-45-5

DOI: doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-45-5

Autores

Vitor Mascarenhas Lustosa De Alvarenga
Aline Figueirêdo da Nóbrega
Fabíola Luana Maia Rocha
Diego de Paiva Bezerra
Letícia Sabrina de Melo Souza
Iranilza Costa da Silva
Ezio Luiz Martins Simões
Tayná Chaves Santana Lopes Ferreira

Editor Chefe

Dr Washington Moreira Cavalcanti

Conselho Editorial

Dra. Lais Brito Cangussu
Dr. Rômulo Maziero
Msc Jorge dos Santos Mariano
Dr Jean Canestri
Msc Daniela Aparecida de Faria
Dr Paulo Henrique Nogueira da Fonseca
Dr Marcos Pereira dos Santos
Msc Edgard Gonçalves da Costa

Projeto Gráfico e Diagramação

Departamento de arte Synapse Editora

Editoria de Arte

Maria Aparecida Fernandes

Revisão

Os Autores

2024 by Synapse Editora

Copyright © Synapse Editora

Copyright do Texto © 2024 Os autores

Copyright da Edição © 2024 Synapse Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Synapse Editora pelos autores.

Todo o texto bem como seus elementos, metodologia, dados apurados e a correção são de inteira responsabilidade dos autores. Estes textos não representam de forma alusiva ou efetiva a posição oficial da Synapse Editora.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Os livros editados pela Synapse Editora, por serem de acesso livre, *Open Access*, é autorizado o download da obra, bem como o seu compartilhamento, respeitando que sejam referenciados os créditos autorais. Não é permitido que a obra seja alterada de nenhuma forma ou usada para fins comerciais.

O Conselho Editorial e pareceristas convidados analisaram previamente todos os manuscritos que foram submetidos à avaliação pelos autores, tendo sido aprovados para a publicação.



Compartilhando conhecimento

2024

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

V845a Alvarenga, Vitor Mascarenhas Lustosa De

Análise da segurança na utilização de pilares com dimensões menores que as estabelecidas na NBR 6118-2023 em edificações térreas e sobrados.

Autores: Vitor Mascarenhas Lustosa De Alvarenga, Aline Figueirêdo da Nóbrega, Fabíola Luana Maia Rocha, Diego de Paiva Bezerra, Letícia Sabrina de Melo Souza, Iranilza Costa da Silva, Ezio Luiz Martins Simões, Tayná Chaves Santana Lopes Ferreira.

Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2024, 58 p.

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-45-5

DOI: doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-45-5

1. Pilares, 2. Dimensões mínimas, 3. Segurança, 4. Engenharia Civil, 5. Cálculo Estrutural

I. Análise da segurança na utilização de pilares com dimensões menores que as estabelecidas na NBR 6118-2023 em edificações térreas e sobrados.

II. Vitor Mascarenhas Lustosa De Alvarenga, Aline Figueirêdo da Nóbrega, Fabíola Luana Maia Rocha, Diego de Paiva Bezerra, Letícia Sabrina de Melo Souza, Iranilza Costa da Silva, Ezio Luiz Martins Simões, Tayná Chaves Santana Lopes Ferreira.

CDD: 624 - 1834

CDU: 624

SYNAPSE EDITORA

Belo Horizonte – Minas Gerais

CNPJ: 20.874.438/0001-06

Tel: + 55 31 98264-1586

www.editorasynapse.org

editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento

2024

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

Este e-book foi desenvolvido com o objetivo de oferecer uma compreensão clara e detalhada sobre os elementos estruturais essenciais em construções, com destaque para os pilares. Neste estudo, examinamos a segurança da utilização de pilares com dimensões mínimas que não atendem à ABNT NBR 6118 (2023), além de analisar a diferença de custos entre pilares conformes e não conformes à norma.

Dentre as várias questões sobre o dimensionamento de pilares de concreto armado, uma das principais é a proibição pela ABNT NBR 6118 do uso de pilares com dimensão inferior a 14 cm e área menor que 360 cm². No entanto, a ABNT NBR 15575-2, que trata do desempenho das edificações, permite o uso de pilares menores em construções com até 6 metros de altura, uma prática comum em obras residenciais para redução de custos. Além disso, normas anteriores, como a antiga NB 1, permitiam o uso de pilares com dimensões menores.

Esperamos que este livro seja uma ferramenta essencial para seu aprendizado e prática no projeto de estruturas.

Boa Leitura!

Os Autores



Compartilhando conhecimento

2024

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

SUMÁRIO

RESUMO	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Não-linearidade física	14
2.1.1 Não-linearidade geométrica	17
2.2 Esbeltez	19
2.3 Esforços no Pilar	21
2.3.1 Esforços iniciais	21
2.3.2 Esforços devido às imperfeições geométricas	22
2.3.3 Esforços locais de 2a ordem	24
2.3.4 Esforços devido à fluência	24
2.4 Métodos para cálculo de esforços de segunda ordem	26
2.4.1 Método do pilar-padrão	26
2.4.2 Método do pilar-padrão com curvatura aproximada	27
2.4.3 Método do pilar-padrão com rigidez aproximada	27
2.4.4 Método do pilar-padrão acoplado aos diagramas N,M e 1/r	28
2.4.5 Método geral	29
2.5 Breve histórico de considerações das normas brasileiras sobre as dimensões de pilares	30
3 METODOLOGIA	31
3.1 Escolha das características físicas dos materiais	31
3.2 Escolha das características físicas dos pilares	32
3.3 Definição dos carregamentos nos pilares	33
3.3.1 Definição de geometria genérica	33
3.3.2 Cálculo das cargas nos pilares	34
3.3.3 Apresentação do programa P-calc v1.4	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 Resultados para as situações de carregamento de uma casa térrea .	36
4.2 Resultados para as situações de carregamento de um sobrado	37
4.3 Resultados com relação aos métodos.	38
4.4 Resultados de consumos de concreto e fôrmas	39
5 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICES	44
APÊNDICE I	45
APÊNDICE II	46
APÊNDICE III	52
SOBRE OS AUTORES	55

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Análise não-linear de pórtico devido a carregamento horizontal	13
Figura 2 – Diagrama momento curvatura da seção solicitada a flexão simples	16
Figura 3 – Relação momento-curvatura	16
Figura 4 – Deformação senoidal em um pilar	17
Figura 5 – Efeitos de segunda ordem P-A	18
Figura 6 – Configuração deformada local, efeito P- δ	18
Figura 7 – Comprimentos equivalentes de pilares	19
Figura 8 – Parcelas de esforços atuantes em um pilar	21
Figura 9 – Representação dos esforços iniciais em planta	22
Figura 10 – Imperfeição geométrica global em uma estrutura	22
Figura 11 – Imperfeições geométricas locais	23
Figura 12 – Envoltória mínima de primeira ordem	24
Figura 13 – Deformação de um pilar-padrão	26
Figura 14 – Linearização do diagrama de momento fletor - normal - curvatura	29
Figura 15 – Processo de carregamento progressivo proporcional	29
Figura 16 – Fluxograma de realização do trabalho	31
Figura 17 – Planta de fôrma genérica com dimensões em cm	33
Figura 18 – Fator de segurança para pilares de uma casa térrea verificados pelo método da rigidez aproximada	36
Figura 19 – Fator de segurança para pilares de uma casa térrea verificados pelo método geral	37
Figura 20 – Fator de segurança para pilares de um sobrado verificados pelo método da rigidez aproximada	37
Figura 21 – Fator de segurança para pilares de um sobrado verificados pelo método geral	38
Figura 22 – Carregamentos nos pilares : a) Situação de uma casa térrea; b) situação de um sobrado	45
Figura 23 – Carregamento nos pórticos : a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	46
Figura 24 – Momentos fletores em pilares de dimensões 12x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	46
Figura 25 – Esforços normais em pilares de dimensões 12x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	47
Figura 26 – Momentos fletores em pilares de dimensões 12x25cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	47
Figura 27 – Esforços normais em pilares de dimensões 12x25 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	47
Figura 28 – Momentos fletores em pilares de dimensões 13x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	48

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

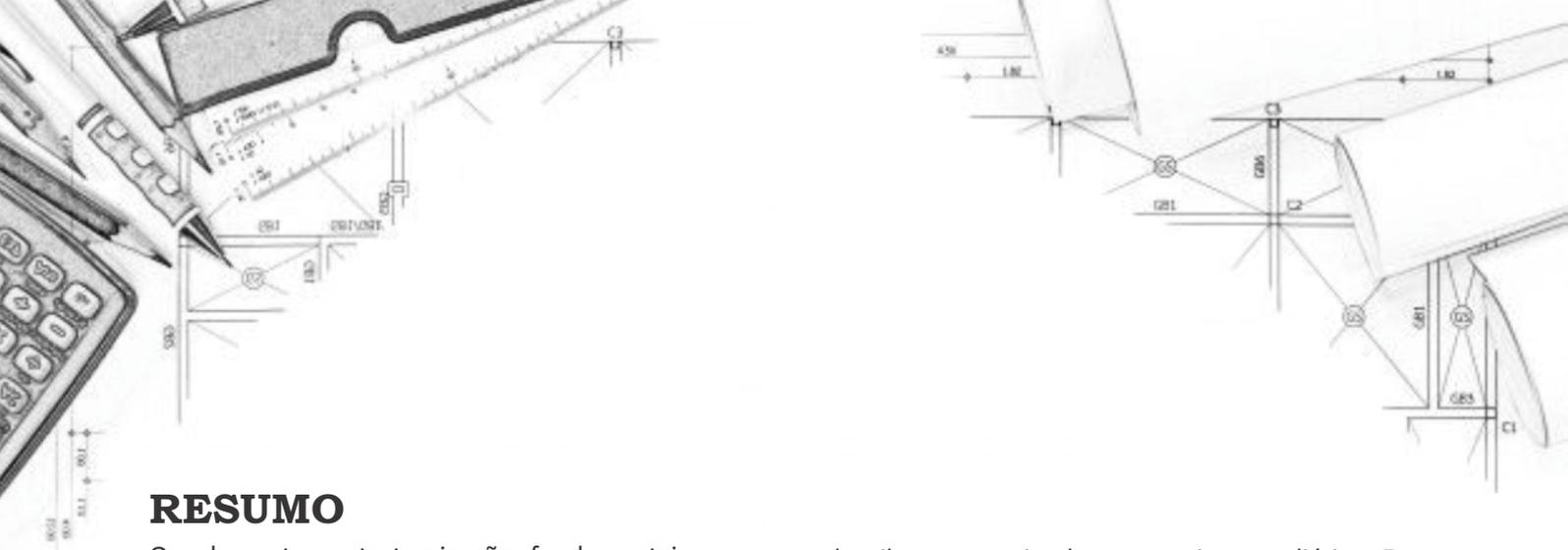
LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 29 – Esforços normais em pilares de dimensões 13x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	48
Figura 30 – Momentos fletores em pilares de dimensões 13x25cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	48
Figura 31 – Esforços normais em pilares de dimensões 13x25 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	49
Figura 32 – Momentos fletores em pilares de dimensões 14x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	49
Figura 33 – Esforços normais em pilares de dimensões 14x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	49
Figura 34 – Momentos fletores em pilares de dimensões 14x26cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	50
Figura 35 – Esforços normais em pilares de dimensões 14x26 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	50
Figura 36 – Momentos fletores em pilares de dimensões 15x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	50
Figura 37 – Esforços normais em pilares de dimensões 15x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c)Pórtico P2 P5 P8	51

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores estabelecidos por norma para a redução da rigidez.	14
Tabela 2 – Proposta de coeficientes redutores de rigidez	15
Tabela 3 – Coeficientes redutores de rigidez dos elementos	15
Tabela 4 – Recomendações da ABNT NBR 6118:2023 para dimensionamento de pilares	20
Tabela 5 – Determinação de valores de α_b segundo a norma ABNT NBR 6118:2023	20
Tabela 6 – Valores característicos superiores da deformação específica de retração $\epsilon_{cs}(t,t_0)$ e do coeficiente de fluência $\varphi(t,t_0)$	25
Tabela 7 – Classes de agressividade ambiental (CAA)	32
Tabela 8 – Tabela de características físicas dos pilares estudados	32
Tabela 9 – Carregamentos na laje treliçada	38
Tabela 10 – Carregamentos nas vigas	34
Tabela 11 – Redução no consumo de concreto e fôrmas para cada um dos pilares	39
Tabela 12 – Resultados para o método da rigidez aproximada em uma casa térrea	52
Tabela 13 – Resultados para o método geral em uma casa térrea	53
Tabela 14 – Resultados para o método da rigidez aproximada em um sobrado	53
Tabela 15 – Resultados para o método geral em um sobrado	54



RESUMO

Os elementos estruturais são fundamentais em construções, e entre eles destacam-se os pilares. O dimensionamento dos pilares é regido pela ABNT NBR 6118 (2023), que determina a área mínima de suas seções transversais e a menor dimensão permitida para execução. Neste estudo, buscamos verificar a segurança da utilização de pilares com dimensões mínimas que não atendem à ABNT NBR 6118 (2023), analisando a diferença de custos entre pilares conformes e não conformes à norma. Para isso, realizamos o estudo de pilares com dimensões mínimas inferiores às estabelecidas pela norma, utilizando concreto de $f_{ck} = 25\text{MPa}$ em obras residenciais unifamiliares de até 2 pavimentos com vãos de até 3,5m. Primeiramente, selecionamos as características físicas dos materiais e dos pilares, definimos os carregamentos e elaboramos uma planta de fôrma genérica que permitisse a existência

de pilares centrais, de canto e intermediários. Em seguida, realizamos o dimensionamento no software P-cal v.14 e calculamos os fatores de segurança. Para as situações de carregamento de uma casa térrea, obtivemos um fator de segurança acima de 1, indicando que os pilares são seguros do ponto de vista estrutural. Já para os sobrados, todos os pilares na situação de canto apresentaram fatores de segurança maiores que 1, porém, alguns pilares centrais e de canto obtiveram fatores menores que 1. Com base nos resultados, concluímos que é possível utilizar pilares com dimensões de até 12x20cm em casas térreas ou para pilares de canto em sobrados, e de até 14x20cm em pilares centrais de sobrados ou 13x20cm em pilares de extremidade.

Palavras-chave:

Pilares, dimensões, mínimas, segurança.

ABSTRACT

The structural elements are essential parts of buildings, and among them, pillars stand out, whose dimensioning is governed by ABNT NBR 6118 (2023), which specifies the minimum area for their cross-section, as well as the smallest permitted dimension to be executed. Thus, this study aims to verify the safety of using pillars with minimum dimensions that do not conform to ABNT NBR 6118 (2023), analyzing the cost difference between compliant and non-compliant pillars. For this purpose, the study of pillars with minimum dimensions below that established by NBR 6118 (ABNT, 2014) was carried out, using concrete of $f_{ck} = 25\text{MPa}$ in single-family residential buildings of up to 2 floors with spans of up to 3.5m. Initially, the physical characteristics of the materials and the pillars were chosen, then the loads were defined, and a generic formwork plan was developed

that allowed for the existence of central, corner, and intermediate pillars, to later carry out the sizing in P-cal software v.14, calculating the safety factors. For the loading situations of a single-story house, a safety factor above 1 was obtained, thus, the pillars are safe from a structural point of view. In parallel, for the two-story house, all corner pillars obtained a safety factor greater than 1, however, some central and corner pillars obtained factors less than 1. According to the results, it is possible to use pillars with dimensions of up to 12x20cm in single-story houses or for corner pillars in two-story houses, and up to 14x20cm in central pillars of two-story houses or 13x20cm in end pillars.

