

EDUARDO AURÉLIO BARROS AGUIAR
FERNANDO JORGE CUTRIM DEMÉTRIO
JORGE CRESO CUTRIM DEMÉTRIO
EDUARDO AURÉLIO HESKETH DE OLIVEIRA AGUIAR
MIRELLA CAVALCANTE MENDES

A black and white photograph of a reinforced concrete column under construction. The image shows a dense network of vertical and horizontal steel reinforcement bars (rebar) forming a cylindrical cage. The vertical bars are prominent, extending upwards, while the horizontal bars are spaced evenly around the circumference. The background is a solid dark gray, making the metallic texture of the rebar stand out.

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO
DE PILARES DE CONCRETO
ARMADO PARA ARQUITETOS**

MANUAL



Editora
Uema

**MANUAL DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO
DE PILARES DE CONCRETO ARMADO
PARA ARQUITETOS**

EDUARDO AURÉLIO BARROS AGUIAR
FERNANDO JORGE CUTRIM DEMÉTRIO
JORGE CRESO CUTRIM DEMÉTRIO
EDUARDO AURÉLIO HESKETH DE OLIVEIRA AGUIAR
MIRELLA CAVALCANTE MENDES

**MANUAL DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO
DE PILARES DE CONCRETO ARMADO
PARA ARQUITETOS**



São Luís, 2024

© copyright 2024 by UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.
Todos os direitos desta edição reservados à EDITORA UEMA.

MANUAL DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO PARA ARQUITETOS

EDITOR RESPONSÁVEL

Jeanne Ferreira Sousa da Silva

CONSELHO EDITORIAL

Alan Kardec Gomes Pachêco Filho • Ana Lucia Abreu Silva
Ana Lúcia Cunha Duarte • Cynthia Carvalho Martins
Eduardo Aurélio Barros Aguiar • Emanuel Cesar Pires de Assis
Emanuel Gomes de Moura • Fabíola Hesketh de Oliveira
Helciane de Fátima Abreu Araújo • Helidacy Maria Muniz Corrêa
Jackson Ronie Sá da Silva • José Roberto Pereira de Sousa
José Sampaio de Mattos Jr • Luiz Carlos Araújo dos Santos
Marcelo Cheche Galves • Marcos Aurélio Saquet
Maria Medianeira de Souza • Maria Claudene Barros
Rosa Elizabeth Acevedo Marin • Wilma Peres Costa

Diagramação: Paul Philippe

Capa: Jeanne Ferreira Sousa da Silva

Manual de pré-dimensionamento de pilares de concreto armado para arquitetos /
Eduardo Aurélio Barros Aguiar ... [et al.] – São Luís: UEMA, 2024.
99 p: il. color.

ISBN: 978-85-8227-458-3

1.Engenharia. 2.Arquitetura. 3.Concreto Armado. I. Aguiar, Eduardo Aurélio
Barros. II. Demétrio, Fernando Jorge Cutrim. III. Demétrio, Jorge Creso Cutrim.
IV. Aguiar, Eduardo Aurélio Hesketh De Oliveira. V. Mendes, Mirella Cavalcante.
VI.Título

CDU: 624.012.45(035)

Elaborado por Cássia Diniz – CRB 13/910

EDITORA UEMA

Cidade Universitária Paulo VI - CP 09 Tirirical - CEP - 65055-970 São Luís – MA

www.editorauema.uema.br – editora@uema.br

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Elementos lineares.....	33
Imagem 2: Elementos Superficiais.....	34
Imagem 3: Elementos de volume.....	34
Imagem 4: Esforço de Tração.....	35
Imagem 5: Esforço de Compressão.....	36
Imagem 6: Esforço de Flexão.....	36
Imagem 7: Esforço de Cisalhamento.....	37
Imagem 8: Esforço de Torção.....	37
Imagem 9: Classificação das cargas nas estruturas.....	38
Imagem 10: Esquema de cargas nas estruturas.....	40
Imagem 11: Elementos estruturais básicos.....	41
Imagem 12: Elementos estruturais básicos – lajes/ vigas/ pilares/ fundações.....	42
Imagem 13: Tipos de apoio dos pilares e comprimento de flambagem.....	51
Imagem 14: Locação dos pilares.....	56
Imagem 15: Relação de vãos entre os pilares.....	56
Imagem 16: Continuidade dos pilares da estrutura.....	57
Imagem 17: Classificação dos pilares quanto à sua posição.....	61

Imagem 18: Esquema de classificação dos pilares.....	62
Imagem 19: Classificação dos pilares e coeficientes de posição.....	63
Imagem 20: Seção do pilar.....	64
Imagem 21: Capacidade de carga do pilar.....	65
Imagem 22: Capacidade de carga do pilar.....	72
Imagem 23: Área de influência dos pilares.....	73
Imagem 24: Exemplo 01 - vista.....	74
Imagem 25: Exemplo 01 – planta baixa e corte.....	75
Imagem 26: Exemplo 01 – cálculo da área de influência.....	75
Imagem 27: Exemplo 01 – condições $b \times h$	77
Imagem 28: Exemplo 02 – vista.....	78
Imagem 29: Exemplo 02 – Plantas baixas e corte.....	79
Imagem 30: Exemplo 02 (seção 01) – cálculo da área de influência....	80
Imagem 31: Exemplo 02 – seção 01 – condições $b \times h$	81
Imagem 32: Exemplo 02 (seção 02) – cálculo da área de influência....	82
Imagem 33: Exemplo 02 – seção 02 – condições $b \times h$	84
Imagem 34: Exemplo 02 – lançamento pilares seção 01 e 02.....	87
Imagem 35: Fluxograma – Fluxograma (parte 01).....	88
Imagem 36: Fluxograma – Fluxograma (parte 02).....	89

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Parthenon.....	23
Foto 2: Catedral de Notre Dame de Paris.....	23
Foto 3: O Domo de Florença.....	24
Foto 4: Ponte do Brooklyn.....	25
Foto 5: Ministério das Relações Exteriores.....	26
Foto 6: Concert Hall.....	26
Foto 7: Cidade das artes _Valencia/ Espanha – Santiago Calatrava.....	30
Foto 8: Centro Georges Pompidou _ Paris/ França – Renzo Piano.....	31
Foto 9: Palácio do Planalto _ Brasília/ Brasil - Oscar Niemeyer.....	31
Foto 10: Cais das Artes _ Vitória ES/ Brasil – Paulo Mendes da Rocha.....	32
Foto 11: 30 St Mary Axe _ Londres/ Inglaterra - Norman Foster.....	32
Foto 12: Panteão - Roma.....	43
Foto 13: Coliseu - Roma.....	44
Foto 14: Pilares na arquitetura clássica.....	45
Foto 15: Pilares na arquitetura clássica.....	45
Foto 16: MUBE - Museu Brasileiro da Escultura - Paulo Mendes da Rocha.....	46
Foto 17: Palácio Tiradentes - Oscar Niemeyer.....	46
Foto 18: Torre de Khalifa – Adrian Smith.....	47

Foto 19: Flexão da régua.....	49
Foto 20: Prédio da escola de engenharia de São Carlos.....	52
Foto 21: Universidade Técnica de Zurique.....	53
Foto 22: Sede do Banco do Brasil de Porto Alegre.....	53
Foto 23: La fierà di Milano.....	54
Foto 24: Pilotis de um edifício.....	58
Foto 25: MASP – São Paulo.....	58
Foto 26: Moldes usados para os corpos-de-prova.....	66
Foto 27: Cura submersa dos corpos-de-prova.....	67
Foto 28: Ensaio de compressão.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comprimento de flambagem X dimensão mínima do pilar.....	60
Gráfico 2: Gráfico tensão X deformação aço.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Peso da estrutura + Carga de ocupação.....	40
Tabela 2: Comprimento de flambagem.....	50
Tabela 3: Coeficientes de majoração dos pilares esbeltos.....	59
Tabela 4: Classificação dos tipos de concreto.....	69
Tabela 5: Classificação dos tipos de aço.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS

F - FORÇA

Kgf/m² - QUILOGRAMA FORÇA POR METRO QUADRADO

N - FORÇA NORMAL

m³ - METRO CÚBICO

l - COMPRIMENTO

le - COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM

λ - ÍNDICE DE ESBELTEZ

i - RAIO DE GIRAÇÃO

I - MOMENTO DE INÉRCIA DA SEÇÃO

b - BASE

h - ALTURA

% - PORCENTAGEM

cm - CENTÍMETRO

C_p - COEFICIENTE DE POSIÇÃO

M_x - MOMENTO EM x

M_y - MOMENTO EM y

P - FORÇA RESISTIDA PELO PILAR

Ac - ÁREA DO CONCRETO

As - ÁREA DO AÇO

7 - RESISTÊNCIA

A - ÁREA

Fck - RESISTÊNCIA DO CONCRETO A COMPREENSÃO

MPa - MEGA PASCAL

Pa - PASCAL

N/m² - NEWTON POR METRO QUADRADO

Fcd - RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM MARGEM DE SEGURANÇA