Keywords:

Pillars, dimensions, minimum, safety.

INTRODUÇÃO

V

árias questões são levantadas sobre o dimensionamento de pilares de concreto armado, umas delas é sobre a proibição da utilização de pilares com dimensão menor que 14 cm e área menor que 360 cm^2 pela ABNT NBR 6118, projeto de estruturas de concreto, A ABNT NBR 15575-2, norma de desempenho, permite a utilização de dimensões menores que as dispostas anteriormente para edificações com até 6 metros de altura, o que é uma prática muito comum em obras residenciais, com o objetivo de diminuir os custos de execução. Além disso, normas mais antigas de concreto, como a NBR 6118 a NB 1 permitiam a utilização de pilares com menor dimensão de até 12cm.

A fim de diminuir custos de volume de concreto e de fôrmas (utilizando a alvenaria como fôrma para os pilares) muitas obras residenciais, principalmente de padrão mais baixo, e realizadas sem a presença de engenheiro, chegam a possuir pilares de até 9cm de largura, o que leva o pilar a ter uma esbeltez maior que 90, necessitando, então, de análises mais detalhadas e profundas dos mesmos para que a segurança seja garantida em todas as hipóteses de carregamento.

As edificações de concreto armado de baixa altura estão sujeitas à cargas horizontais de vento pequenas, e apesar de serem obrigatórias para o dimensionamento correto da estrutura dificilmente se atinge o limite de deslocamento horizontal permitido, e as cargas verticias se tornam as mais críticas no cálculo da estrutura.

Uma maneira de viabilizar o uso de pilares esbeltos ou muito esbeltos é através da utilização de concreto de alta resistência, assunto abordado por Entretanto, o uso de concretos de alta resistência implicaria em um custo elevado e necessitaria de um controle rigoroso o que seria pouco viável economicamente em pequenas obras.

Desse modo, neste trabalho realizou-se o estudo de pilares de concreto armado com dimensões mínimas inferiores ao estabelecido pela NBR 6118 com lado menor inferior à 14 cm e/ou área menor que 360cm² e com concreto de $F_{ck} = 25\text{MPa}$ para obras residenciais unifamiliares de até 2 pavimentos com vãos de até 3,5m.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Esse estudo tem como objetivo geral a verificação da segurança quanto à utilização de pilares com dimensões menores que as mínimas estabelecidas na NBR 6118 em obras residenciais unifamiliares de até 2 pavimentos com vãos de até 3,5m.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Analisar a economia gerada pela utilização dos pilares estudados.
2. Analisar a segurança na utilização de pilares com várias dimensões menores que as permitidas na NBR6118:2023.
3. Analisar a decisão da permissão de utilização desses pilares pela NBR15575-2:2013
4. Verificar a diferença nos resultados utilizando 2 métodos de cálculo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



Segundo a NBR 6118 pilares são:

Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.

Esses elementos possuem extrema importância em uma edificação pois eles são responsáveis por transmitir as cargas concentradas dos demais elementos estruturais para as fundações e um erro grosseiro no seu dimensionamento pode levar à ruína da construção

A medida que há o aumento na esbeltez do pilar os efeitos de segunda ordem também aumentam, desse modo, a partir de esbeltez de 90 é necessária a utilização de métodos de cálculo mais refinados.

Para a análise correta de um pilar deve-se realizar uma análise não-linear pois a estrutura se comporta de maneira não proporcional aos carregamentos aplicados nela gerando deslocamentos maiores comparados ao regime linear. Como mostra a Figura

Figura 1 – Análise não-linear de pórtico devido a carregamento horizontal



Fonte: Kimura (2007)

Isso ocorre principalmente pela existência da não-linearidade física (NLF) e da não-linearidade geométrica (NLG) em estruturas de concreto armado.

2.1 Não-linearidade física

Um elemento possui a linearidade física quando há aplicabilidade da Lei de Hooke. Entretanto, pilares de concreto armado não possuem linearidade física pois se comportam de maneira não-linear à aplicação de carregamento devido à alteração das propriedades dos materiais que os constitui, ocasionada principalmente pelas fissurações nas peças.

As fissurações nos elementos estruturais geram uma diminuição na sua rigidez gerando o comportamento mostrado na Figura

A NLF pode ser estimada por métodos aproximados ou por métodos refinados.

• Método aproximado

Para que a NLF seja considerada de maneira aproximada a NBR 6118:2023 recomenda a diminuição na rigidez dos elementos estruturais, na análise de estabilidade global da estrutura, de acordo com a Tabela para edificações com no mínimo 4 pavimentos.

Tabela 1 – Valores estabelecidos por norma para a redução da rigidez.

Elementos	Ei_{sec}
Lajes	$0,3E_c I_c$
Vigas	$0,4E_c I_c$ para $As' > As$ $0,5E_c I_c$ para $As' = As$
Pilares	$0,8 E_c I_c$

Em que:

I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo quando for o caso, as mesas colaborantes

E_c é o valor representativo do módulo de deformação do concreto;

As' e As são as áreas de aço na face superior e inferior respectivamente

Fonte: adaptado de Gomes (2020)

Entretanto, a utilização desses valores de redução para edificações de até 4 pavimentos leva à resultados contra a segurança pois a rigidez dos elementos nesse tipo de edificação é ainda menor do que as recomendadas pela NBR 6118:2023. Desse modo, pesquisadores como e encontraram coeficientes de redução para essas estruturas chegando aos resultados mostrados pelas Tabelas e , onde α_v representa a redução de rigidez em vigas e α_p a redução de rigidez em pilares.

Tabela 2 – Proposta de coeficientes redutores de rigidez

Pavimentos	α_v	α_p
1	0,17	0,66
2	0,15	0,71
3	0,14	0,72

Fonte: adaptado de Moreira, Martins (2018)

Tabela 3 – Coeficientes redutores de rigidez dos elementos

Pavimentos	α_v	α_p	Yz(lim)
1	0,2	0,6	1,3
2	0,3	0,6	
3	0,3	0,7	
4 a 10	0,4	0,8	

Fonte: adaptador de Bueno (2014)

Na maioria dos casos se utiliza o método aproximado pois ele possibilita a análise estrutural global da estrutura sem que se conheça a armadura existente nos elementos estruturais.

Entretanto, as reduções da rigidez dos elementos não devem ser feitas para o dimensionamento local das peças, pois ela é baseada em estudos de estabilidade global para obtenção de esforços nas extremidades dos elementos constituintes de um pórtico

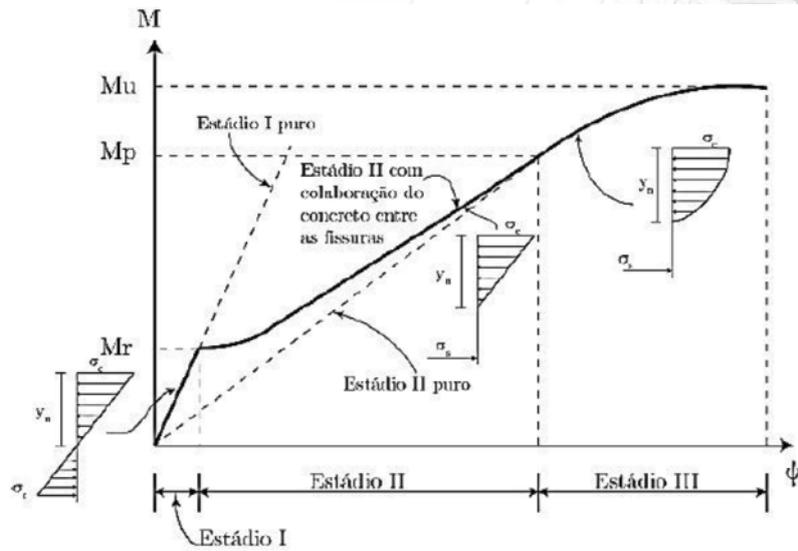
Para ser considerada localmente, no lance de pilar, ela é calculada por uma aproximação do cálculo da curvatura ou da rigidez do lance do pilar (PASTORE, 2020).

• Método refinado

Um método refinado para obtenção da NLF é feito através da análise dos gráficos de variação da curvatura da peça, causada pelo aumento dos momentos fletores, conhecido como diagrama momento-curvatura ($M, l/r$), e quando conhecida a força normal atuante na peça pode ser analisado o diagrama normal-momento-curvatura ($N, M, l/r$).

A relação entre os carregamentos e a deformação do elemento estrutural em seus três estádios pode ser visualizado pelo gráfico na Figura 2.

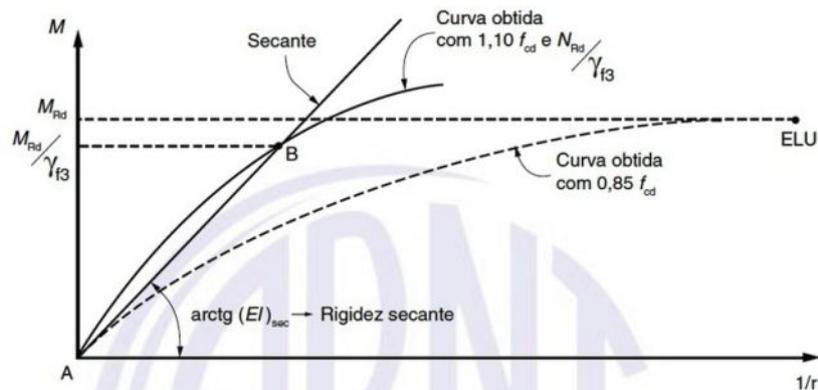
Figura 2 – Diagrama momento curvatura da seção solicitada a flexão simples



Fonte: Mendes (2017)

A NBR 6118:2023 sugere a utilização do gráfico presente na Figura para a consideração da NLF de maneira refinada.

Figura 3 – Relação momento-curvatura



Fonte: NBR 6118:2023

Segundo a NBR 6118:2023:

A curva cheia AB, obtida considerando o valor de força normal igual a $N_{Rd}/g\gamma_3$, que a favor da segurança pode ser linearizada pela reta AB, é utilizada no cálculo das deformações.

A curva tracejada, obtida com os valores de cálculo das resistências do concreto e do aço, é utilizada somente para definir o esforço resistente MRd correspondente a NRd (ponto máximo).

A reta AB é caracterizada pela rigidez secante $(EI)_{sec}$, que pode ser utilizada em processos aproximados para flexão composta normal ou oblíqua.

Apesar de ser mais acurado que o método simplificado, esse método necessita da utilização de métodos computacionais para que se tenha uma produtividade razoável e do conhecimento da armadura das peças.

2.1.1 Não-linearidade geométrica

A NLG ocorre porque, ao ser solicitada por esforços, a estrutura se deforma a fim de resisti-los, encontrando uma posição de equilíbrio entre os esforços solicitantes e Essa deformação leva a à existência de excentricidades na peça e conseqüentemente momentos adicionais passam a ocorrer na estrutura, gerando uma resposta não-linear.

Assim como a NLF, a NLG pode ser encontrada por métodos aproximados ou por métodos refinados.

• Método aproximado

Uma maneira de considerar a NLG localmente na estrutura é através do “pilar padrão”, que consiste na consideração de uma deformação final do pilar seguindo uma senóide, como mostra a Figura A NBR 6118:2023 considera um momento mínimo para a consideração das imperfeições locais seguindo a equação a seguir:

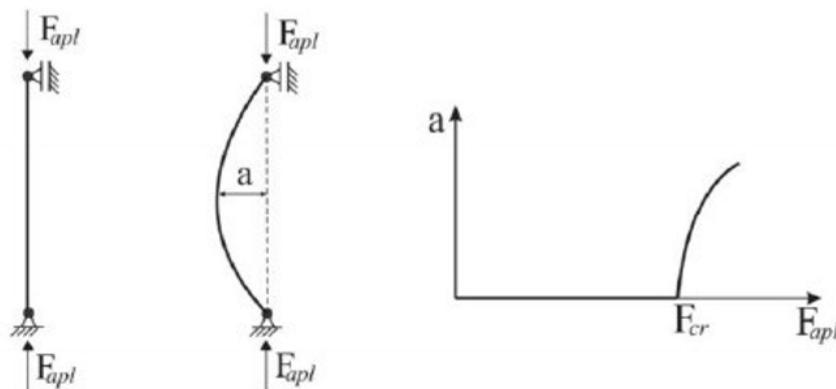
$$M_{1d,min} = Nd * (0,015 + 0,03h) \quad (2.1)$$

Onde:

Nd é a força axial atuante na peça

h é a altura total da seção transversal na direção considerada, expressa em metros (m).

Figura 4 – Deformação senoidal em um pilar



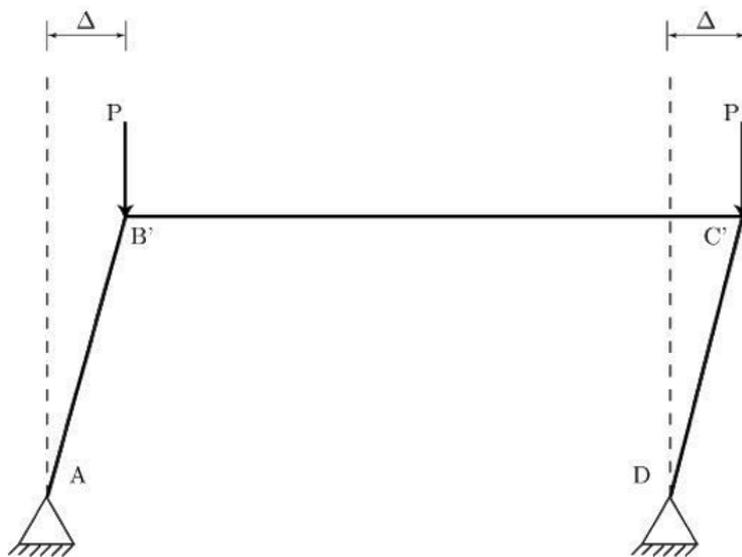
Fonte: Pinto (2017)

• Método refinado

Uma maneira de considerar a NLG de maneira refinada é através de cálculos iterativos a fim de encontrar a posição final da estrutura ou do lance de pilar com a precisão desejada. Esses processos consistem em cálculos seguidos com incrementos de esforços entre cada interação ou através da correção da matriz de rigidez dos elementos a fim de simular a variação em sua geometria de acordo com o incremento de carregamentos