Fyk - RESISTÊNCIA DO AÇO

E - DEFORMAÇÃO

Fyd - RESISTÊNCIA DO AÇO COM MARGEM DE SEGURANÇA

Ai - ÁREA DE INFLUÊNCIA

Q - PESO DA ESTRUTURA E CARGA DE OCUPAÇÃO

n - NÚMERO DE PAVIMENTOS

m² - METRO QUADRADO

Nº - NÚMERO

x - VEZES

+ - MAIS

- - MENOS

$\approx$ - VALOR APROXIMADO

cm² - CENTÍMETRO QUADRADO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

Art. - ARTIGO

CAD - CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

IAB - INSTITUTO DOS ARQUITETOS BRASILEIROS

NBR - NORMAS BRASILEIRAS

OBS - OBSERVAÇÃO

SUMÁRIO

1. QUESTÕES INTRODUTÓRIAS.....	17
1.1. Inquietações a Respeito do Ato de Projetar.....	17
1.2. Metodologia de Pesquisa.....	19
1.3. Desenvolvimento dos temas principais na estrutura dos capítulos.....	20
2. A ARQUITETURA.....	22
2.1. A Arquitetura e o Tempo.....	22
2.2. As atribuições do arquiteto.....	27
2.3. O Projeto de Arquitetura.....	28
2.4. O Projeto Estrutural e o Projeto Arquitetônico.....	29
3. CONCEITOS BÁSICOS.....	33
3.1. Classificação dos elementos estruturais.....	33
3.2. Esforços solicitantes.....	35
3.3. Cargas nas estruturas.....	38
3.3.1. Classificação das cargas estruturais.....	38
3.3.2. Previsão dos carregamentos de uma edificação.....	39
3.4. Elementos estruturais básicos.....	41
4. ESTUDO DOS PILARES DE CONCRETO ARMADO.....	43
4.1. Concreto armado.....	43
4.2. Pilares do concreto armado.....	45
4.3. Esforços atuantes e seu comportamento.....	48
4.4. Flambagem.....	48
4.4.1. Comprimento de flambagem.....	49
4.4.2. Índice de esbeltez.....	51

4.5. Locação dos pilares de concreto armado.....	54
4.6. Pré-dimensionamento dos pilares de concreto armado...59	59
4.6.1. Dimensões mínimas.....	59
4.6.2. Classificação dos pilares quanto à sua classificação.....	61
4.6.3. Capacidade de carga do pilar.....	64
4.6.4. Contribuição do concreto.....	65
4.6.5. Contribuição do aço.....	69
4.6.6. Cálculo da carga no pilar.....	73
4.7. Exemplos de aplicação.....	74
4.8. Fluxograma de lançamento e pré-dimensionamento de pilares.....	88
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS.....	91
Apêndice A.....	93
Apêndice B.....	94
Apêndice C.....	95
Apêndice D.....	96
Apêndice E.....	97
Apêndice F.....	98

1. QUESTÕES INTRODUTÓRIAS

1.1. Inquietações a Respeito do Ato de Projetar

O processo de elaboração do projeto estrutural de uma edificação é tratado por muitos profissionais (arquitetos e engenheiros) como um momento isolado do processo de concepção arquitetônica, e geralmente desenvolvido após a elaboração do projeto de arquitetura. No entanto, a relação harmoniosa entre os espaços arquitetônicos e os resultados das necessidades estruturais de uma construção é fato determinante para o sucesso projetual da edificação.

Para a realização de um bom projeto arquitetônico, é extremamente importante que o arquiteto possua conhecimentos que lhe permitam promover a concepção estrutural da edificação; de forma que esse profissional seja capaz de prever as necessidades estruturais e escolher, dentre as diversas soluções, a que melhor se adapta a essas necessidades. Nesse processo, deve levar em consideração os requisitos básicos para escolha, como equilíbrio, funcionalidade, estabilidade, custo, resistência, estética, tempo de execução, etc, de maneira que proponha a melhor solução para cada situação particular do projeto.

É importante frisar que a concepção estrutural é uma etapa anterior ao seu dimensionamento e quantificação, e que essa etapa inicial é de responsabilidade do arquiteto no momento que desenvolve a forma do seu projeto arquitetônico, possibilitando, assim, que esse profissional tome partido da sua escolha estrutural para valorização de seu projeto, ou ainda para minimizar certos impactos na conformação de sua arquitetura.

A arquitetura não pode existir independente de uma estrutura, de materiais e de métodos construtivos que a produzam. No entanto, é comum observar alguns profissionais que simplesmente ignoram a necessidade da concepção estrutural em seus projetos, delegando assim esta responsabilidade para profissionais da área de engenharia. Como consequência dessa atitude, observam-se alguns projetos arquitetônicos extremamente prejudicados por conta de escolhas estruturais indevidas, ou ainda com a utilização de elementos auxiliares, como forros e paredes falsas, para esconder elementos estruturais indesejáveis nos ambientes.

É frequente, ao conversar com arquitetos, ouvir diversas reclamações quanto aos engenheiros, que muitas vezes descaracterizam seus projetos; ou ainda engenheiros que afirmam que os arquitetos

simplesmente ignoram as necessidades estruturais das edificações. A verdade é que, muitas vezes, a relação necessária de interdisciplinaridade entre essas duas áreas apresenta falhas, por conta de arquitetos delegarem indevidamente a responsabilidade da concepção estrutural a um engenheiro, que por formação não possui a mesma sensibilidade quanto à estética e funcionalidade dos ambientes da edificação.

Quando o criador da forma não se preocupa com o ato gêmeo da concepção estrutural, delegando a outro profissional esta função, corre o risco de ver seu projeto totalmente desconfigurado.

O profissional que vem de fora, por mais boa vontade que tenha, nunca conseguirá responder adequadamente aos anseios daquele que viveu o momento íntimo da criação da forma. (REBELLO, 2000)

Diante desse cenário, apresenta-se, como resultado de uma ação investigativa, um manual de pré-dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado para profissionais da arquitetura; de sorte que o mesmo sirva como um despertar a esses profissionais quanto à importância da aplicação desse conhecimento, como também funcione como um instrumento capaz de esclarecer assuntos relacionados com o ato de projetar arquitetura e conceituar os elementos estruturais das edificações e as cargas que venham atuar sobre os mesmos. Dessa maneira, este manual configura-se uma ferramenta de apoio teórico-prático que permite ao arquiteto um embasamento teórico no momento da concepção estrutural de seus projetos.

Um recorte providencial na ampla abordagem dos elementos estruturais, com foco no pré-dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado, justifica-se pelo fato desses elementos exercerem grande impacto na arquitetura estética e funcional do ambiente construído. Pilares lançados de maneira equivocada ou ainda com dimensões superiores às previstas durante a elaboração do projeto arquitetônico podem acabar prejudicando a disposição dos ambientes, a sua funcionalidade ou ainda impactar na aparência da edificação.

Objetiva-se, assim, a partir da apresentação de um manual de pré-dimensionamento de pilares, contribuir para a desmistificação da ideia de que “a preocupação com a estrutura é coisa para o engenheiro” e despertar o interesse do arquiteto no momento da concepção estrutural de seus projetos, de forma que o mesmo se capacite a compreendê-la,

explicá-la e ainda tomar partido da estrutura para a valorização da sua ideia.

Considerando essa realidade, observou-se a necessidade da elaboração de um manual que fosse capaz de:

- Demonstrar a importância da concepção estrutural no momento do desenvolvimento do projeto arquitetônico;
- Apresentar os elementos estruturais e suas classificações;
- Apresentar os tipos de esforços;
- Conceituar as cargas que atuam sobre as estruturas e apresentar métodos para o seu pré-dimensionamento;
- Apresentar as atribuições do profissional arquiteto e suas responsabilidades com o projeto;
- Desenvolver um estudo específico sobre os tipos, as importâncias, as aplicações, e métodos para o pré-dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado;

No decorrer deste guia, serão apresentados conceitos que permitem o entendimento do comportamento dos pilares das edificações, e métodos práticos para o seu pré-dimensionamento.

A originalidade deste manual prende-se à sua forma de apresentação, ou seja, em forma de um guia prático, com uma linguagem simples e didática, com a apresentação de croquis esquemáticos, tabelas, imagens e, ainda, com exemplos práticos de aplicação, com enfoque no pré-dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado.

1.2. Metodologia de Pesquisa

A pesquisa desenvolveu-se com base em questionamentos, tais como: O que é estrutura? Para que ela serve? Qual a importância deste conhecimento para os arquitetos? Quem deve conceber a estrutura do projeto? Como ela pode ajudar ou prejudicar um projeto arquitetônico? Qual o papel do engenheiro e do arquiteto no momento da concepção de uma edificação?