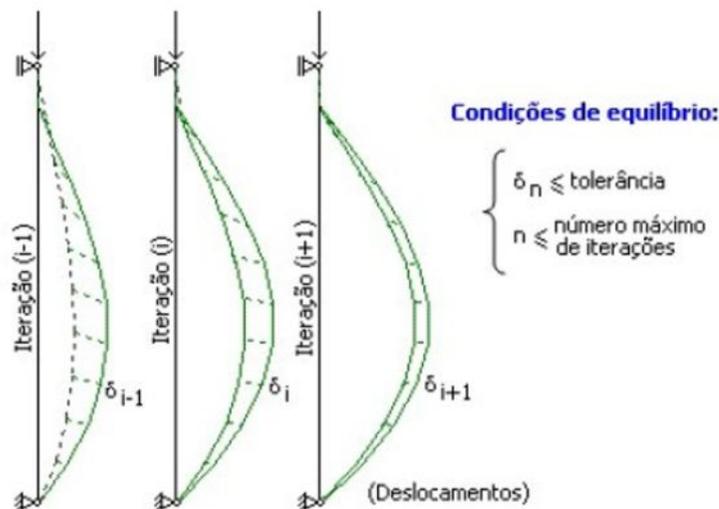
Esses cálculos iterativos são comumente chamados de processos P-A ou P- δ . O processo P-A está relacionado ao momento fletor gerado na base do edifício ao se multiplicar a força normal pelo deslocamento gerado na estrutura como mostra a Fig. E o processo P- δ está relacionado à configuração deformada de cada elemento, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Efeitos de segunda ordem P-A



Fonte: Mendes (2017)

Figura 6 – Configuração deformada local, efeito P- δ



Fonte: Kimura (2007)

2.2 Esbeltez

A esbeltez de um pilar é uma grandeza que depende do seu comprimento e do raio de giração, e é calculada de acordo com as equações a seguir:

$$\lambda = \frac{Le}{i} \quad (2.2)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{Ac}} \quad (2.3)$$

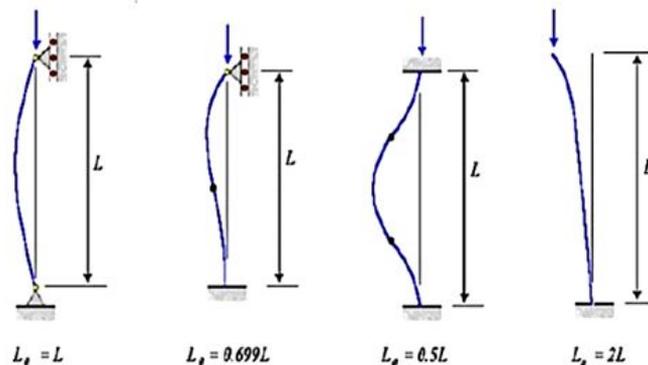
Onde:

- λ : Esbeltez da peça
- i : Raio de giração transversal
- I_c : Momento de inércia
- A_c : Área bruta de concreto

Sendo h a dimensão da altura na seção transversal do pilar na direção analisada.

O comprimento equivalente do pilar depende da sua vinculação no topo e na base como mostrado pela Figura Na situação usual de pilares travados nas duas direções por vigas ou lajes em edificações de concreto armado o comprimento equivalente é o mesmo comprimento L do pilar.

Figura 7 – Comprimentos equivalentes de pilares



Fonte: Kimura (2007)

A esbeltez é uma grandeza muito importante para a análise de um pilar pois quanto maior o seu valor mais complexa deve ser a análise no pilar para que se obtenha resultados aceitáveis. Desse modo, a NBR 6118:2023 sugere a utilização de diferentes métodos de cálculo para pilares com esbeltez diferentes, Tabela .

Tabela 4 – Recomendações da ABNT NBR 6118:2023 para dimensionamento de pilares.

Esbeltez	Desprezar efeitos locais de segunda ordem	Desprezar efeitos locais de fluência	Pilar padrão com curvatura aproximada	Pilar padrão com rigidez adimensional	Pilar padrão acoplado a diagramas N,M, 1/r	Método geral
$\lambda < \lambda_1$	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
$0 < \lambda < 90$	Não permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
$90 < \lambda < 140$	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Permitido	Permitido
$140 < \lambda < 200$	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Permitido

Fonte: Adaptado PASTORE (2020)

O coeficiente λ_1 presente na Tabela refere-se ao valor de esbeltez limite. Quando a esbeltez do pilar é menor que a esbeltez limite permite-se que os efeitos de segunda ordem sejam desprezados. Esse coeficiente é calculado pela equação :

$$\lambda_1 = \frac{12,5}{\alpha b} \left(2 + \frac{e_1}{h} \right) \quad (2.5)$$

para $35 < \lambda_1 < 90$

Sendo e_1 a excentricidade de primeira ordem e αb o percentual da altura do pilar onde ocorre o momento máximo de segunda ordem local calculado de acordo com a Tabela .

Tabela 5 – Determinação de valores de αb segundo a norma ABNT NBR 6118:2023

Vinculos e ações em pilares	Coefficiente α_b
<i>Bi</i> rotulados sem ações transversais *	$\alpha_b = 0,6 + 0,4Mb/Ma$ $0,4 \leq \alpha_b \leq 1$
Em balanço*	$\alpha_b = 0,6 + 0,4Mc/Ma$ $0,85 \leq \alpha_b \leq 1$
a) <i>Bi</i> rotulados com ações transversais significativas ao longo da altura ou b) <i>Bi</i> rotulados ou em balanço com momentos menores que o momento mínimo	$\alpha_b = 1$

Observações:

- Ma e Mb são os momentos de primeira ordem nos extremos do pilar. Deve ser adotado para Ma o maior valor absoluto ao longo do pilar *bi*rotulado, e para Mb o sinal positivo, setracionar a mesma face que Ma e negativo em caso contrário.
- Ma é o momento de primeira ordem no engaste e Mc é o momento de primeira ordem no meio do pilar em balanço.

Fonte: adaptado de Pastore (2020)

2.3 Esforços no Pilar

Pilares atuam sob o esforço de flexo-compressão, podendo ela ser oblíqua ou normal. A flexo-compressão se caracteriza por uma peça que sofre efeito de esforços normais de compressão e momentos fletores. Ela é considerada oblíqua quando há momento fletor nas duas direções e reta quando há momento fletor em apenas uma direção.

O esforço utilizado para o dimensionamento de pilares é subdividido em várias parcelas, como mostrado na Figura 8. Os esforços globais não serão tratados nesse estudo

pois serão feitas análises de pilares isolados. Os esforços gerados pelos efeitos globais de segunda ordem e efeitos de imperfeições geométricas globais não serão abordados nesse trabalho pois trataremos de lances de pilares e não de pórticos completos.

Figura 8 – Parcelas de esforços atuantes em um pilar



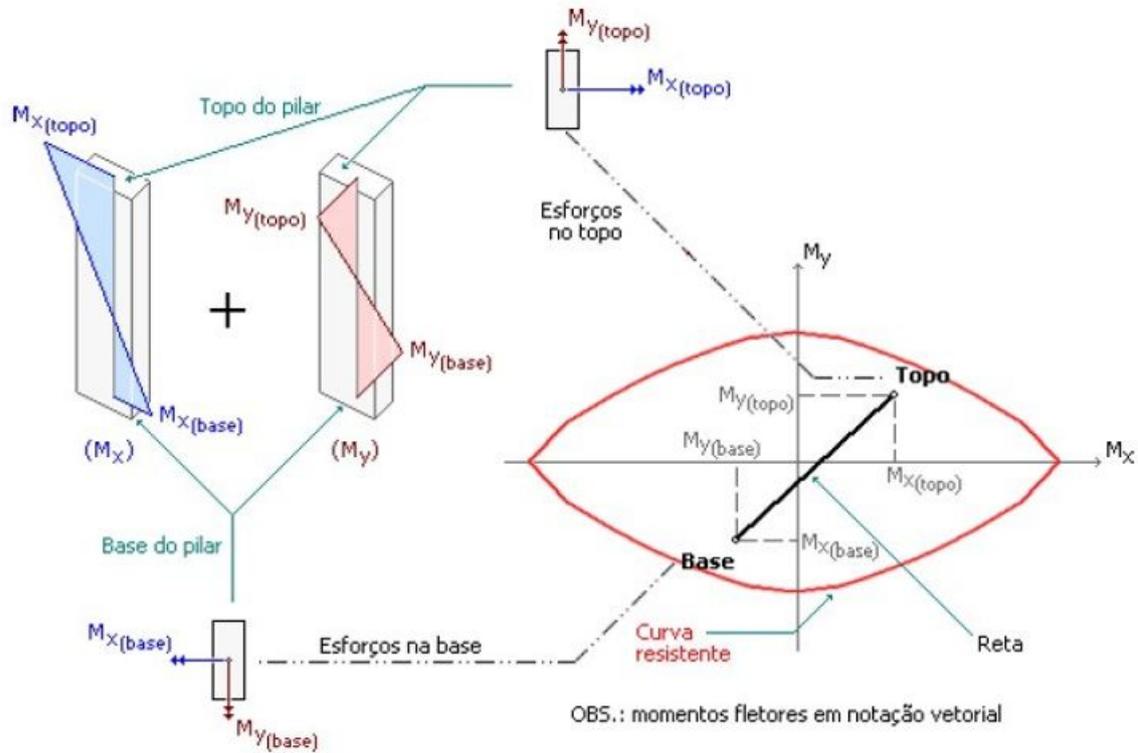
Fonte: Kimura (2007)

2.3.1 Esforços iniciais

Os esforços iniciais são provenientes da análise estrutural. Eles são representados pela força normal atuante no lance de pilar e pelos momentos atuantes (muitas vezes representados por excentricidades relacionadas à força normal atuante). Esses esforços podem ser representados em planta como representado na Figura 9.

A curva vermelha presente no gráfico representa a curva resistente de um pilar, desse modo, se todos os esforços atuantes na estrutura estiverem totalmente dentro dos limites da curva resistente o pilar resiste aos esforços solicitantes. Os esforços solicitantes são representados em coordenadas cartesianas relacionadas ao momento atuante em cada uma das direções.

Figura 9 – Representação dos esforços iniciais em planta



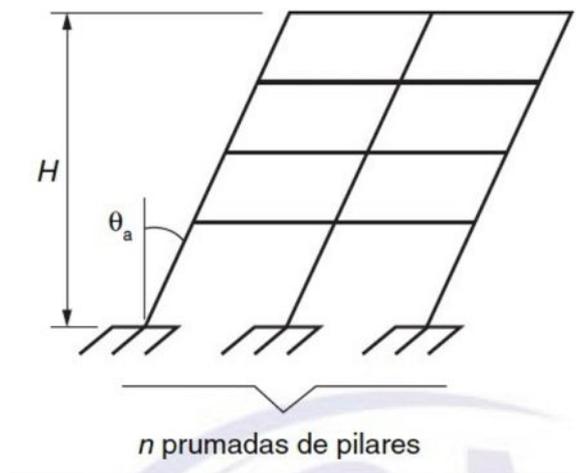
Fonte: Kimura (2007)

2.3.2 Esforços devido às imperfeições geométricas

Na execução de estruturas de concreto armado é praticamente impossível garantir uma perfeita retilidade nos elementos. Desse modo, a edificação está sujeita a imperfeições globais e imperfeições locais que devem ser levadas em conta no dimensionamento pois elas geram esforços adicionais.

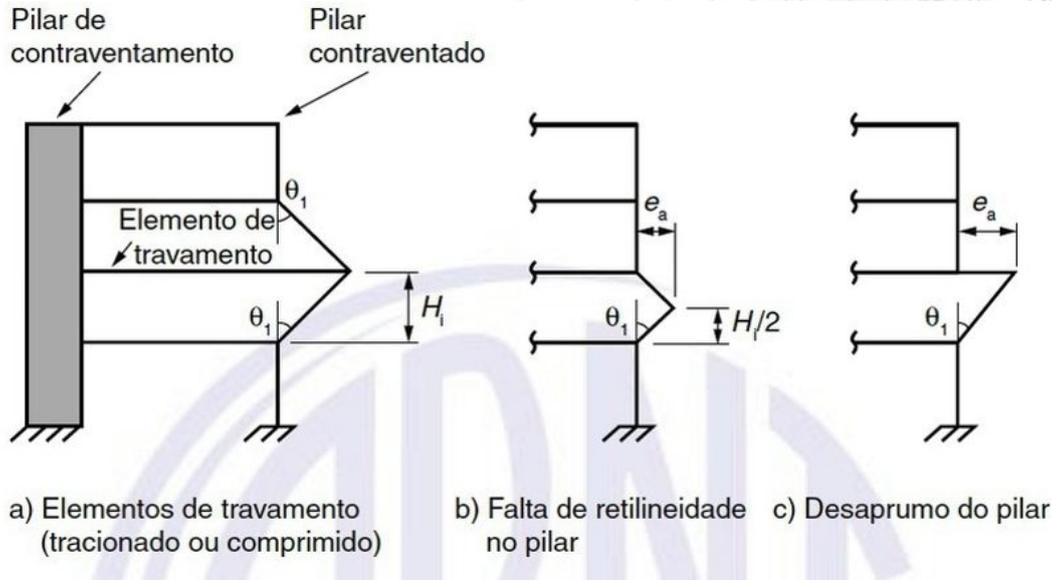
As imperfeições globais são aquelas relacionadas ao desaprumo da edificação como um todo, Figura e as imperfeições locais são aquelas relacionadas à não retilidade e desaprumo de um pilar em um lance, Figura 10.

Figura 10 – Imperfeição geométrica global em uma estrutura



Fonte: NBR 6118:2023

Figura 11 – Imperfeições geométricas locais



Fonte: NBR 6118:2023

As imperfeições geométricas locais podem ser definidas através do cálculo das excentricidades adicionais (e_a) e conseqüentemente, os momentos gerados por essas imperfeições devem ser adicionados aos esforços iniciais. Essas excentricidades podem ser calculadas da seguinte forma

$$1/300 \leq \theta_1 = \frac{1}{100\sqrt{L_i}} \leq 1/200 \quad (2.6)$$

$$e_a = \begin{cases} \theta_1 L_i & \text{No topo} \\ \theta_1 \frac{L_i}{2} & \text{No centro} \end{cases}$$

Onde θ_1 é o ângulo de rotação do desaprumo no pilar e L_i é o comprimento equivalente do pilar. Esse parâmetro deve ser analisado nas duas direções do pilar.

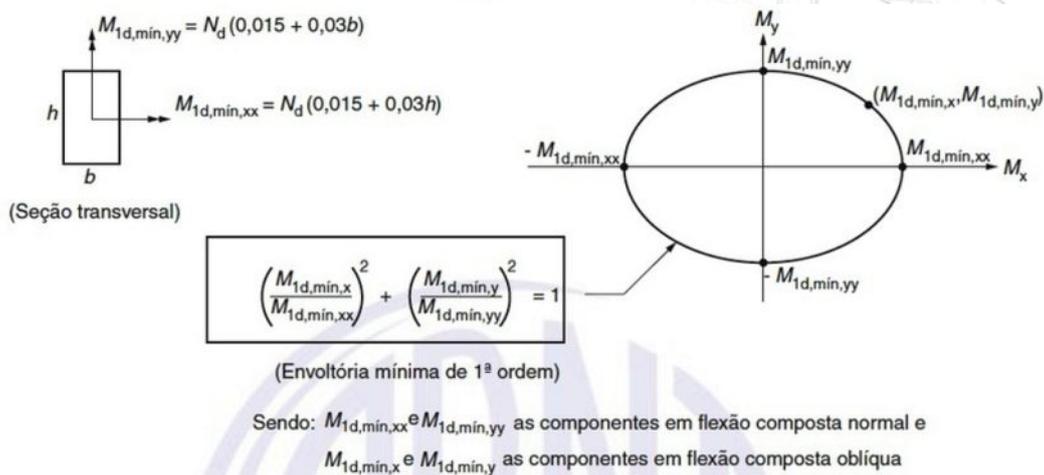
Outra maneira de considerar essas imperfeições é através da consideração de um momento mínimo, conceito sugerido pela NBR 6118:2023. É importante salientar que o momento mínimo é um momento que deve ser resistido pela estrutura, mas não somado aos momentos iniciais, diferente do método anterior. Ele pode ser calculado pela equação a seguir:

$$M_{1dmin} = (0,015 + 0,3h) \cdot N_d \quad (2.7)$$

Onde h é a altura da seção transversal na direção analisada e N_d é a força normal atuante na peça. A NBR 6118:2023 sugere que se utilize, para pilares de seção retangular, uma envoltória mínima de primeira

ordem de acordo com a Figura Se essa envoltória mínima for envolvida pela envoltória resistente considera-se que a seção resiste aos esforços gerados pelas imperfeições geométricas locais.