Segundo REBELLO (2000), a estrutura é o conjunto de elementos (lajes, vigas e pilares) que se inter-relacionam para criar espaços e funcionar como o caminho pelo qual as forças que atuam sobre ela devem transitar até chegar ao seu destino final, o solo.

Dessa forma, a metodologia para o desenvolvimento da ação investigativa foi dividida em três etapas, conforme segue abaixo:

a) Revisão bibliográfica

Foi feito um levantamento bibliográfico nos acervos da Universidade Estadual do Maranhão, em artigos, monografias, dissertações, teses e livros sobre o tema com o objetivo de tornar consistente a fundamentação teórica do autor.

b) Elaboração de croquis e desenhos esquemáticos

Com o objetivo de desenvolver um projeto o mais didático possível, foram utilizados croquis e desenhos esquemáticos para representação das situações evidenciadas. Essas ilustrações referenciadas no projeto foram, em sua maioria, elaboradas pelo autor.

c) Levantamento fotográfico de exemplos das aplicações

Para cada situação exposta no projeto, apresentam-se exemplos de aplicação das mesmas em forma de fotos e imagens esquemáticas.

1.3. Desenvolvimento dos temas principais na estrutura dos capítulos

No capítulo introdutório apresentam-se as indagações e as necessidades que motivaram a ação investigativa, cujo resultado fundamentou a elaboração deste manual, além de apresentar a metodologia adotada na pesquisa. Explicitam-se também os objetivos que orientaram a elaboração do manual.

Já no segundo capítulo aborda-se, primeiramente, de maneira geral, a evolução do conceito de arquitetura ao longo do tempo. Em seguida, enfocam-se as atribuições do arquiteto e as suas responsabilidades com o ato de projetar, com ênfase na interface entre projeto arquitetônico e projeto estrutural.

O terceiro capítulo contempla a classificação dos elementos estruturais das edificações, os esforços e cargas que atuam sobre os mesmos, e, finalizando, conceitua os elementos estruturais que compõem as edificações.

O estudo minucioso dos pilares de concreto armado é desenvolvido ao longo do quarto capítulo, onde se apresenta a metodologia para a locação e pré-dimensionamento dos pilares de concreto armado.

Nas considerações finais do trabalho, que corresponde ao quinto capítulo, retomam-se e respondem-se as indagações que acompanharam o desenvolvimento da ação investigativa: o que é estrutura? Para que ela serve? Qual a importância deste conhecimento para os arquitetos? Quem deve conceber a estrutura do projeto? Como ela pode ajudar ou prejudicar um projeto arquitetônico? Qual o papel do engenheiro e do arquiteto no momento da concepção de uma edificação? Ressalta-se, também, a importância deste guia teórico-prático de pré-dimensionamento de pilares de concreto armado para os profissionais de arquitetura, além de lançar o desafio da continuidade do estudo sobre os elementos estruturais das edificações.

2. A ARQUITETURA

2.1 A ARQUITETURA E O TEMPO

Ao longo do tempo, o conceito de arquitetura foi se modificando de acordo com o desenvolvimento histórico da sociedade e, mais especificamente, das cidades.

Segundo LEMOS (1994), o primeiro pensador a teorizar a arquitetura foi Platão, 400 a.C. Segundo ele, “a arquitetura e todas as artes manuais implicam numa ciência que tem, por assim dizer, sua origem na ação e produzem coisas que só existem por causa delas e não existiam antes”.

Depois de Platão, Marco Vitrúvio Polião foi o primeiro autor a conceituar a arquitetura de maneira multidisciplinar, no século I a.C. Em sua obra “Os dez livros da arquitetura”, ele define os elementos fundamentais da arquitetura, mundialmente conhecidos como a “tríade virtruviana”:

- **“firmitas”**: associada ao carácter construtivo e estrutural da arquitetura, sua estabilidade;
- **“utilitas”**: associada à função, ao utilitarismo e à comodidade da arquitetura;
- **“venustas”**: associada à estética da arquitetura.

Desta forma, segundo o ponto de vista deste autor, uma construção só pode ser chamada de arquitetura quando ela, além de ser firme e bem estruturada (firmitas), possuir uma função (utilitas) e for, principalmente, bela (venustas). E assim, manteve-se o conceito da importância da beleza para as construções clássicas, levando em consideração as seis “divisões” propostas por Virtrúvio, a ordenação, a disposição, a euritimia, a simetria, a conveniência e a distribuição. Vide foto 1.

Foto 1: Parthenon

Fonte: employees.oneonta.edu

No período da Idade de Média, ainda segundo LEMOS (1994), a arquitetura gótica foi marcada pela grandeza das suas obras, com o objetivo de apresentar igrejas com o poder de proporcionar a “elevação das almas” e “dar aos féis um gosto antecipado da beleza do céu”. Nessa época, o arquiteto deveria dominar todos os conhecimentos interdisciplinares que permitiriam a construção de seus projetos. O arquiteto era também o mestre de obras da construção, e o mesmo deveria dominar conhecimentos que iam desde a mecânica dos solos, até a resistência dos materiais. Para a arquitetura, a Idade Média não pode ser considerada, de forma alguma, como período das “trevas”, uma vez que as produções arquitetônicas dessa época foram marcadas por riquíssima originalidade, com a utilização da verticalidade, arcos ogivais, vitrais, abóbadas, cúpulas, entre outros elementos, de maneira ímpar. Vide foto 2:

Foto 2: Catedral de Notre Dame de Paris

Fonte: artehistoriaepci.blogspot.com.br/

Já na época do Renascimento, surgido originalmente na Itália, houve um ressurgimento dos conceitos da arquitetura clássica. Nessa época, as lições dos “Dez livros de arquitetura” de Vitruvius voltaram com toda força, de onde a tecnologia da construção herdou o modo de construir das alvenarias romanas e tradicionais, e também as suas leis clássicas de composição. Segundo LEMOS (1994), observou-se uma arquitetura nova, regida pelos antigos, com a utilização das variedades de colunas, intercolúnios, frontões, entre outros. Nessas obras, os arquitetos ainda possuíam o papel de definir as soluções estruturais, que posteriormente receberiam toda a ornamentação clássica. Vide foto 3.

Foto 3: O Domo de Florença



Fonte: veja.abril.com.br

Posteriormente, surgiu o neoclássico, junto com a Revolução Industrial. Esta foi responsável por intensas mudanças no modo de vida da sociedade. A arte e a arquitetura passaram a se popularizar. O progresso advindo dessa época refletiu-se diretamente na maneira e nos materiais de construção empregados nas obras. Obras para a construção de pontes e estradas de ferro trouxeram o advento de materiais como o ferro e o concreto armado. Segundo FRAMPTON (1997), nessa época também se definiu completamente a separação entre o arquiteto

e o engenheiro e também o questionamento das proporções clássicas de Virtrúvio. No final do século XIX, alguns pensadores já começam a reconhecer a arquitetura além das paredes que a envolvem, dando importância à organização do espaço que ela ocupa.

Foto 4: Ponte do Brooklyn



Fonte: radiosbn.com.br

No início do século XX, a arquitetura passa a ser definida por alguns pensadores da época como a “verdade favorecendo o belo” (LEMOS,1994); nascem assim as primeiras definições da arquitetura moderna, com a apresentação da arquitetura tal qual como ela é produzida, com a apresentação dos materiais como o aço, o concreto e o vidro, desnudas de ornamentações e “disfarces”. Como principais representantes e pioneiros desta nova maneira de construir, pode-se citar Mies Van der Rohe, Walter Gropius e Le Corbusier. No Brasil, os principais representantes foram Oscar Niemeyer e Lúcio Costa, influenciados diretamente pelos arquitetos pioneiros acima citados. Vide foto 5.

Foto 5: Ministério das Relações Exteriores



Fonte: www.dicico.com.br/

Em seguida à arquitetura moderna, surge então a arquitetura contemporânea, desenvolvida no início da década de noventa, até os dias atuais. Esta arquitetura contemporânea não possui ainda a definição de uma linguagem única. Por se tratar de um estilo dos dias atuais, ainda não se pode fazer uma análise crítica de suas características. No entanto, algumas das suas obras mais expressivas possuem como características a assimetria e a utilização de formas geométricas não-lineares (desconstrutivismo). Vide foto 6.

Foto 6: Concert Hall



Fonte: beauty-places.com

2.2 AS ATRIBUIÇÕES DO ARQUITETO

O arquiteto e urbanista é aquele profissional que projeta, coordena e planeja a construção. Criatividade, sensibilidade e conhecimento técnico são algumas características que não podem faltar no exercício da profissão.

São atribuições do profissional de arquitetura, segundo a Lei Federal 12.278 de 31/12/2010, retirada do site do Instituto dos Arquitetos Brasileiros – IAB.

Art. 2º As atividades e atribuições do arquiteto e urbanista consistem em: I - supervisão, coordenação, gestão e orientação técnica; II - coleta de dados, estudo, planejamento, projeto e especificação; III - estudo de viabilidade técnica e ambiental; IV - assistência técnica, assessoria e consultoria; V - direção de obras e de serviço técnico; VI - vistoria, perícia, avaliação, monitoramento, laudo, parecer técnico, auditoria e arbitragem; VII - desempenho de cargo e função técnica; VIII - treinamento, ensino, pesquisa e extensão universitária; IX - desenvolvimento, análise, experimentação, ensaio, padronização, mensuração e controle de qualidade; X - elaboração de orçamento; XI - produção e divulgação técnica especializada; e XII - execução, fiscalização e condução de obra, instalação e serviço técnico. (O que o arquiteto faz, Em: <<http://www.iabsp.org.br/oquearquitetofaz.asp>>. Acesso em 10 de junho de 2013).

Também segundo esta lei, o arquiteto tem a responsabilidade de apresentar junto a cada projeto por ele elaborado todas as especificações necessárias para a obra a ser executada, desde a determinação da distribuição dos elementos estruturais, até a distribuição das redes hidráulicas, sanitárias, telefônicas, elétricas, ar condicionado, elevadores e de informática.

O profissional da arquitetura deve ser capaz de prever as necessidades de todas as interfaces projetuais, com a finalidade de instalá-los de maneira previamente analisada, de acordo com as necessidades particulares de cada projeto.

Em algumas situações, cabe também a este profissional a responsabilidade da coordenação e orientação geral dos cálculos

complementares ao projeto arquitetônico como: cálculo de estrutura, das instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas e de telecomunicações. A partir do desenvolvimento das tecnologias da construção civil, o papel do arquiteto também evoluiu, conforme DIEZ (2012).

O papel do arquiteto também evoluiu, tornando-se o líder de uma equipe composta por consultores técnicos especializados, mas para desempenhar-se neste novo papel e manter o controle do projeto em geral é indispensável que o arquiteto entenda conceitualmente estas disciplinas técnicas.

Dessa forma, o arquiteto deve elaborar projetos arquitetônicos que satisfaçam as necessidades sociais, estéticas, econômicas e técnicas, isto é, ele deve ser capaz de compreender todas as interfaces do projeto, saber explicá-las e ainda tomar partido da estrutura para a valorização da sua ideia, levando em consideração os diversos fatores que venham a definir a melhor solução estrutural para cada situação projetual. Para isso, conhecimentos sobre o lançamento e pré-dimensionamento de estruturas mostram-se como essenciais para o desenvolvimento da formação profissional do arquiteto e urbanista.

2.3 O PROJETO DE ARQUITETURA

Segundo CHING (2010), o ato de criar arquitetura constitui-se como um processo de resolução de problemas. Por conseguinte, faz-se imprescindível que o arquiteto tenha pleno conhecimento da problemática projetual, de forma que o mesmo proponha a melhor solução para cada situação, levando em consideração fatores como o espaço, a forma, a função e a técnica do projeto.

O processo de elaboração projetual deve refletir o contexto social, político e econômico do projeto, respeitando os requisitos básicos para escolha, como equilíbrio, funcionalidade, estabilidade, custo, resistência, estética, tempo de execução; de forma que as diversas interfaces de projeto, como as soluções estruturais, de instalações, de acessibilidade, de conforto ambiental, de sustentabilidade, de segurança, entre outras, sejam devidamente consideradas. Segundo DIEZ (2012), uma obra arquitetônica é única e indivisível, deve ser concebida como um todo formal, funcional e técnico.

2.4 O PROJETO ESTRUTURAL E O PROJETO ARQUITETÔNICO

Desde os tempos antigos, o homem teve a preocupação de aprender a utilizar e dar forma a certos materiais, em determinadas quantidades, para suportar as diferentes cargas, de maneira a criar espaços para o convívio dos seres humanos.

Sabe-se que a arquitetura é algo que não pode existir independente de uma estrutura, de materiais e de métodos construtivos que a produzam, e que o projeto estrutural de uma edificação não pode ser concebido de maneira isolada do desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Apesar de saber-se que a estrutura é algo que não pode ser concebida como um evento isolado no desenvolvimento do projeto arquitetônico, comumente observam-se alguns profissionais de arquitetura que simplesmente ignoram a necessidade da concepção estrutural em seus projetos, delegando assim esta responsabilidade para profissionais da área de engenharia.

Como consequência dessa delegação indevida, observam-se edificações com sua funcionalidade extremamente prejudicada por conta de escolhas estruturais mal feitas, sendo levados, em decorrência dessas falhas, à utilização de elementos auxiliares, como forros e paredes falsas, para esconder elementos estruturais indesejáveis nos ambientes; ou ainda ao desenvolvimento de estruturas “híbridas”, sem graça e previsíveis, que não possuem a capacidade de enriquecer a arquitetura da edificação.

Segundo CHARLESON (2009), podem-se observar, frequentemente, ao analisar a arquitetura local, edificações com elementos estruturais escondidos ou indistintos. Painéis de fachada opacos ou painéis de vidro espelhados que escondem as estruturas nos perímetros das edificações. E, dentro deles, a utilização de elementos como forros suspensos para esconder vigas, ou ainda, painéis para ocultar elementos estruturais verticais.

O projeto estrutural deve ser encarado como um aliado do desenvolvimento arquitetônico, enriquecendo a concepção da arquitetura e ainda atribuindo significado à mesma.

Arquitetos como Santiago Calatrava, Oscar Niemeyer, Renzo Piano, Paulo Mendes da Rocha, Norman Foster, entre muitos outros,

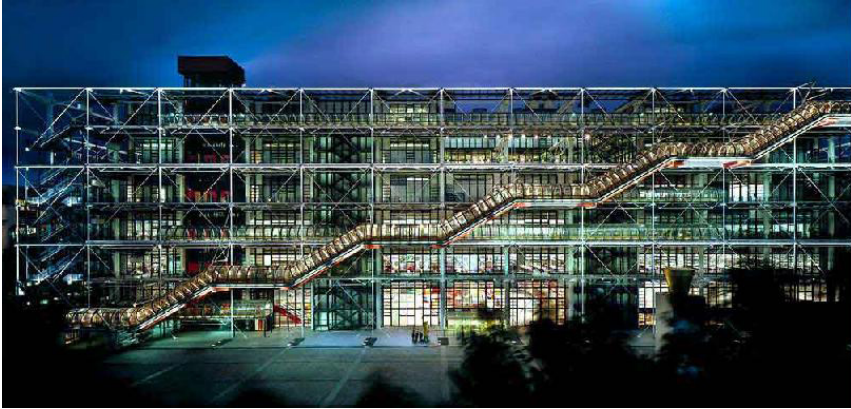
foram capazes de aliar com maestria a sua concepção arquitetônica e a estrutural, de forma que seus projetos se tornaram famosos pelo mundo inteiro. Abaixo, apresentam-se algumas fotos das mais famosas obras desses profissionais. Nestas, conforme pode-se observar, os arquitetos acima mencionados se utilizam da estrutura dos edifícios para compor a sua concepção projetual, sem a utilização de artifícios e elementos para escondê-las ou disfarçá-las. Pode-se perceber que a concepção estrutural foi uma aliada durante o desenvolvimento da concepção arquitetônica.

Foto 7: Cidade das artes Valencia/ Espanha – Santiago Calatrava



Fonte: <http://www.metalica.com.br/cidade-das-artes-em-valencia-na-espanha>

Foto 8: Centro Georges Pompidou _ Paris/ França – Renzo Piano



Fonte: <http://urbanascidadespoa.blogspot.com.br/2011/01/arquitetura-contemporanea-na-italia.html>

Foto 9: Palácio do Planalto Brasília/ Brasil - Oscar Niemeyer



Fonte: <http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/cultura-e-lazer/segundo-caderno/noticia/2012/12/confira-as-principais-obras-de-oscar-niemeyer-3973732.html>

Foto 10: Cais das Artes _ Vitória ES/ Brasil – Paulo Mendes da Rocha



Fonte: http://www.archdaily.com/194422/cais-das-artes-paulo-mendes-da-rocha-metro/cais_cam5_final/

Foto 11: 30 St Mary Axe _ Londres/ Inglaterra - Norman Foster



Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Norman_Foster

3. CONCEITOS BÁSICOS

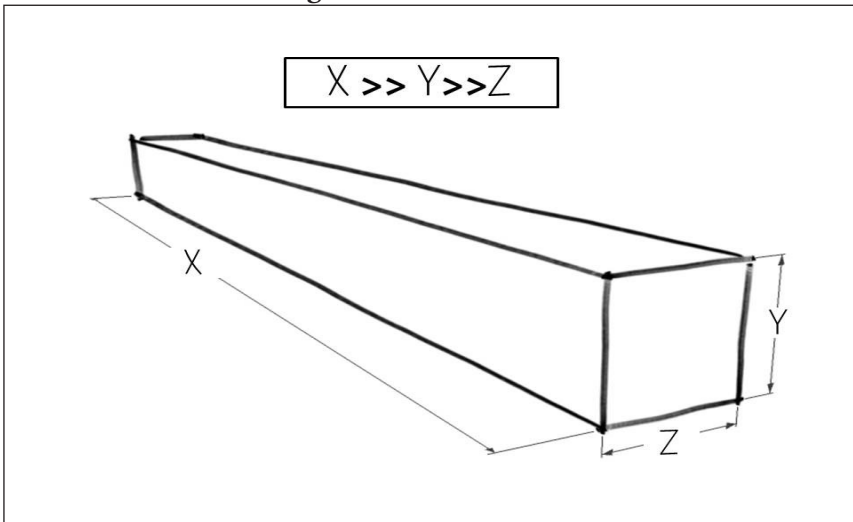
3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Para que se possam iniciar os estudos sobre os elementos estruturais das edificações é importante que se conheça os elementos estruturais que compõem e formam os espaços arquitetônicos.