Figura 12 – Envoltória mínima de primeira ordem



Fonte: NBR 6118:2023

2.3.3 Esforços locais de 2ª ordem

Os esforços locais de 2ª ordem ocorrem porque as barras das estruturas, quando solicitadas, não continuam na posição retilínea, assumindo uma configuração deformada capaz a fim de encontrar o equilíbrio de forças. Esses efeitos locais afetam os esforços presentes nos lances do pilar e deverão ser somados aos demais esforços calculados para o dimensionamento da peça estrutural.

A NBR 6118:2023 permite que esses esforços sejam calculados por quatro métodos: a) Pilar padrão com curvatura $1/r$ aproximada;

- b) Pilar padrão com rigidez adimensional K aproximada;
- c) Pilar padrão acoplado a diagrama $N, M, 1/r$;
- d) Método geral.

Esses métodos serão abrangidos nos itens 2.4.

2.3.4 Esforços devido à fluência

Estruturas de concreto armado sofrem um fenômeno de aumento das deformações na peça, ao longo do tempo, quando submetida a cargas constantes e de longa duração, gerando, então, esforços adicionais nessa peça. Esse fenômeno é conhecido como fluência e deve ser levado em conta para o dimensionamento de pilares com $\lambda > 90$ segundo a norma brasileira. Entretanto, esse limite pode ser imprudente pois esses efeitos podem ter grande influência para pilares com $\lambda < 70$ (CASAGRANDE, 2016).

Para situações em que não é necessária uma grande precisão, ou seja, elementos submetidos a tensões de compressão menores que $0,5 f_c$ os valores de fluência podem ser extraídos, por interpolação, da tabela presente na NBR 6118:2023 pelo coeficiente $\Phi(t, t_0)$.

Tabela 6 – Valores característicos superiores da deformação específica de retração $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e do coeficiente de fluência $\Phi(t, t_0)$

Umidade média ambiente %		40		55		75		90		
Espessura fictícia $2A_c/u$ cm		20	60	20	60	20	60	20	60	
$\Phi(t, t_0)$ Concreto das classes C20 a C45	t_0 dias	5	4,6	3,8	3,9	3,3	2,8	2,4	2,0	1,9
		30	3,4	3,0	2,9	2,6	2,2	2,0	1,6	1,5
		60	2,9	2,7	2,5	2,3	1,9	1,8	1,4	1,4
$\Phi(t, t_0)$ Concreto das classes C50 a C90	t_0 dias	5	2,7	2,4	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5
		30	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
		60	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
$\epsilon_{cs}(t, t_0)$ ‰	t_0 dias	5	-0,53	-0,47	-0,48	-0,43	-0,36	-0,32	-0,18	-0,15
		30	-0,44	-0,45	-0,41	-0,41	-0,33	-0,31	-0,17	-0,15
		60	-0,39	-0,43	-0,36	-0,40	-0,30	-0,31	-0,17	-0,15

Fonte: Tabela 8.2 da NBR 6118:2023

Possuindo-se então o coeficiente de fluência e possível calculá-la através da consideração de uma excentricidade de fluência,

$$\epsilon_{cc} = \left(\frac{M_{sg}}{N_{sg}} + e_a \right) \left[\exp \left(\frac{\Phi N_{sg}}{N_e - N_{sg}} - 1 \right) \right] \quad (2.8)$$

$$N_e = \frac{10}{\lambda^2} E_{ci} A_c$$

Onde :

M_{sg} e N_{sg} são, respectivamente, os momentos fletores e esforços normais solicitantes na combinação quase permanente;

Φ é o coeficiente de fluência;

N_e é a carga crítica de Euler;

I_c é a inércia da seção bruta de concreto;

E_{ci} é o módulo de deformação tangente do concreto definido segundo o item 8.1 da NBR 6118:2023;

A_c é a área bruta de concreto;

L_e é o comprimento equivalente do pilar na direção de maior esbeltez;

e_a é a excentricidade geométrica local no meio do vão do pilar.

A maneira mais refinada de cálculo dos efeitos de fluência no concreto estão presentes no anexo A da NBR 6118:2023 e não serão retratados nesse trabalho.

2.4 Métodos para cálculo de esforços de segunda ordem

Como foi mostrado pela Tabela existem diferentes métodos permitidos para o cálculo dos esforços de segunda ordem em um pilar. A compreensão desses métodos é de extrema importância e portanto, eles serão abordados nos itens a seguir.

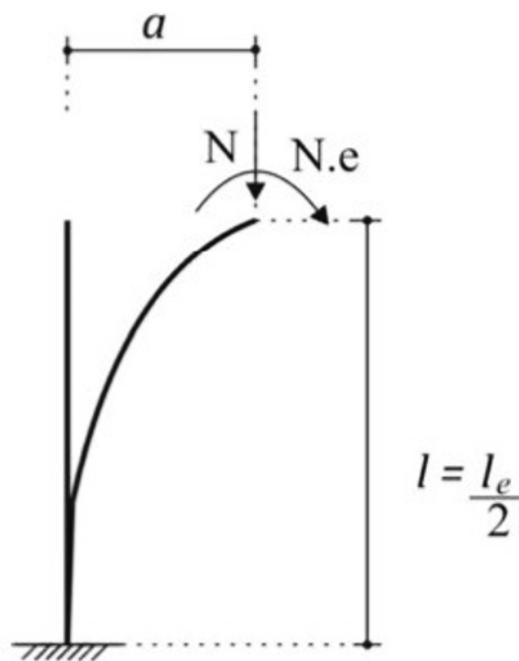
2.4.1 Método do pilar-padrão

O método do pilar-padrão, presente em 3 dos 4 métodos recomendados para o cálculo de pilares é uma simplificação da consideração da não-linearidade geométrica na qual assume-se que a forma deformada de um pilar em balanço, Figura ser representada por uma curva senoidal. Desse modo, é possível obter uma solução analítica para a posição final do pilar, chegando-se a seguinte expressão:

$$a = \frac{l_e^2}{10} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{base} \quad (2.9)$$

Onde $1/r$ é a curvatura do elemento.

Figura 13 – Deformação de um pilar-padrão



Fonte: Pinto (2017)

Sendo assim, três métodos de cálculo compartilham a mesma maneira de calcular a NLG e se diferenciam na maneira que calculam a NLF. Para pilares de esbeltez acima de 140 o método geral é utilizado para o cálculo da NLG e da NLF. Segundo os métodos aproximados possuem uma boa aplicação para casos de esbeltez baixa, entretanto geram resultados menos econômicos.

2.4.2 Método do pilar-padrão com curvatura aproximada

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2023 este método pode ser empregado apenas em pilares com $\lambda \leq 90$, seção constante e armadura simétrica e constante ao longo do seu eixo. Segundo esse é o método mais conservador para o dimensionamento de pilares com baixa esbeltez. A consideração da NLF é feita através da expressão aproximada da curvatura do pilar.

Nesse método o momento de engastamento da peça é calculado da seguinte maneira :

$$M_{dito} = N \cdot e + N \cdot a \quad (2.10)$$

Sendo a primeira parcela, o momento de primeira ordem, e a segunda o momento de segunda ordem :

$$N \cdot e = M_1 = \alpha_b \cdot M_{1d,ae} \quad N \cdot a = M_2 = N \frac{l_e^2}{10} \cdot \left(\frac{1}{7}\right)_{base} \quad (2.11)$$
$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{(v + 0,5)h} \leq \frac{0,005}{h}$$

Onde ε_c é a deformação do concreto, ε_s é a deformação do aço, v é coeficiente de redução da esforços, N é a força normal atuante e $M_{1d,a}$ é o momento fletor de primeira ordem.

Para que a estrutura seja econômica as deformações devem estar no limite de escoamento, portanto, para concreto e aço CA-50 esses valores são de 3,5‰ e de 2,0‰ respectivamente, possuindo, então, um valor de soma próximo de 5‰. Essa limitação ocorre para que o pilar seja dimensionado aproveitando ao máximo os limites do aço e do concreto. Desse modo o momento total calcula-se pela seguinte equação.

$$M_{dtot} = \alpha_b \cdot M_{1d,a} + N \frac{l_e^2}{10} \cdot \frac{0,005}{h \cdot (v + 0,5)} \quad (2.12)$$

Como foi visto anteriormente, nesse método não há a necessidade de se conhecer a armadura presente no pilar.

2.4.3 Método do pilar-padrão com rigidez aproximada

Assim como o método da curvatura aproximada, esse método só pode ser utilizado para pilares com $\lambda \leq 90$ com armadura simétrica e constante ao longo do seu eixo. A NLF é considerada através da consideração da rigidez secante do pilar.

Segundo a NBR 6118:2023 o cálculo do momento máximo deve ser feito de maneira iterativa em função da rigidez adimensional K , de acordo com as equações:

$$M_{sd,tot} = \frac{\alpha_b \cdot M_{1d,A}}{1 - \frac{\lambda^2 v}{120 \cdot k_{aprox}}} \geq M_{1d,A} \quad (2.13)$$

$$k_{aprox} = 32 \left(1 + 5 \frac{M_{Rd,tot}}{h \cdot N_{sd}} \right) v \quad (2.14)$$

Se for um processo de verificação da resistência para uma armadura específica $M_{rd,tot}$ é obtido através do cálculo iterativo buscando a convergência dos parâmetros $M_{rd,tot}$ e K_{aprox} (

Se o processo for de dimensionamento de armadura a iteração pode ser evitada, considerando $M_{Rd,tot} = M_{sd,tot}$ e seguindo a seguinte sequência de cálculo:

$$AM_{sd,tot}^2 + BM_{sd,tot} + C = 0$$

$$\text{onde: } \begin{cases} A = 5h \\ B = h^2 N_{sd} - \frac{N_{sd} \cdot L_e^2}{320} - 5h \cdot \alpha_b M_{1d,A} \\ C = -N_{sd} h^2 \alpha_b M_{1d,A} \end{cases} \quad (2.15)$$

Sendo o valor de $M_{sd,tot}$ encontrado pela resolução da equação de segundo grau 2.1.4.

2.4.4 Método do pilar-padrão acoplado aos diagramas N,M e 1/r

Segundo a NBR 6118:2023 esse método só deve ser utilizado para pilares com $\lambda \leq 140$. Esse método faz a consideração da NLF através da rigidez secante adimensional K obtida pela análise do diagrama N-M-1/r, sendo então, mais acurada que a rigidez utilizada no método apresentado em 2.4.3.

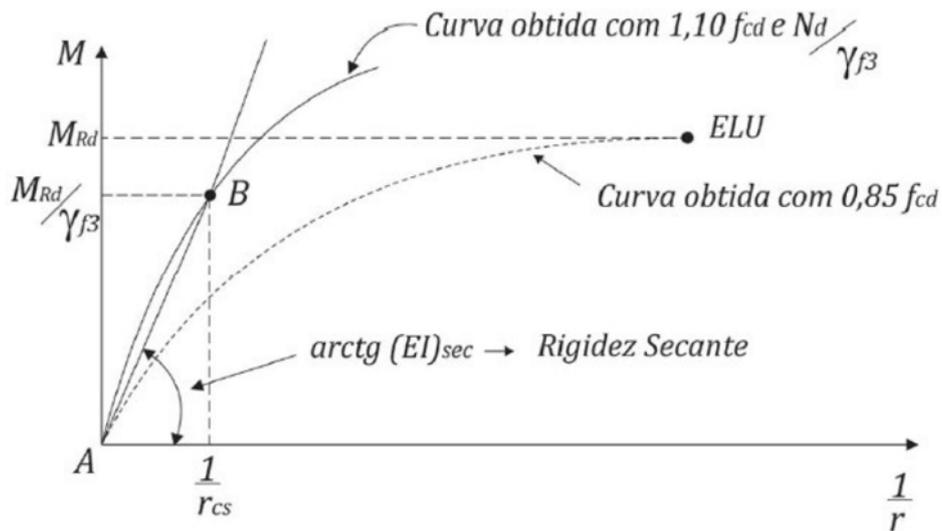
Para uma seção retangular a rigidez secante pode ser calculada pela seguinte equação:

$$k = \frac{EI_{sec}}{A_c h^2 f_{cd}} \quad (2.16)$$

E o momento resistente $M_{sd,tot}$ calculado por uma equação semelhante à equação 2.1.2 substituindo-se K_{aprox} por K .

O valor da rigidez secante EI_{sec} vem do diagrama N-M-1/r, que segundo pode ser linearizado de acordo com a figura onde γ_{f3} , que é o coeficiente de majoração das imperfeições de cálculo, pode ser igual a 1 ou a 1,1, de acordo com a NBR 6118:2023, sendo 1,1 o valor que traz resultados mais conservadores

Figura 14 – Linearização do diagrama de momento fletor - normal - curvatura

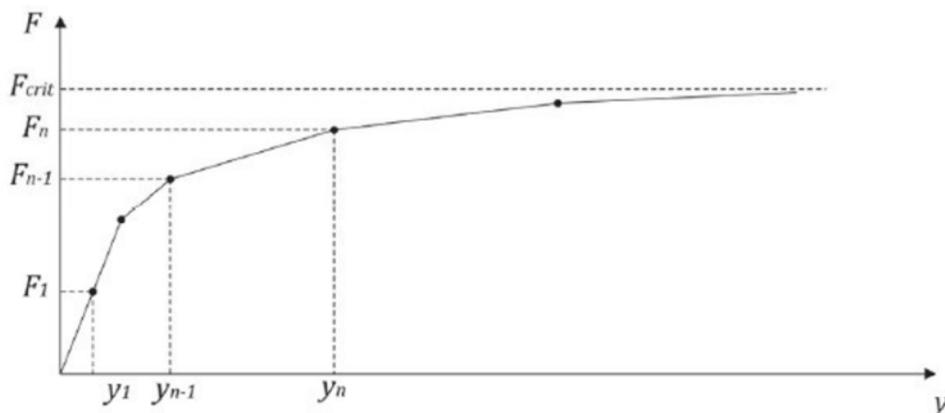


Fonte: Pinto (2017)

2.4.5 Método geral

O método geral deve ser obrigatoriamente utilizado para pilares com $140 < \lambda \leq 200$. Ele consiste na discretização adequada do pilar, na análise da relação momento-curvatura, e na consideração de NLG de maneira não-aproximada. Esse é o método mais completo e acurado, entretanto, ele é muito mais complexo que os outros pois consiste na análise da estrutura a partir do aumento do carregamento ou da excentricidade na peça figura, e para isso necessita-se de programas computacionais para que seja feito em um tempo aceitável.

Figura 15 – Processo de carregamento progressivo proporcional



Fonte: Pinto (2017)

Para a consideração da NLG de maneira não-aproximada não pode-se considerar a curvatura da peça seguindo uma curva seinoidal, deve-se utilizar um método refinado como mostrado em

A consideração da NLF é feita pela utilização do diagrama N-M-1/r, na qual a rigidez pode ser obtida das três seguintes maneiras

- 1) Pela EI_{sec} calculada pela linearização do diagrama N-M-1/r, como mostra a figura
- 2) Pela EI_{sec} obtida para cada seção do lance do pilar de acordo com a sollicitação atuante;
- 3) Pela EI_{sec} oblíqua, que considera os esforços nas duas direções do pilar.

Além disso, a discretização adequada do lance de pilar, exigido pela NBR 6118:2023, é utilizada para que a seção crítica seja definida de maneira mais refinada do que com a utilização do coeficiente α_b . Usualmente 10 trechos são suficientes para um lance de e portanto será o número utilizado neste trabalho.

Posteriormente são feitas várias iterações com acréscimos de carregamento para que se chegue na posição final de equilíbrio e consequentemente aos esforços atuantes na peça em cada uma das seções.

2.5 Breve histórico de considerações das normas brasileiras sobre as dimensões de pilares

A norma em vigor atualmente, a NBR 6118:2023, proíbe a utilização de pilares com menos de 14 cm de espessura e pilares com menos de 360cm² de área de seção

transversal. Além disso, é necessária ser feita uma majoração de esforços, através do coeficiente γ_n , para pilares com menos de 19cm de espessura, de acordo com a equação :

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05b \quad (2.17)$$

Sendo b a menor dimensão do pilar em cm, para pilares com lado menor que 19cm. Entretanto, segundo a NBR 15575:2013 :

Para casas térreas e sobrados, cuja altura total não ultrapasse 6,0 m (desde o respaldo da fundação de cota mais baixa até o topo da cobertura), não há necessidade de atendimento às dimensões mínimas dos componentes estruturais estabelecidas nas normas de projeto estrutural específicas (ABNT NBR 6118, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837 e ABNT NBR 14762), resguardada a demonstração da segurança e estabilidade pelos ensaios previstos nesta Norma (7.2.2.2 e 7.4), bem como atendidos os demais requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma.

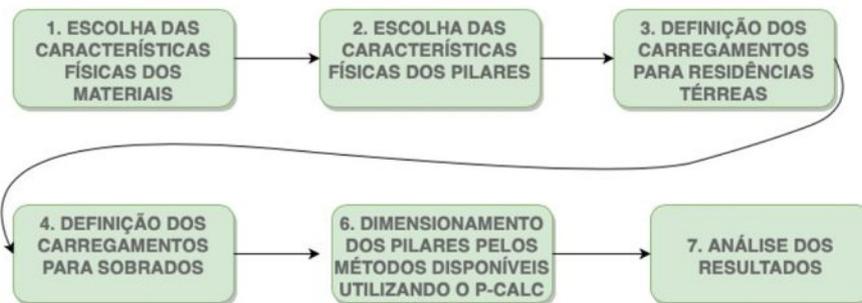
Sendo obrigatória a realização de ensaios de resistência de corpos de prova.

As antigas normas NBR 6118:2007, NBR 6118:2003 e NBR 6118:2014 possuíam o mesmo critério da norma de 2023, entretanto, elas permitiam que a dimensão mínima dos pilares fossem de 12cm. A norma brasileira NB-1: 1980, permitia pilares com dimensões de até 12 cm sendo feita uma majoração de 1,3 nos esforços presentes na peça.

METODOLOGIA

trabalho foi realizado de acordo com o fluxograma presente na Figura 16

Figura 16 – Fluxograma de realização do trabalho



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.1 Escolha das características físicas dos materiais

Como o foco do trabalho é nas pequenas obras e dificilmente utiliza-se um concreto com resistência maior que 25 Mpa nelas, será utilizado o concreto de menor resistência permitido pela NBR 6118:2023 para a classe de agressividade ambiental I : $f_{ck} = 25\text{Mpa}$ pois o controle de resistência não costuma ser muito rigoroso nesse tipo de obra. Na composição desse concreto será considerada a utilização da brita 0 (diâmetro máximo = 12mm) para os pilares com menos de 12 cm de espessura, e brita 1 (diâmetro máximo = 19mm) para pilares com mais de 12 cm de espessura, a fim de possibilitar o espaçamento mínimo entre as barras permitido pela NBR6118:2023.

O aço utilizado será o aço CA-50, pois a armadura mínima permitida em pilares pela NBR 6118:2023 é a de bitola igual a 10mm.

3.2 Escolha das características físicas dos pilares

Será considerada uma obra localizada em um ambiente urbano, entretanto, como os pilares provavelmente serão revestidos com reboco e pintura ou emboço e revestimento cerâmico será adotada uma classe de agressividade I de acordo com a nota “b” da Tabela 7.

Tabela 7 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Item 6.4.2 NBR 6118:2023

Desse modo, o cobrimento nominal de armaduras adotado para pilares será $c=2,5\text{cm}$ de acordo com a tabela 7.2 do item 7.4.7.6 da NBR 6118:2023.

Os pilares serão analisados no nível do térreo e não no nível da fundação pois, devido a necessidade de um cobrimento de 45mm nesses casos, é necessário o alargamento do pilar.

Os pilares analisados nesse trabalho têm suas características físicas de acordo com a Tabela

Tabela 8 – Tabela de características físicas dos pilares estudados

Nome	Dimensão x(cm)	Dimensão y(cm)	Área da seção transversal (cm ²)	Le (cm)	Esbeltez máxima λ	Bitola de armadura (mm)	Quantidade de barras	Área de aço (cm ²)	% de aço
PE1	12	20	240	300	86,5	10	4	3,14	1,3%
PE2	12	20	240	300	86,5	10	6	4,71	2,0%
PE3	12	25	300	300	86,5	10	4	3,14	1,0%
PE4	12	25	300	300	86,5	10	8	6,28	2,1%
PE5	13	20	260	300	79,8	10	4	3,14	1,2%
PE6	13	20	260	300	79,8	12,5	6	7,36	2,8%
PE7	13	25	325	300	79,8	10	4	3,14	1,0%
PE8	13	25	325	300	79,8	12,5	6	7,36	2,3%
PE9	14	20	280	300	74,1	10	4	3,14	1,1%
PE10	14	20	280	300	74,1	12,5	6	7,36	2,6%
PE11	15	20	300	300	69,2	10	4	3,14	1,0%
PE12	15	20	300	300	69,2	12,5	6	7,36	2,5%
PE13	14	26	364	300	74,1	10	4	3,14	0,9%
PE14	14	26	364	300	74,1	12,5	6	7,36	2,0%

Fonte: Elaborado pelo Autor

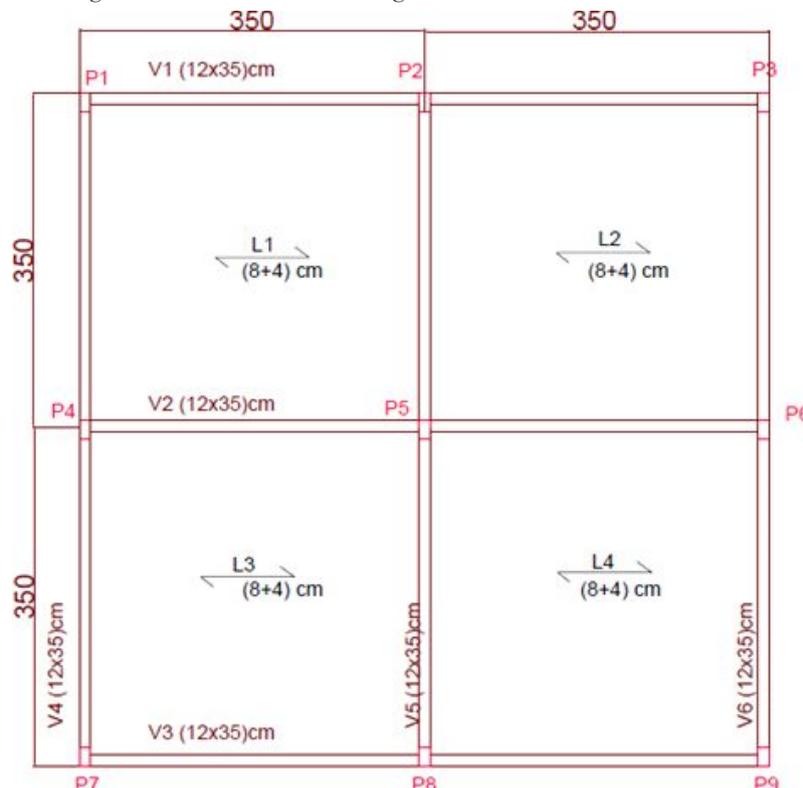
Dentre os pilares estudados, os únicos que atendem as condições de dimensões mínimas pela NBR 6118:2023 são os pilares PE13 e PE14. Apesar dos pilares possuírem um lado relativamente pequeno todos eles obtiveram uma esbelteza menor que 90. Os pilares foram escolhidos entre dimensões de 12 e 15 cm. Não foi feito o estudo de pilares com menos de 12cm de largura devido aos possíveis problemas provenientes de ligações entre vigas e pilares, já que as vigas possuem uma dimensão mínima de 12cm, prejudicando seu engastamento nos pilares.

3.3 Definição dos carregamentos nos pilares

3.3.1 Definição de geometria genérica

Foi visto que o dimensionamento de um pilar é muito complexo e depende de muitas variáveis. Desse modo, para que pudesse ser feita uma estimativa de carga aceitável criou-se uma planta de fôrma genérica que possibilitasse a existência dos pilares nas três posições possíveis: central, de canto e intermediário mostrada na Figura Essa planta tem um nível para os casos de residência térrea e dois níveis para o caso de sobrados, sendo a distância entre os eixos dos pilares de 3,5m. Os carregamentos de vento e a estabilidade global não serão considerados nesse trabalho. O nível entre a fundação e o térreo não será analisada.

Figura 17 – Planta de fôrma genérica com dimensões em cm



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.3.2 Cálculo das cargas nos pilares

Para encontrar as cargas nos pilares é necessário encontrar primeiramente as cargas nas lajes e vigas. Os carregamentos foram calculados pelo método das áreas de influência e estão dispostos nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Carregamentos na laje treliçada

Ação	Laje de cobertura	Laje de piso
Carga variável (tf/m ²)	0,1	0,15
Carga de telhado (tf/m ²)	0,07	0
Forro de gesso (tf/m ²)	0,015	0,015
Revestimento (tf/m ²)	0	0,1
Peso próprio de laje treliçada 8+4 (tf/m ²)	0,145	0,145
TOTAL	0,33	0,41

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 10 – Carregamentos nas vigas

Ação	Viga V1=V2=V3 no piso	Viga V1=V2=V3 na cobertura	Viga V4=V6 no piso	Viga V4=V6 na cobertura	Viga V5 no Piso	Viga V5 na cobertura
Peso próprio (tf/m)	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105
Carga de laje (tf/m)	0	0	0,7175	0,5775	1,435	1,155
Carga de parede de h=2,65m (tf/m)	0,482	0	0,482	0	0,482	0
TOTAL	0,587	0,105	1,3045	0,6825	2,022	1,26

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores de carga axial foram considerados constantes para cada dimensão de pilar devido à pequena variação existente, como pode ser visto no Apêndice II. Os pórticos foram analisados no software Ftool 2017, e os resultados se encontram presentes no Apêndice II. Os carregamentos, ainda não majorados, para os pilares nas posições de P1 (pilar de canto); P5 (pilar central) e P2 (pilar de extremidade) mostrado no Apêndice I.

Possuindo então todos os dados para o dimensionamento do pilar, realizou-se a introdução de dados no programa P-calc v1.4 e a seção foi dimensionada pelos seguintes métodos:

- Método da rigidez K aproximada
- Método geral

O método da rigidez aproximada foi escolhido por ser relativamente simples de ser empregado e por ser um dos métodos mais utilizados para dimensionar pilares com esbeltez baixa. Já o método geral foi escolhido por ser o mais próximo da realidade, e portanto conseguir resultados mais precisos de esforços.

3.3.3 Apresentação do programa P-calc v1.4

O software P-calc é um software de verificação de pilares que realiza o cálculo para todos os métodos considerados pela NBR 6118. Ele é produzido pela TQS e fornecido gratuitamente. Para que seja realizado o dimensionamento no P-Calc v1.4 segue-se as seguintes etapas:

1. Definição das características geométricas dos pilares, com suas dimensões e comprimento;
2. Definição das características do concreto e do aço;
3. Definição da armadura do pilar e o seu cobrimento;
4. Definição dos carregamentos e coeficientes de majoração, considerando todas as combinações necessárias
5. Definição do método de cálculo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

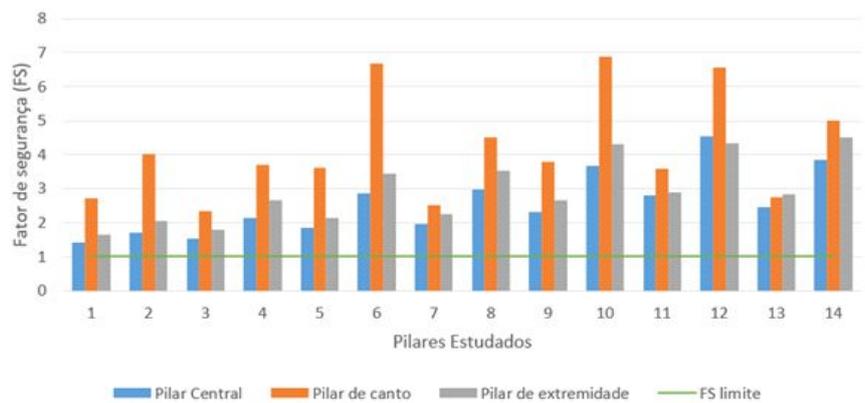
A

pós a verificação dos pilares no programa P-calc1.4, os resultados foram transferidos para tabelas em excel representadas no Apêndice II. Para cada situação de cálculo foram calculados fatores de segurança, que consistem na divisão entre o momento resistente e o momento máximo solicitado em cada uma das direções. Para que um pilar seja considerado seguro, o fator de segurança mínimo deve ser maior que 1, o que mostra que a peça resiste aos esforços nas duas direções.

4.1 Resultados para as situações de carregamento de uma casa térrea

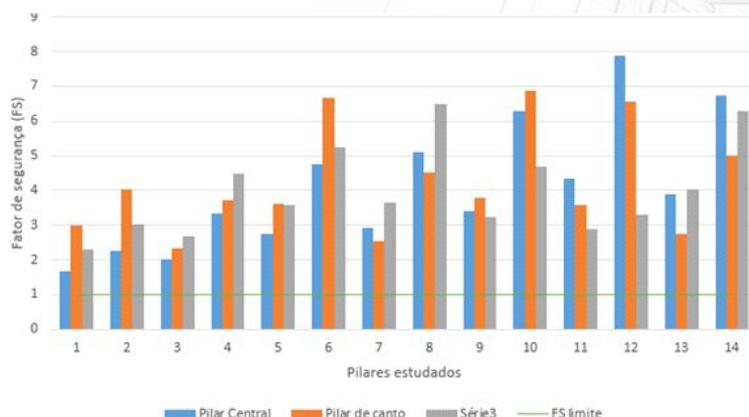
Os resultados para a situação de carregamento de uma casa térrea estão presentes nos gráficos mostrados nas Figuras e Os valores de carregamento variam de 5,65 toneladas em pilares centrais a 1,14 toneladas em pilares de canto, não majorados. Com momentos variando de 0,06 tf.m a 0,32 tf.m ainda não majorados.