Esses elementos podem ser classificados de acordo com um critério geométrico, em função das três dimensões do elemento – comprimento (x), altura (y) e espessura (z). Eles podem ser divididos nas seguintes categorias.

- Elementos Lineares: quando possuem uma dimensão (comprimento – x) bem maior que as outras duas (altura e espessura – y, z). Exemplos: vigas, pilares, arcos, cabos, etc.

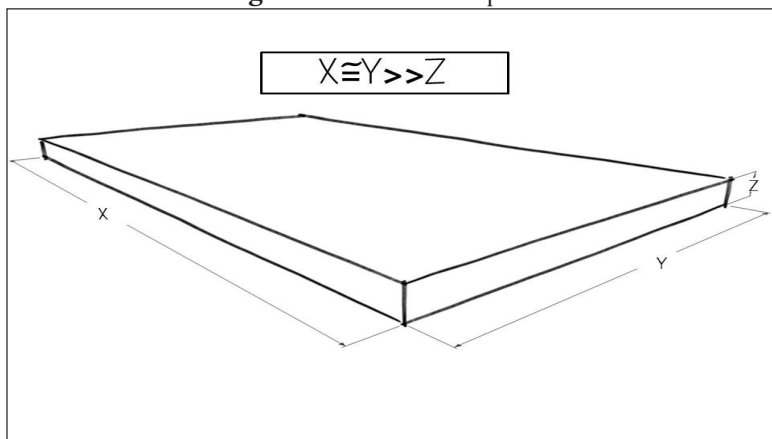
Imagem 1: Elementos lineares



Fonte: autor

- Elementos de superfície: quando possuem duas dimensões (comprimento e altura – x, y) proporcionais e bem maiores que a terceira dimensão. Exemplos: lajes, cascas, placas, chapas, lâminas paredes, etc.

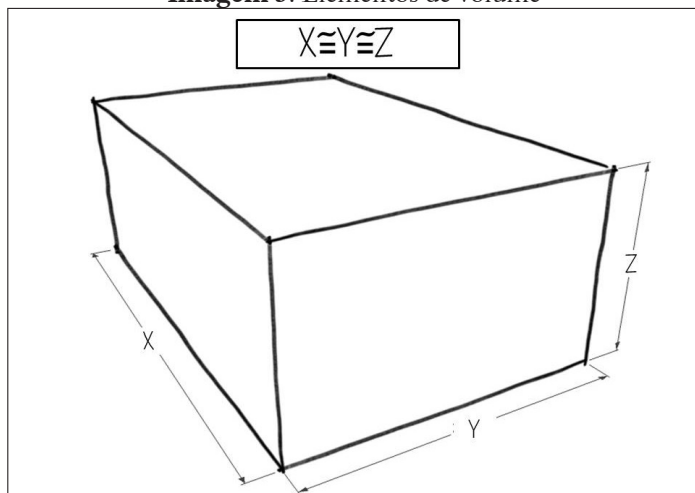
Imagem 2: Elementos Superficiais



Fonte: autor

- Elementos de Volume: quando possuem três dimensões proporcionais, sem a predominância de uma dimensão sobre as outras. Exemplos: blocos de fundação, blocos de ancoragem, sapatas, etc.

Imagem 3: Elementos de volume



Fonte: autor

Esta classificação apresenta os elementos estruturais de acordo com as suas dimensões. Esses elementos podem ser facilmente comparados com os elementos primários do projeto arquitetônico – o ponto, a reta, o plano e o volume – apresentados por Francis D. K. Ching em seu livro “Arquitetura: Forma, Espaço e Ordem”. Tais elementos, quando devidamente articulados, são capazes de criar as mais diversas formas arquitetônicas, que irão abrigar atividades humanas, provocar sensações, apresentar usos e funções, marcar momentos históricos, caracterizar civilizações, entre outros.

A correta articulação desses elementos pelo arquiteto no momento da elaboração dos seus projetos irá garantir o sucesso projetual da sua edificação, levando em consideração os usos, espaços e sensações que serão produzidos a partir da disposição dos mesmos no projeto.

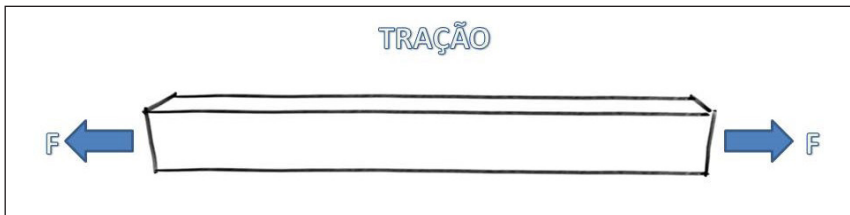
3.2 ESFORÇOS SOLICITANTES

Esforços são os momentos, forças e tensões a que uma estrutura é submetida. Uma estrutura é considerada em equilíbrio quando ela é capaz receber e transmitir os esforços a que é submetida e manter-se no mesmo estado planejado.

BOTELHO (2006) classifica os principais tipos de esforços abaixo, e defende que o conhecimento dos mesmos é essencial para a “arte de construir”, de forma que auxiliam no dimensionamento e escolha das estruturas.

- a) Tração: acontece quando há a ação de duas forças em uma mesma direção puxando em sentidos opostos, de maneira que ocorre uma tendência de afastamento entre suas partes.

Imagem 4: Esforço de Tração



Fonte: autor

- b) Compressão: acontece quando há a ação de duas forças em uma mesma direção empurrando em sentidos opostos, de maneira que ocorre uma tendência de encurtamento entre suas partes.

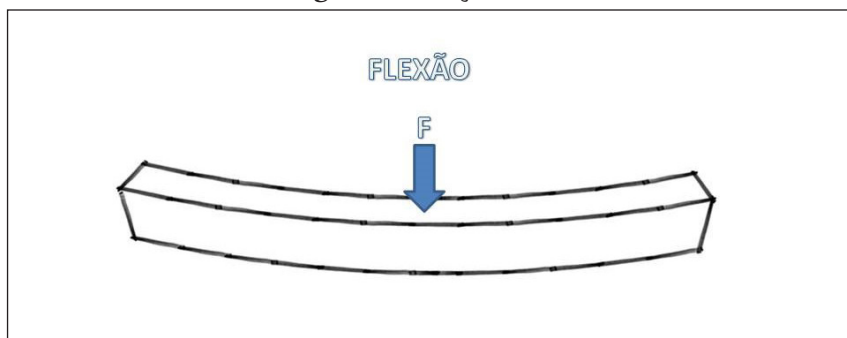
Imagem 5: Esforço de Compressão



Fonte: autor

- c) Flexão: acontece quando há carregamentos transversais entre os apoios ao longo da estrutura de maneira que ocorre a tendência de dobramento da mesma.

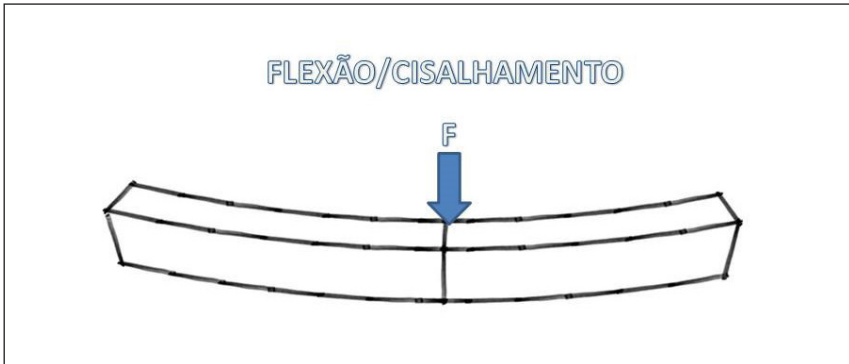
Imagem 6: Esforço de Flexão



Fonte: autor

- d) Cisalhamento: acontece quando existe uma tendência de cortar uma estrutura, através da ação de uma ou mais forças ao longo de sua estrutura, gerando o efeito de “cisalhamento na flexão”.