Figura 18 – Fator de segurança para pilares de uma casa térrea verificados pelo método da rigidez aproximada



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 19 – Fator de segurança para pilares de uma casa térrea verificados pelo método geral



Fonte: Elaborado pelo Autor

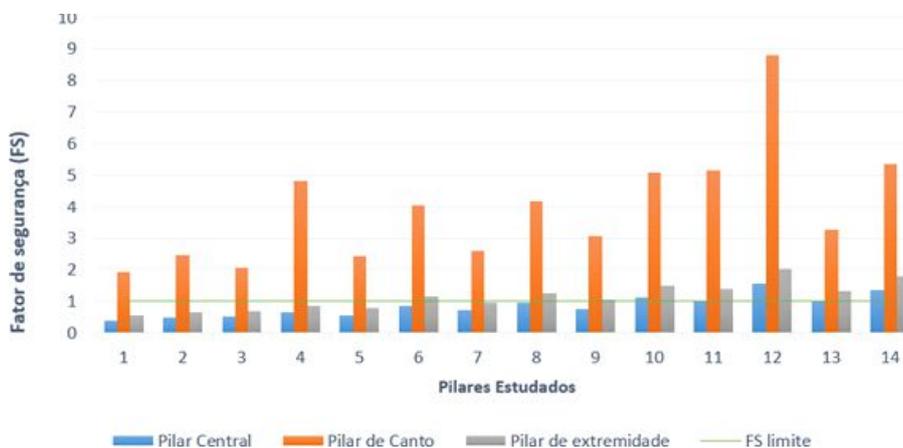
Para os carregamentos estudados todos os pilares obtiveram fator de segurança acima de 1, sendo o valor mínimo encontrado de 1,67. Desse modo, conclui-se que esses pilares são seguros do ponto de vista estrutural.

Os pilares de canto obtiveram fator de segurança elevados por causa da baixa carga axial e por momentos relativamente baixos.

4.2 Resultados para as situações de carregamento de um sobrado

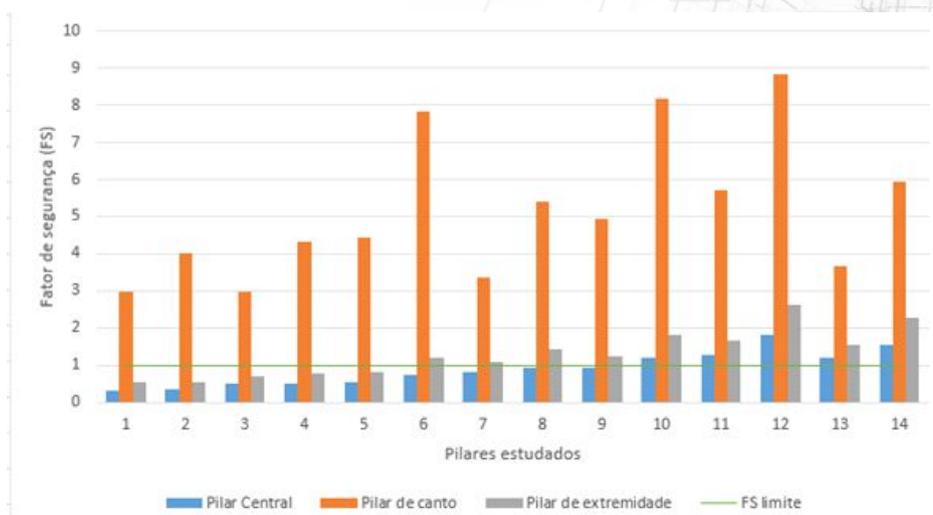
Os resultados para a situação de carregamento de um sobrado estão presentes nos gráficos mostrados nas Figuras e Os valores de carregamento variam de 16,53 toneladas em pilares centrais a 3,82 toneladas em pilares de canto, ainda não majorados. Com momentos variando de 0,04 tf.m a 0,23 tf.m ainda não majorados.

Figura 20 – Fator de segurança para pilares de um sobrado verificados pelo método da rigidez aproximada



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 21 – Fator de segurança para pilares de um sobrado verificados pelo método geral



Fonte: Elaborado pelo Autor

Todos os pilares na situação de pilar de canto obtiveram um fator de segurança maior que 1, sendo o valor mínimo de 1,94 e portanto são considerados seguros para a carga estudada. Assim como na situação de casas térreas os pilares de canto obtiveram elevados valores de fator de segurança devido à baixa carga axial e momentos fletores.

Na situação de pilar central, os pilares de PE1 a PE9 obtiveram um fator de segurança menor que 1 pelos dois métodos, portanto não são considerados seguros para a carga estudada. Já os pilares PE10 a PE14 obtiveram um fator de segurança mínimo de 1,01, e portanto, são considerados seguros.

Na situação de pilar de extremidade os pilares PE1 a PE5 obtiveram coeficientes menores que um nos dois métodos, e portanto, não são seguros. O pilar PE7 obteve coeficiente menor que 1 no método da rigidez aproximada, mas no método geral obteve coeficiente maior que um, e portanto, junto com os demais, pode ser considerado seguro.

Em estudo realizado por , foi concluído que também há segurança na utilização de pilares de 12 cm de espessura em edificações de até três pavimentos, entretanto, devido a maiores esforços de compressão foram utilizados pilares de dimensão 12x30cm.

4.3 Resultados com relação aos métodos

Como era de se esperar, o método da rigidez aproximada obteve resultados mais conservadores que o método geral. O método geral, obteve, em média, fatores de segurança 20,27% maiores que o método da rigidez direta, entretanto, somente o pilar PE7, na situação de um sobrado passou no dimensionamento feito pelo método geral e não passou pelo dimensionamento do método da rigidez direta.

4.4 Resultados de consumos de concreto e fôrmas

Com a redução da seção de pilares, com relação ao pilar mínimo de 14x26cm, os pilares obtiveram uma economia de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 – Redução no consumo de concreto e fôrmas para cada um dos pilares

Nome	Dimensão x(cm)	Dimensão y(cm)	Redução de concreto	Redução de fôrmas
PE1	12	20	34%	20%
PE2	12	20	34%	20%
PE3	12	25	18%	8%
PE4	12	25	18%	8%
PE5	13	20	29%	18%
PE6	13	20	29%	18%
PE7	13	25	11%	5%
PE8	13	25	11%	5%
PE9	14	20	23%	15%
PE10	14	20	23%	15%
PE11	15	20	18%	13%
PE12	15	20	18%	13%
PE13	14	26	0%	0%
PE14	14	26	0%	0%

Fonte: Elaborado pelo Autor

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados mostrados nesse trabalho é possível concluir que a utilização de pilares com dimensões de até 12 x 20cm em casas térreas ou para pilares de canto em sobrados, e de até 14x20cm em pilares centrais de sobrados ou 13x20cm em pilares de extremidade, nas condições estudadas, é totalmente segura se as solicitações de cálculo forem menores ou iguais que as analisadas nesse trabalho. A utilização de pilares de 12x20cm geraria uma economia de até 34% de concreto e 20% de fôrmas em cada pilar em casas térreas em qualquer situação de carregamento analisada e em pilares de canto em sobrados. Essa economia seria de até 23% de concreto e 15% de fôrmas para pilares centrais, 29% de concreto e 19% de fôrmas em pilares de extremidade de sobrados.

Além do custo de fôrmas e concreto, em edificações de pequeno porte, onde usualmente se utilizam tijolos de 9cm de espessura e reboco com espessura de 2,5cm, na utilização de pilares de 14cm de espessura serão necessários 5,0 cm de reboco para que os pilares fiquem escondidos na edificação. Para pilares de 13 cm serão necessários 4 cm, o que resultará em uma economia de 20%, e para pilares de 12 cm serão necessários 3cm de reboco, o que resultará em uma economia de 40% no custo total de reboco da edificação.

Também é possível concluir que não é necessário o dimensionamento desses pilares pelo método geral, que costuma ser mais custoso computacionalmente e não está presente na maioria dos softwares comerciais, pois os resultados encontrados pelo método simplificado também geraram pilares seguros e econômicos, o que era esperado devido a esbeltez menor que 90 em todos os pilares.

Com a análise dos resultados, conclui-se que a permissão da utilização de pilares com dimensões menores que as permitidas pela NBR6118:2023 pela NBR 15575:2013, é perfeitamente aceitável em edificações de até 6 metros de altura.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ABNT NB 1- Cálculo e execução de obras de concreto armado; Cargas móveis em pontes rodoviárias; Barras de aço torcidas a frio para concreto armado. Rio de Janeiro, 1960.

ABNT. ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ABNT NBR 15755-2- Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014 .

ABNT. ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

AMARAL, M. D. L. DIMENSÃO MÍNIMA DE PILARES PARA EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE. 2019. 90 p. Dissertação (PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

BUENO, M. M. E. Study of approximate values of equivalent stiffness for beams and columns for global nonlinear analysis in low rise structures in reinforced concrete. 2014. 238 p. Tese (Engenharia Civil) — Universidade de Brasília (UNB).

CASAGRANDE, A. F. CONSIDERAÇÃO DA FLUÊNCIA NO CÁLCULO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE CONCRETO ARMADO. 2016. 110 p.

Dissertação (Mestrado em engenharia civil) — UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina.

FRANÇA, R. L. S. Contribuição ao estudo dos efeitos de segunda ordem em pilares de concreto armado. 1991. 202 p. Tese (Curso de Engenharia civil, Departamento de Estruturas e Fundações) — Universidade de São Paulo.

GOMES, A. F. de S. ANÁLISE NÃO LINEAR FÍSICA E GEOMÉTRICA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. 2020. 48 p. Monografia (BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL) — INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE, IFSE.

IBRACON. ABNT NBR 6118:2023 Comments and application examples. 1 ed. São Paulo, 2015.

KIMURA, A. E. Cálculo de pilares de concreto armado. [S.l.]: Apostila ABECE, 2007.

ABNT. ABNT NB 1- Cálculo e execução de obras de concreto armado; Cargas móveis em pontes rodoviárias; Barras de aço torcidas a frio para concreto armado. Rio de Janeiro, 1960.

ABNT. ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ABNT NBR 15755-2- Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014 .

ABNT. ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

AMARAL, M. D. L. DIMENSÃO MÍNIMA DE PILARES PARA EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE. 2019. 90 p. Dissertação (PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

BUENO, M. M. E. Study of approximate values of equivalent stiffness for beams and columns for global nonlinear analysis in low rise structures in reinforced concrete. 2014. 238 p. Tese (Engenharia Civil) — Universidade de Brasília (UNB).

CASAGRANDE, A. F. CONSIDERAÇÃO DA FLUÊNCIA NO CÁLCULO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE CONCRETO ARMADO. 2016. 110 p.

Dissertação (Mestrado em engenharia civil) — UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina.

FRANÇA, R. L. S. Contribuição ao estudo dos efeitos de segunda ordem em pilares de concreto armado. 1991. 202 p. Tese (Curso de Engenharia civil, Departamento de Estruturas e Fundações) — Universidade de São Paulo.

GOMES, A. F. de S. ANÁLISE NÃO LINEAR FÍSICA E GEOMÉTRICA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. 2020. 48 p. Monografia (BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL) — INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE, IFSE.

IBRACON. ABNT NBR 6118:2023 Comments and application examples. 1 ed. São Paulo, 2015.

KIMURA, A. E. Cálculo de pilares de concreto armado. [S.l.]: Apostila ABECE, 2007.

LEITÃO, E. M. M.; CALIXTO, J. M. F.; DINIZ, S. M. C. Estudo Comparativo de Métodos Aproximados para Análise do Efeito de Segunda Ordem em Pilares Esbeltos de Concreto Armado sob Flexão Composta Reta. In: IX Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Belo Horizonte DEES - UFMG: [s.n.], 2016.

MENDES, T. M. P. Análise não-linear física e geométrica de sistemas apertados com elementos de rigidez variável em concreto armado. 2017. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na área de concentração em Construção Metálica) — Universidade Federal de Ouro Preto.

MOREIRA, L. M.; MARTINS, C. H. Estruturas de pequeno porte em concreto armado: consideração aproximada da não-linearidade física para análise da estabilidade global. Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v. 11, n. 1, p. 1 – 25, Fevereiro 2018.

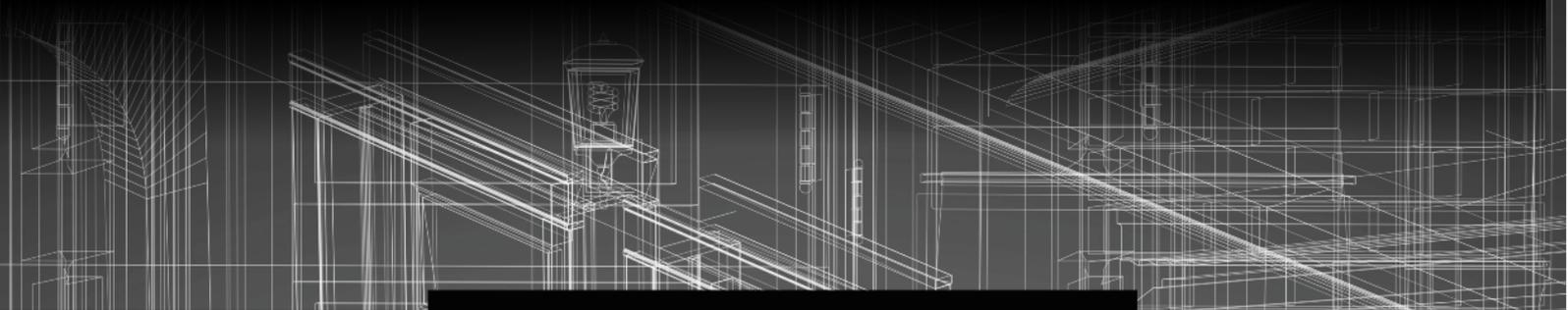
PALLARÉS, L. et al. Experimental research on high strength concrete slender columns subjected to compression and biaxial bending forces. *Engineering Structures*, v. 30, n. 7, p. 1879–1894, 2008.

PASTORE, M. F. ANÁLISE DE PILARES ESBELTOS DE CONCRETO ARMADO DE SEÇÃO RETANGULAR SUBMETIDOS À FLEXÃO COMPOSTA OBLÍQUA. 2020. 175 p.

Dissertação (Mestrado em engenharia civil) — USP - Universidade de São Paulo.

PINTO, V. S. Dimensionamento de pilares de concreto com seção transversal retangular usando envoltórias de momentos. 2017. 303 p. Tese (Doutorado em engenharia de estruturas) — USP - Universidade de São Paulo.

SCADELAI, M. A. Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003. 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Universidade de São Paulo.