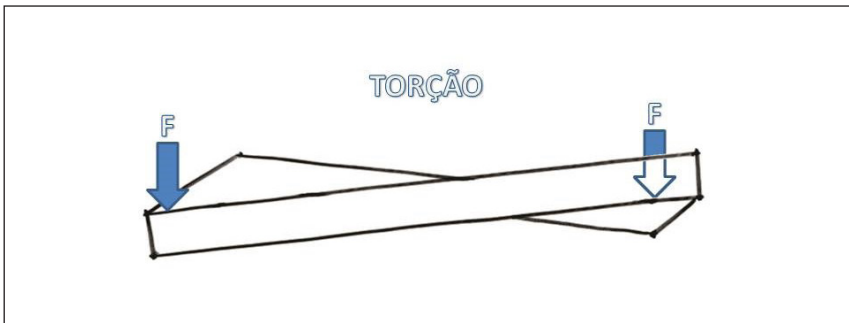
Imagem 7: Esforço de Cisalhamento



Fonte: autor

- e) Torção: acontece quando agem forças ao longo da estrutura de maneira que ocorre a tendência de girar a mesma em torno do seu eixo central.

Imagem 8: Esforço de Torção



Fonte: autor

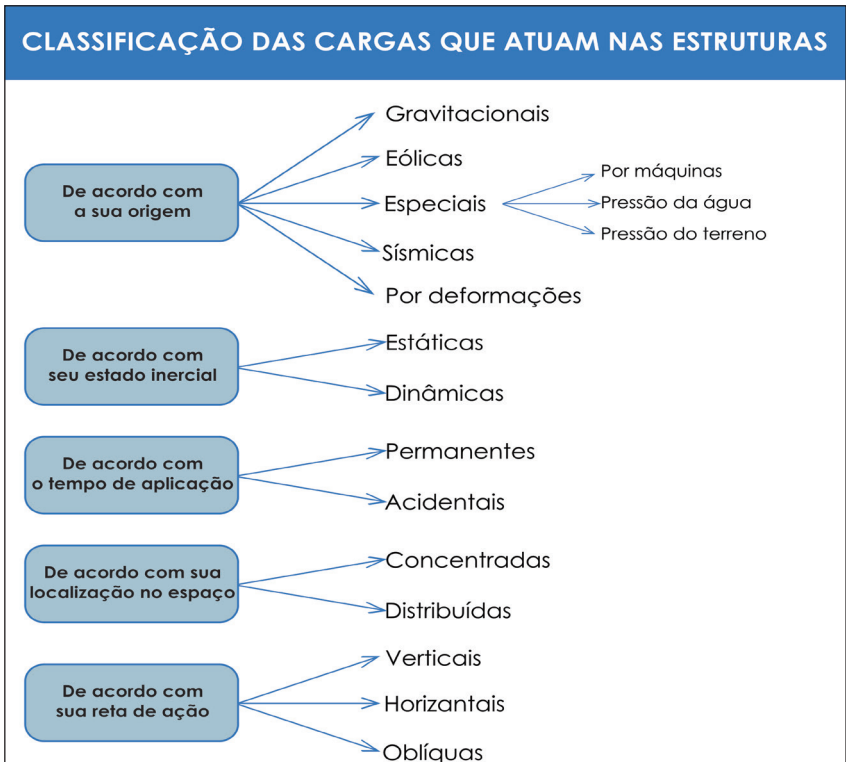
3.3 CARGAS NAS ESTRUTURAS

As forças que atuam sobre as edificações, provocando esforços são denominadas de cargas estruturais.

3.3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS CARGAS ESTRUTURAIS

Estas cargas podem ser classificadas, segundo DIEZ (2012), a partir de diversos critérios, conforme mostra-se abaixo.

Imagem 9: Classificação das cargas nas estruturas



Fonte: autor

3.3.2 PREVISÃO DOS CARREGAMENTOS DE UMA EDIFICAÇÃO

Para a elaboração de um projeto estrutural é importante que se prevejam as cargas que irão atuar sobre a edificação, de acordo com o tipo de uso da edificação (residencial, comercial, teatro, cinema, etc.). A ABNT (NBR 6120) classifica as cargas como cargas permanentes e cargas acidentais.

a) Cargas permanentes – peso próprio das estruturas:

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

É um carregamento permanente que é composto pelo peso de todos os elementos que compõem a edificação, ou seja, o peso das lajes, pilares, vigas, revestimentos, contrapisos, alvenarias, escadas, instalações, etc. Também é denominado como “carga morta” da edificação, que apesar do nome, é um item extremamente importante para o pré-dimensionamento estrutural, principalmente para estruturas de concreto armado. Estas cargas são originadas exclusivamente pela ação das forças gravitacionais.

Para calcular uma estimativa do peso próprio de uma edificação, basta apenas conhecer as áreas e volumes dos elementos que a compõem e o peso específico desses materiais.

b) Cargas acidentais e cargas eventuais:

São aquelas cargas que atuam externamente sobre a estrutura após a sua construção, são também chamadas de cargas úteis ou sobrecargas. Como exemplo de cargas acidentais, podem-se citar o peso das pessoas, o peso dos móveis, o peso dos carros, dos ventos, e condições peculiares de cada edificação, como bibliotecas, cinemas, boliches, arquibancadas, etc.

Estas cargas são mais difíceis de serem determinadas, pois variam para cada tipo de edificação e localização das mesmas. Os valores para determinação destas cargas encontram-se determinados na NBR 6120.

c) Determinação geral de carregamento:

Como o principal objetivo deste manual é apresentar métodos

para o pré-dimensionamento de pilares, para facilitar o processo de calculo de carregamento das edificações, AGUIAR (2010) define uma constante de peso específico das edificações em função de seu tipo de uso.

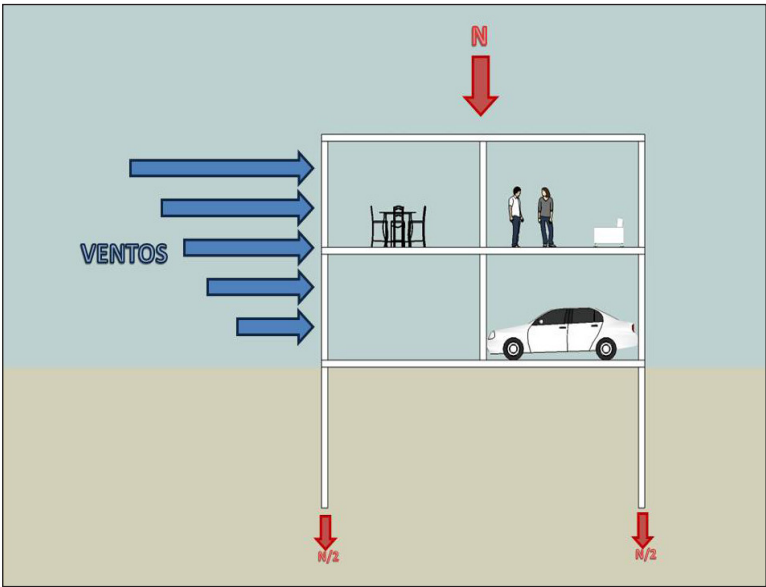
Tabela 1: Peso da estrutura + Carga de ocupação

PESO DA ESTRUTURA + CARGA DE OCUPAÇÃO	
Edifícios Residenciais	1000 kgf/m²
Edifícios Comerciais	1300 kgf/m²

Fonte: AGUIAR (2010)

Abaixo, segue um desenho esquemático (Imagem 10) representando as cargas que atuam sobre a estrutura das edificações: cargas permanentes (representadas pela letra N – força normal – peso próprio da edificação) e as cargas acidentais (representadas pelas pessoas, carros, móveis e ventos apresentados no desenho).

Imagem 10: Esquema de cargas nas estruturas

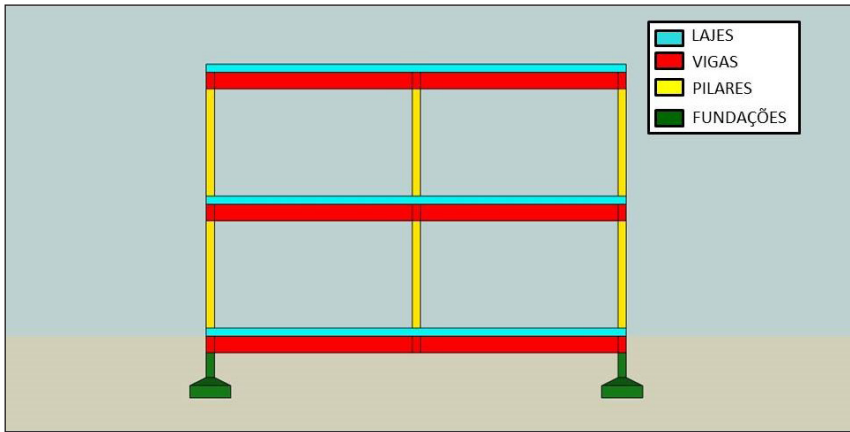


Fonte: autor

3.4 ELEMENTOS ESTRUTURAIS BÁSICOS

Para melhor compreender o comportamento estrutural das edificações, é importante que se conheça os elementos estruturais básicos que se associam para composição estrutural da edificação – fundações, pilares, vigas, lajes. A imagem 11 abaixo apresenta cada um destes elementos.

Imagem 11: Elementos estruturais básicos

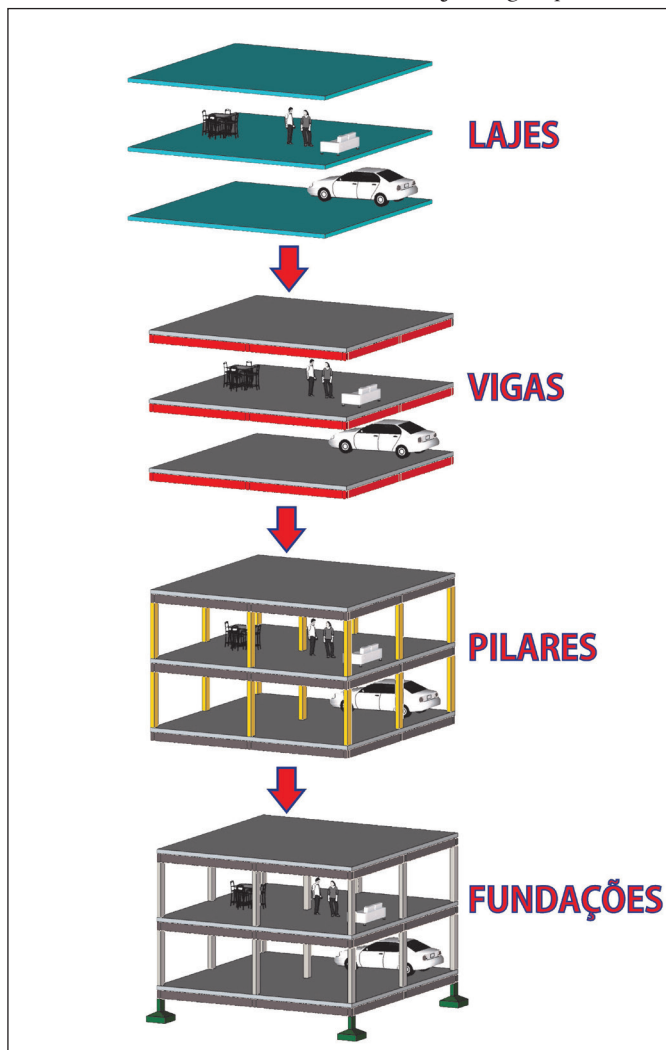


Fonte: autor

- **Lajes:** são elementos estruturais de superfície que recebem diretamente a ação das cargas que atuam sobre a edificação (pessoas, móveis, carros, etc.). Sobre elas se desenvolve a distribuição dos espaços arquitetônicos e dos elementos que a compõem (cargas permanentes e acidentais). Geralmente as lajes se apoiam diretamente sobre as vigas. Vide Imagem 12.
- **Vigas:** são elementos estruturais lineares que possuem a responsabilidade de suportar os carregamentos das lajes e de outras vigas e transmiti-los para o elemento estrutural seguinte, os pilares. Vide Imagem 12.
- **Pilares:** são elementos estruturais lineares que possuem a responsabilidade de suportar os carregamentos das lajes e vigas e transmiti-los para o elemento estrutural final, as fundações. Vide Imagem 12.

- **Fundações:** são elementos estruturais de volume que possuem a responsabilidade de suportar os carregamentos das lajes, vigas e pilares para transmiti-los ao seu destino final, o solo. Vide Imagem 12.

Imagem 12: Elementos estruturais básicos – lajes/ vigas/ pilares/ fundações



Fonte: autor

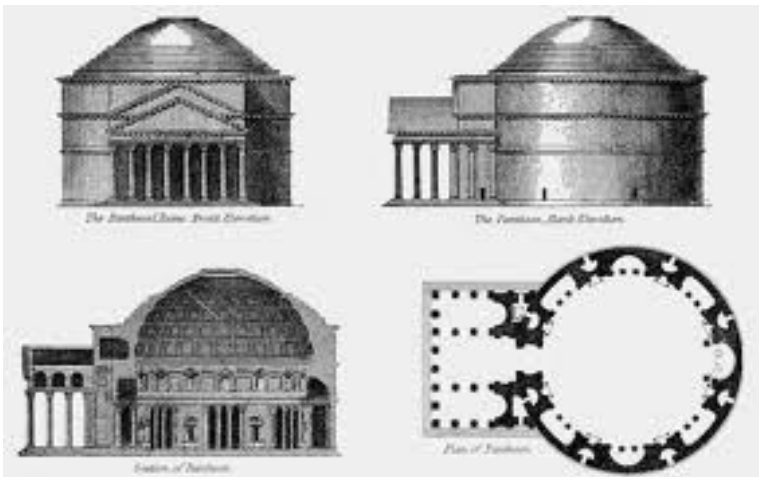
4. ESTUDO DOS PILARES DE CONCRETO ARMADO

4.1 CONCRETO ARMADO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil dos dias atuais, difundido por todo o mundo. Ele é resultado de uma mistura composta de cimento, areia, pedra e água, além de outros materiais eventuais, os aditivos. Este material possui a característica de ser muito resistente à compressão, porém, a sua resistência à tração é pequena. Do ponto de vista estrutural, a resistência à compressão é a característica mais importante do concreto.

A primeira civilização a utilizar este material para as suas construções foi a civilização romana. A utilização deste material pelos romanos lhes garantiu a possibilidade de produzir obras magníficas como o Panteão e o Coliseu, vide fotos 12 e 13.

Foto 12: Panteão - Roma



Fonte: anaborralho.com

Foto 13: Coliseu - Roma



Fonte: construfacilrj.com

A utilização do aço complementando esta mistura acontece no século XVIII. Surge, assim, o concreto armado, que é o resultado da associação de materiais com comportamentos diferentes, que se completam, proporcionando um material capaz de aliar a durabilidade, a resistência à compressão e a plasticidade do concreto com a alta resistência à tração do aço. Esta associação foi capaz de proporcionar o surgimento de um material capaz de vencer grandes vãos nas estruturas das edificações.

Segundo BASTOS (2006), o “cimento armado” (o concreto armado até cerca de 1920 era chamado de “cimento armado”) surgiu na França, no ano de 1849. O pioneiro na utilização desta tecnologia, o francês Lambot, construiu um barco com telas de finos fios de ferro preenchidos com argamassa, no entanto, o mesmo não alcançou grande sucesso comercial. Em 1861, outro francês, Mounier, passou a utilizar esta tecnologia para fabricar vasos de flores, reservatórios de água, e posteriormente uma ponte com vão de 16,5 metros. Depois disso, diversos estudos passaram a ser desenvolvidos sobre este material, pós revolução industrial.

A facilidade de encontrar a matéria-prima desta solução estrutural (cimento, areia, pedra, água e aço) em diversas regiões do planeta, somada à grande versatilidade do material e à facilidade de execução do mesmo, foram fatores determinantes para a sua rápida disseminação nos mais diversos países e seu grande desenvolvimento tecnológico até os dias atuais.

4.2 PILARES DE CONCRETO ARMADO

Os pilares são elementos estruturais muito importantes para a construção civil, utilizados desde as civilizações mais antigas, como gregos, romanos e egípcios. Inicialmente, os mesmos eram construídos com a utilização de materiais “in natura”, como pedras e madeiras.

Foto 14: Pilares na arquitetura clássica



Fonte: arquiteturaclassica.blogspot.com

Foto 15: Pilares na arquitetura clássica



Fonte: clirc.blogspot.com

A partir do desenvolvimento das tecnologias da construção civil, essas estruturas passaram a ser produzidas com a utilização de materiais mais modernos, como concreto e aço, de maneira que permitiram a produção de estruturas com seções cada vez mais esbeltas e com vãos cada vez maiores. Vide fotos 16, 17 e 18.

Foto 16: MUBE - Museu Brasileiro da Escultura - Paulo Mendes da Rocha



Fonte: arqdream.blogspot.com(MUBE)

Foto 17: Palácio Tiradentes - Oscar Niemeyer



Fonte: www.revistatechne.com.br

Foto 18: Torre de Khalifa – Adrian Smith



Fonte: www.glasssteelandstone.com

Os pilares são elementos estruturais lineares de eixo reto que possuem a função de suportar os carregamentos das lajes e vigas (cargas permanentes e acidentais) e transmiti-los para o elemento estrutural final, as fundações, ou para outros pilares da estrutura. São elementos estruturais verticais que trabalham os esforços da compressão e flexão.

Estes elementos impactam diretamente na composição estética e funcional do espaço arquitetônico. Por este motivo, serão apresentados abaixo os seus comportamentos e esforços solicitantes, que permitirão o seu pré-dimensionamento e lançamento por parte dos arquitetos responsáveis pela elaboração dos projetos.