APENDICES



Compartilhando conhecimento

APÊNDICE I

Figura 22 – Carregamentos nos pilares : a) Situação de uma casa térrea ; b) situação de um sobrado

a)

Pilares		Casa térrea											
Dimensão x(cm)	Dimensão y(cm)	Pilar Central		Pilar de Canto						Pilar de extremidade			
		N (tf)	N.yn (tf)	N (tf)	N.yn (tf)	Mx topo (tf.m)	Mx base (tf.m)	My topo (tf.m)	My base (tf.m)	N(tf)	N.yn (tf)	Mx topo(tf.m)	Mx base(tf.m)
12	20	5,65	7,6275	1,14	1,539	0,1	-0,11	0,06	-0,1	4,62	6,237	0,17	-0,19
12	25	5,65	7,6275	1,14	1,539	0,12	-0,13	0,09	-0,14	4,62	6,237	0,2	-0,22
13	20	5,65	7,345	1,14	1,482	0,12	-0,14	0,07	-0,1	4,62	6,006	0,2	-0,23
13	25	5,65	7,345	1,14	1,482	0,14	-0,16	0,09	-0,15	4,62	6,006	0,24	-0,26
14	20	5,65	7,0625	1,14	1,425	0,14	-0,17	0,07	-0,11	4,62	5,775	0,24	-0,27
15	20	5,65	6,78	1,14	1,368	0,17	-0,19	0,07	-0,11	4,62	5,544	0,28	-0,31
14	26	5,65	7,0625	1,14	1,425	0,17	-0,2	0,1	-0,14	4,62	5,775	0,29	-0,32

b)

Pilares		Sobrado											
Dimensão x(cm)	Dimensão y(cm)	Pilar Central		Pilar de Canto						Pilar de extremidade			
		N (tf)	N.yn (tf)	N (tf)	N.yn (tf)	Mx topo (tf.m)	Mx base (tf.m)	My topo (tf.m)	My base (tf.m)	N(tf)	N.yn (tf)	Mx topo(tf.m)	Mx base(tf.m)
12	20	16,53	22,3155	3,82	5,157	0,09	-0,04	0,09	-0,04	13,0	17,604	0,14	-0,07
12	25	16,53	22,3155	3,82	5,157	0,1	-0,05	0,13	-0,07	13,0	17,604	0,16	-0,08
13	20	16,53	21,489	3,82	4,966	0,11	-0,05	0,09	-0,05	13,0	16,952	0,16	-0,08
13	25	16,53	21,489	3,82	4,966	0,12	-0,06	0,14	-0,07	13,0	16,952	0,19	-0,1
14	20	16,53	20,6625	3,82	4,775	0,13	-0,06	0,1	-0,05	13,0	16,3	0,2	-0,1
15	20	16,53	19,836	3,82	4,584	0,15	-0,07	0,1	-0,05	13,0	15,648	0,23	-0,11
14	26	16,53	20,6625	3,82	4,775	0,15	-0,08	0,15	-0,08	13,0	16,3	0,23	-0,12

Elaborado pelo autor

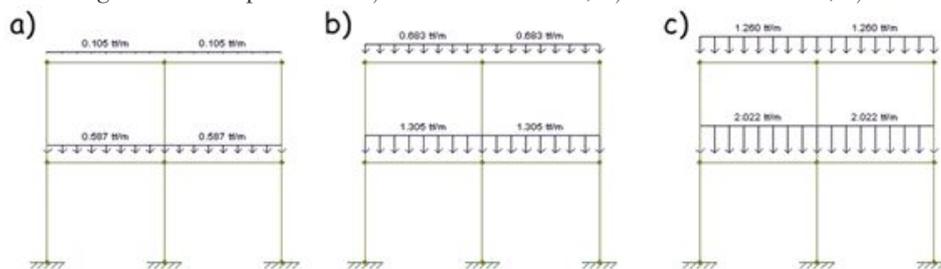
APÊNDICE II

Não serão modelados pórticos para a situação de casa térrea pois ela terá o mesmo carregamento e comportamento do nível superior do sobrado. Além disso não serão analisados todos os pórticos devido a simetria do problema.

Os momentos fletores estão representados em tf.m e os esforços normais em tf.

1. Carregamento nos pórticos

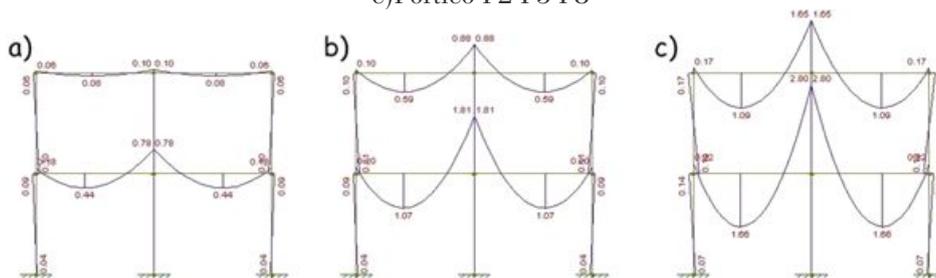
Figura 23 – Carregamento nos pórticos : a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

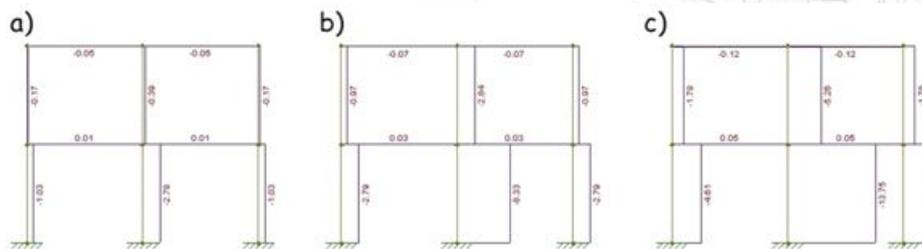
2. Esforços em pilares de dimensões 12x20cm

Figura 24 – Momentos fletores em pilares de dimensões 12x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

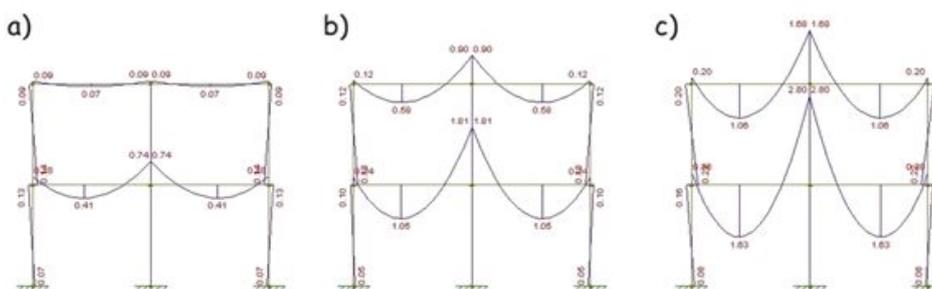
Figura 25 – Esforços normais em pilares de dimensões 12x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

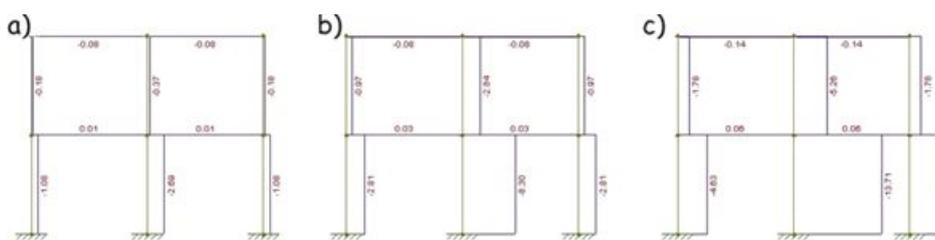
3. Esforços em pilares de dimensões 12x25cm

Figura 26 – Momentos fletores em pilares de dimensões 12x25cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

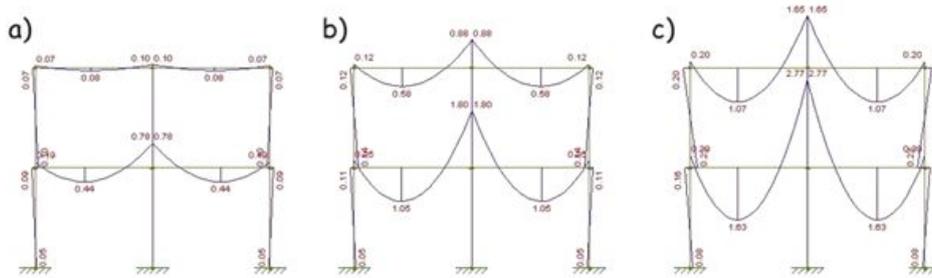
Figura 27 – Esforços normais em pilares de dimensões 12x25 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

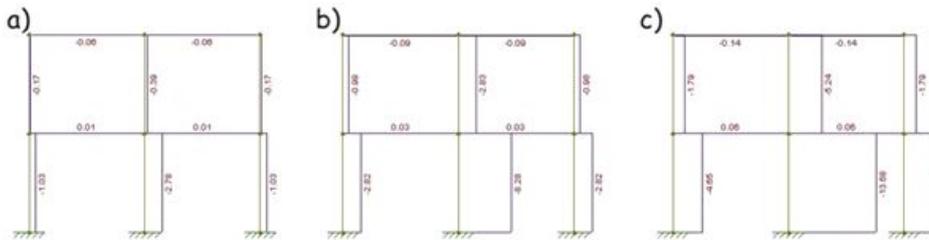
4 Esforços em pilares de dimensões 13x20cm

Figura 28 – Momentos fletores em pilares de dimensões 13x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

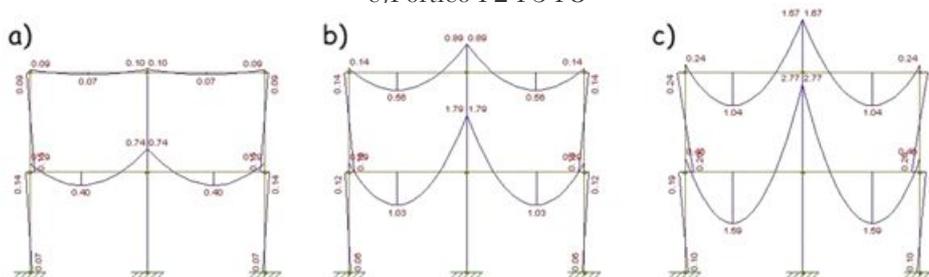
Figura 29 – Esforços normais em pilares de dimensões 13x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

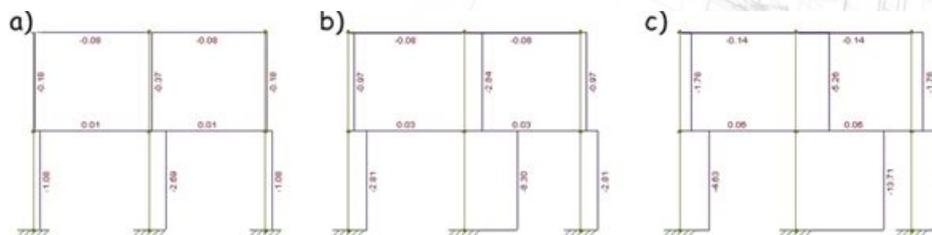
5. Esforços em pilares de dimensões 13x25cm

Figura 30 – Momentos fletores em pilares de dimensões 13x25cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

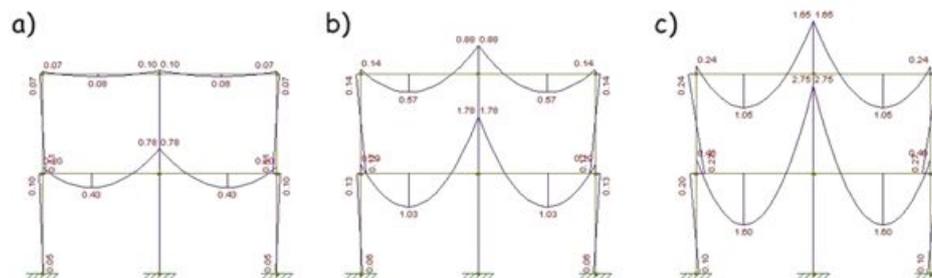
Figura 31 – Esforços normais em pilares de dimensões 13x25 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

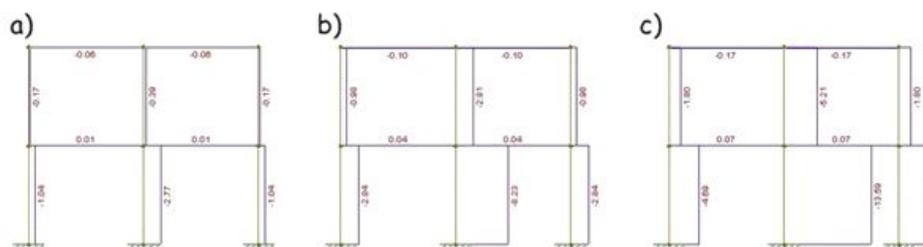
6. Esforços em pilares de dimensões 14x20cm

Figura 32 – Momentos fletores em pilares de dimensões 14x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

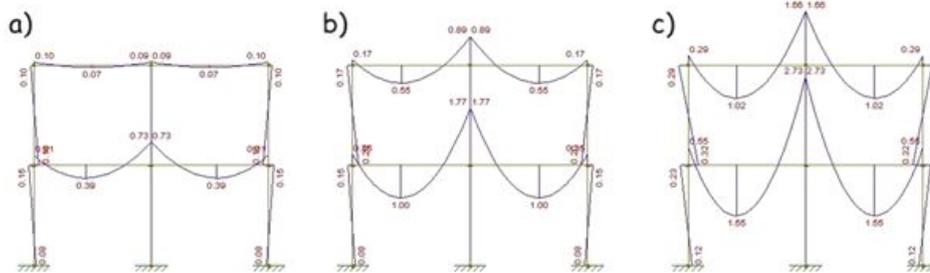
Figura 33 – Esforços normais em pilares de dimensões 14x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

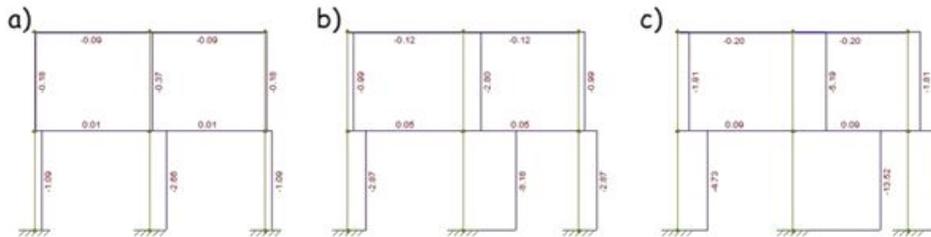
7. Esforços em pilares de dimensões 14x26cm

Figura 34 – Momentos fletores em pilares de dimensões 14x26cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

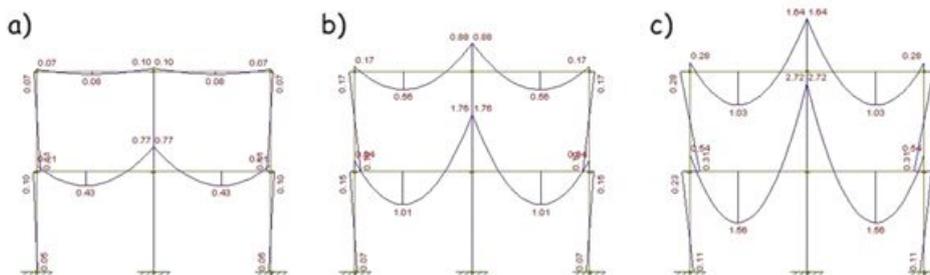
Figura 35 – Esforços normais em pilares de dimensões 14x26 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