4.3 ESFORÇOS ATUANTES E SEU COMPORTAMENTO

De acordo com os tipos de ações externas que venham a atuar sobre a edificação, os pilares podem sofrer a ação dos esforços apresentados abaixo:

- **Compressão:** quando submetidos exclusivamente à ação de esforços verticais, observa-se apenas a ação do esforço de compressão sobre a peça estrutural, apresentando a tendência de encurtamento de sua maior dimensão e o aumento de sua seção transversal.
- **Flexão:** em situações especiais em que os pilares estejam sendo sujeitos também à ação de cargas horizontais provenientes da ação dos ventos ou da frenagem de veículos, o pilar passa a sofrer também a ação do esforço da flexão; ou ainda em casos em que a partir da ação de um esforço de compressão sobre uma estrutura esbelta a mesma tem a tendência de sofrer o fenômeno da flambagem – flexão lateral da peça.

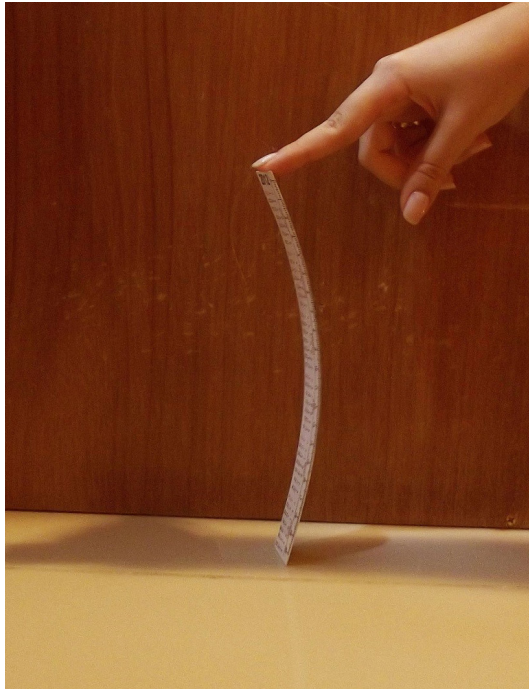
Dessa forma, os pilares deverão ser dimensionados para resistir aos esforços de compressão e flexão a que serão submetidos em cada situação particular de projeto. Dentre estes esforços que atuam sobre os pilares, o mais frequente e preocupante é o esforço da flambagem.

4.4 FLAMBAGEM

Segundo DIEZ (2012), a flambagem é um fenômeno de flexão lateral que está diretamente ligado à esbeltez da peça. Ela ocorre nas estruturas que apresentam seções transversais pequenas em relação ao seu comprimento. Este fenômeno ocorre sempre na direção da menor dimensão da peça (menor rigidez da estrutura), por conta do momento de inércia de sua seção transversal. Este fenômeno produz um momento de segunda ordem na estrutura (tendência de girar).

Como exemplo, podemos comparar ao comportamento de uma régua que quando é aplicada uma força vertical no sentido de cima para baixo sobre a peça, a tendência é que a mesma sofra flexão no sentido da sua menor dimensão, vide foto 19. No outro sentido da régua, o fenômeno não ocorre por conta de possuir uma maior dimensão e consequentemente um momento de inércia maior.

Foto 19: Flexão da régua

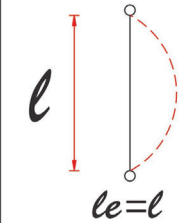
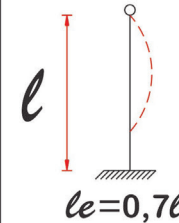
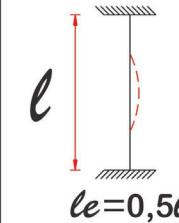
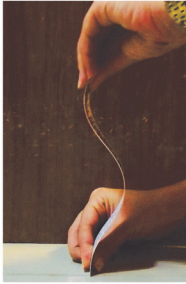
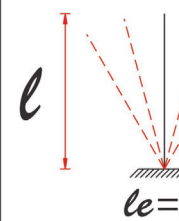


Fonte: autor

4.4.1 COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM

O comprimento de flambagem é o comprimento da deformação do pilar na posição de equilíbrio limite antes da ruptura. De forma que, segundo DIEZ (2012), de acordo com as condições de apoio do pilar, quanto maior o comprimento de flambagem, maior a capacidade de deformar-se, conforme apresentado na tabela abaixo (Tabela2), em que “ l ” representa o comprimento do pilar e “ le ” representa o comprimento de flambagem, comparativamente apresenta-se também o comportamento de régua sofrendo flexões com diferentes tipos de apoios, assemelhando-se com o comportamento dos pilares sob efeito do fenômeno da flambagem.

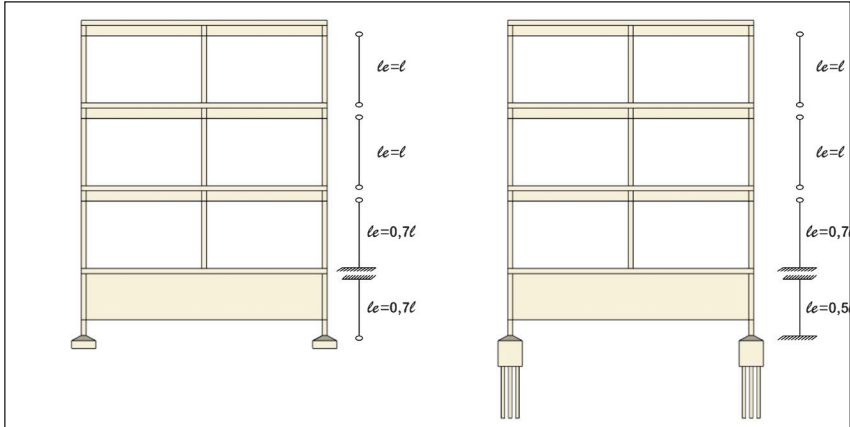
Tabela 2: Comprimento de flambagem

TIPOS DE APOIOS DOS PILARES	Peças Bi-articuladas	 $le=l$	
	Peças Articuladas e Engastadas	 $le=0,7l$	
	Peças Bi-engastadas	 $le=0,5l$	
	Peças Engastadas e Livres	 $le=2l$	

Fonte: autor

Na imagem 13, abaixo, observam-se exemplos de tipos de apoio dos pilares e seus respectivos comprimentos de flambagem.

Imagem 13: Tipos de apoio dos pilares e comprimento de flambagem.



Fonte: autor

4.4.2 ÍNDICE DE ESBELTEZ

Segundo DIEZ (2012), o índice de esbeltez é a relação existente entre o comprimento longitudinal do pilar e a menor dimensão de sua seção. Essa característica geométrica expressa a tendência do pilar em sofrer o fenômeno da flambagem. Assim, quanto maior o índice de esbeltez, maior a tendência do pilar flambar.

Conforme se apresenta abaixo, o índice de esbeltez é representado pela letra grega “ λ ” (lambda) e é resultado da razão existente entre o comprimento de flambagem e o raio de giração da seção transversal do pilar.

MANUAL DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO PARA ARQUITETOS

$$\lambda = \frac{le}{i} \rightarrow \begin{array}{l} \text{comprimento de flambagem} \\ \text{raio de giração da seção transversal do pilar} \end{array}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \begin{array}{l} \text{momento de inércia da seção} \\ \text{área da seção transversal} \end{array}$$

$$A = b \times h \rightarrow \begin{array}{l} \text{altura} \\ \text{base} \end{array}$$

∴

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \rightarrow I_x = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{\frac{b \times h^3}{12}}{\frac{b \times h}{1}}} \Rightarrow \lambda_x = \sqrt{\frac{b \times h^2}{12} \times \frac{1}{b \times h}} \Rightarrow \lambda_x = \sqrt{\frac{h^2}{12}}$$

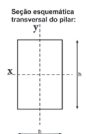
$$\Rightarrow \lambda_x = \frac{h}{\sqrt{12}} \Rightarrow \lambda_x = \frac{h \times \sqrt{12}}{\sqrt{12} \times \sqrt{12}} \Rightarrow \lambda_x = \frac{h \times \sqrt{12}}{12}$$

$$\Rightarrow \lambda_x = \frac{h \times \sqrt{12}}{12} \Rightarrow \lambda_x = \frac{h}{3,46}$$

$$\lambda_x = \frac{le}{\lambda_x} \rightarrow \lambda_x = \frac{h}{3,46}$$

$$\lambda_x = \frac{le}{\frac{h}{3,46}} \Rightarrow \lambda_x = 3,46 \times \frac{le}{h}$$

Seção esquemática transversal do pilar:



$$\lambda_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \rightarrow I_y = \frac{b^3 \times h}{12}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{\frac{b^3 \times h}{12}}{\frac{b \times h}{1}}} \Rightarrow \lambda_y = \sqrt{\frac{b^2 \times h}{12} \times \frac