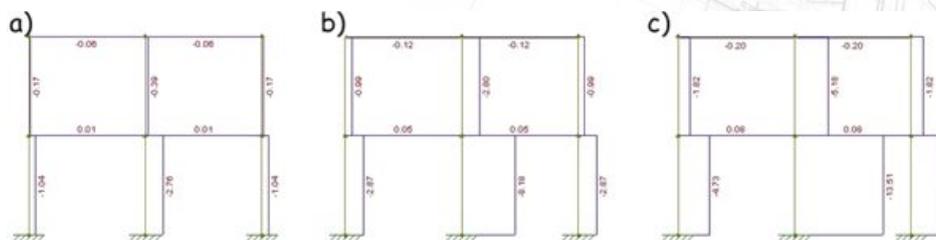
8. Esforços em pilares de dimensões 15x20cm

Figura 36 – Momentos fletores em pilares de dimensões 15x20cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

Figura 37 – Esforços normais em pilares de dimensões 15x20 cm: a) Pórtico P1 P2 P3; b) Pórtico P1 P4 P7; c) Pórtico P2 P5 P8



Fonte: Do Autor

APÊNDICE III

Tabela 12 – Resultados para o método da rigidez aproximada em uma casa térrea

MÉTODO DA RIGIDEZ APROXIMADA												
CASA TÉRREA												
Nome	Pilar Central				Pilar de Canto				Pilar de extremidade			
	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y
PE1	1,62	0,76	4,5	1,4126	1,13	0,571	5,9474	2,719	1,52	0,73	1,6591	4,2222
PE2	2,1	0,9	5,8333	1,6981	1,625	0,765	7,7381	4,0263	2,01	0,91	5,5833	2,0682
PE3	2,22	0,83	6,6767	1,5428	1,53	0,61	5,6667	2,3462	2,08	0,78	4,9524	1,7931
PE4	2,66	1,148	8,012	2,1378	2,39	0,963	9,56	3,7038	2,64	1,12	6	2,6667
PE5	1,615	0,884	4,6341	1,8417	1,14	0,65	4,56	3,6111	1,515	0,84	3,6071	2,1538
PE6	2,243	1,38	6,4086	2,875	2,06	1,2	8,24	6,6667	2,205	1,36	5,25	3,4518
PE7	2,213	0,94	6,9156	1,9583	1,53	0,683	5,2759	2,5296	2,07	0,88	4,4043	2,2449
PE8	3,175	1,43	9,9219	2,9792	2,98	1,22	10,276	4,5185	3,14	1,38	6,6809	3,5204
PE9	1,613	0,99	4,8149	2,3023	1,143	0,72	3,81	3,7895	1,5175	0,94	3,2287	2,6629
PE10	2,24	1,575	6,6866	3,6628	2,065	1,34	6,8833	7,0526	2,2	1,523	4,6809	4,3144
PE11	1,61	1,095	5	2,8077	1,145	0,8	3,5781	4,4444	1,51	1,04	2,9038	3,25
PE12	2,275	1,775	7,0652	4,5513	2,1	1,5	6,5625	8,3333	2,25	1,71	4,3269	5,3438
PE13	2,32	1,06	7,7333	2,4651	1,61	0,7675	4,6	2,7411	2,175	0,995	4,0278	2,8429
PE14	3,45	1,65	11,5	3,8372	3,23	1,4	9,2286	5	3,4	1,58	6,2963	4,5143

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 13 – Resultados para o método geral em uma casa térrea

MÉTODO GERAL												
CASA TÉRREA												
Nome	Pilar Central				Pilar de Canto				Pilar de extremidade			
	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y
PE1	1,62	0,76	6,0674	1,6703	1,13	0,571	5,381	3,0053	1,52	0,73	4,2222	2,2813
PE2	2,1	0,9	8,1081	2,25	1,625	0,765	7,7381	4,0263	2,01	0,91	5,5833	3,0333
PE3	2,22	0,83	8,4571	2,0244	1,53	0,61	6,12	2,3462	2,08	0,78	4,9524	2,6897
PE4	2,66	1,148	10,153	3,3275	2,39	0,963	9,56	3,7038	2,64	1,12	6,2857	4,48
PE5	1,615	0,884	6,46	2,7625	1,14	0,65	4,56	3,6111	1,515	0,84	3,6071	3,5745
PE6	2,243	1,38	9,1179	4,7586	2,06	1,2	8,24	6,6667	2,205	1,36	5,25	6,1818
PE7	2,213	0,94	8,852	2,9375	1,53	0,683	5,2759	2,5296	2,07	0,88	4,4043	3,6667
PE8	3,175	1,43	12,802	5,089	2,98	1,22	10,276	4,5185	3,14	1,38	6,6809	6,4789
PE9	1,613	0,99	6,7208	3,4138	1,143	0,72	3,81	3,7895	1,5175	0,94	3,2287	4,2727
PE10	2,24	1,575	9,7391	6,3	2,065	1,34	6,8833	7,0526	2,2	1,523	4,6809	7,615
PE11	1,61	1,095	7	4,3281	1,145	0,8	3,5781	4,4444	1,51	1,04	2,9038	5,2
PE12	2,275	1,775	10,111	7,8889	2,1	1,5	6,5625	8,3333	2,25	1,71	3,2885	9,3956
PE13	2,32	1,06	9,567	3,8828	1,61	0,7675	4,6	2,7411	2,175	0,995	4,0278	4,7381
PE14	3,45	1,65	14,375	6,7347	3,23	1,4	9,2286	5	3,4	1,58	6,2963	8,3158

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14 – Resultados para o método da rigidez aproximada em um sobrado

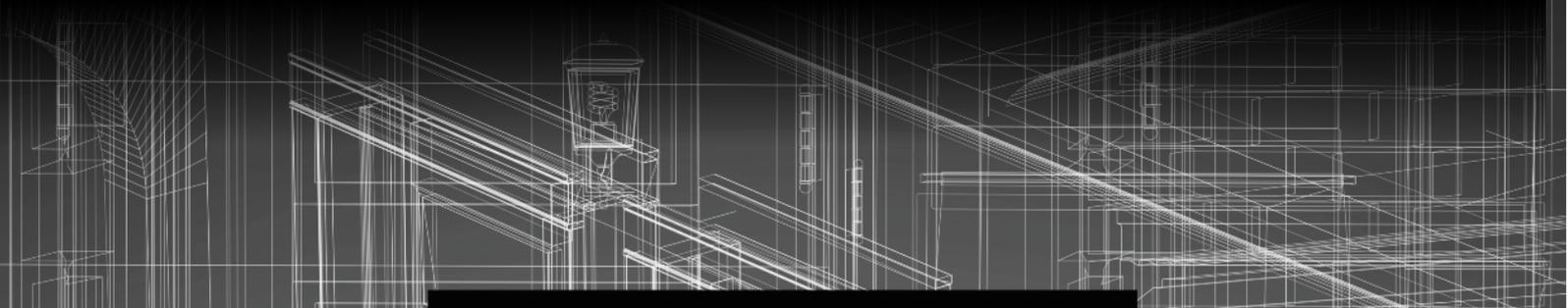
MÉTODO DA RIGIDEZ APROXIMADA												
SOBRADO												
Nome	Pilar Central				Pilar de Canto				Pilar de extremidade			
	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y
PE1	1,176	0,61	1,12	0,3885	1,44	0,7	5,8776	1,9444	1,445	0,7	1,741	0,5645
PE2	1,59	0,77	1,5143	0,4889	1,92	0,885	7,8367	2,4583	1,865	0,825	2,2389	0,6669
PE3	2,11	0,82	2,1753	0,5223	1,96	0,748	8,7111	2,0606	2,395	0,863	3,1328	0,7016
PE4	2,446	1,04	2,5216	0,6624	2,62	1,08	7,2176	4,8	2,635	1,08	3,449	0,8731
PE5	1,377	0,79	1,35	0,5623	1,44	0,8	6,1277	2,4242	1,6	0,875	2	0,7955
PE6	1,94	1,2	1,902	0,8541	2,175	1,33	9,2161	4,0303	2,12	1,27	2,65	1,1493
PE7	2,365	1,02	2,524	0,7286	1,953	0,84	8,8773	2,5926	2,611	1,055	3,5524	0,9548
PE8	3,07	1,355	3,2764	0,9679	3,12	1,355	14,182	4,1821	3,2945	1,4	4,4823	1,267
PE9	1,55	0,98	1,5816	0,7759	1,435	0,89	6,2391	3,069	1,75	1,063	2,2698	1,0705
PE10	2,06	1,43	2,102	1,1322	2,17	1,475	9,4348	5,0862	2,224	1,5	2,8846	1,5106
PE11	1,72	1,18	1,8298	1,0442	1,43	0,98	5,72	5,1579	1,88	1,26	2,5405	1,4
PE12	2,2	1,75	2,3404	1,5487	2,21	1,675	8,84	8,8158	2,35	1,82	3,1757	2,0222
PE13	2,83	1,28	3,1709	1,0159	2,04	0,95	7,8462	3,2759	2,99	1,31	4,2714	1,3192
PE14	3,56	1,71	3,9888	1,3571	3,37	1,55	12,962	5,3448	3,66	1,77	5,2286	1,7825

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 – Resultados para o método geral em um sobrado

MÉTODO GERAL												
SOBRADO												
Nome	Pilar Central				Pilar de Canto				Pilar de extremidade			
	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y	MRD x	Mrd y	FS x	FS y
PE1	1,176	0,61	1,3595	0,3211	1,44	0,7	8,4706	2,9787	1,445	0,7	2,1567	0,5426
PE2	1,59	0,77	1,8339	0,3446	1,92	0,885	11,294	4,0227	1,865	0,825	2,7836	0,5446
PE3	2,11	0,82	2,5732	0,529	1,96	0,748	10,316	2,992	2,395	0,863	3,7305	0,7097
PE4	2,446	1,04	2,9293	0,5226	2,62	1,08	13,789	4,32	2,635	1,08	4,0538	0,7826
PE5	1,377	0,79	1,6393	0,5411	1,44	0,8	7,2	4,4444	1,6	0,875	2,439	0,8028
PE6	1,94	1,2	2,2877	0,7407	2,175	1,33	10,875	7,8235	2,12	1,27	3,2868	1,1981
PE7	2,365	1,02	3,0127	0,8327	1,953	0,84	8,8773	3,36	2,611	1,055	4,2113	1,0821
PE8	3,07	1,355	3,8861	0,9542	3,12	1,355	14,182	5,42	3,2945	1,4	5,4008	1,4286
PE9	1,55	0,98	1,9745	0,9245	1,435	0,89	6,2391	4,9444	1,75	1,063	2,8226	1,2433
PE10	2,06	1,43	2,575	1,1917	2,17	1,475	9,4348	8,1944	2,224	1,5	3,7067	1,8072
PE11	1,72	1,18	2,2781	1,2757	1,43	0,98	5,72	5,7647	1,88	1,26	3,1333	1,6856
PE12	2,2	1,75	2,8571	1,8041	2,21	1,675	8,84	9,8529	2,35	1,82	4,0517	2,6377
PE13	2,83	1,28	3,7237	1,219	2,04	0,95	7,8462	3,6538	2,99	1,31	5,0678	1,5412
PE14	3,56	1,71	4,709	1,5545	3,37	1,55	12,962	5,9615	3,66	1,77	6,2671	2,2839

Fonte: Elaborado pelo autor



SOBRE OS AUTORES



Compartilhando conhecimento

ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

VITOR MASCARENHAS LUSTOSA DE ALVARENGA

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2021).



ALINE FIGUEIRÊDO DA NÓBREGA

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2005); Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2007) e Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2012) com período sanduíche de 1 ano na University of Illinois at Urbana-Champaign - EUA.



FABIOLA LUANA MAIA ROCHA

Graduação em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2016); Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2018); Especialização em Engenharia elétrica com ênfase em projetos residenciais pelo Instituto Prominas (2018) e Mestrado em Ensino pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN (2020).



DIEGO DE PAIVA BEZERRA

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB (2019); Especialização em Gerenciamento de Obras e Master BIM pela Faculdade Integrada de Patos - Pós FIP (2021); Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Estruturas e Materiais, pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2023).



ANÁLISE DA SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DE PILARES COM DIMENSÕES MENORES QUE AS ESTABELECIDAS NA NBR 6118-2023 EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS E SOBRADOS

LETÍCIA SABRINA DE MELO SOUZA

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí - UFPI (2016); Especialista em Estruturas de Concreto e Fundações - INBEC (2019) e em Docência da Educação Profissional e Tecnológica - SENAI/RJ/CETIQT (2020). Mestra em Engenharia Civil e Ambiental - UFPB (2023).



IRANILZA COSTA DA SILVA

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2023); Mestranda em Engenharia Civil (Construção Civil) pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.



EZIO LUIZ MARTINS SIMÕES

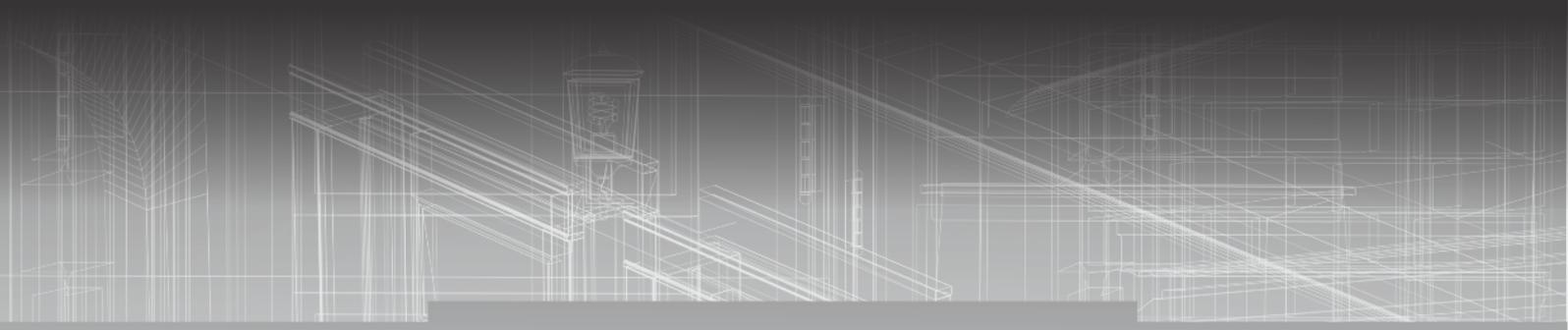
Graduação em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ (2012); Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2017).



TAYNÁ CHAVES SANTANA LOPES FERREIRA

Graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ (2021) e Mestranda em materiais e componentes da construção pela Universidade Federal da Paraíba -UFPB (2023).





<https://www.facebook.com/Synapse-Editora-111777697257115>



<https://www.instagram.com/synapseeditora>



<https://www.linkedin.com/in/synapse-editora-compartilhando-conhecimento/>



31 98264-1586



editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento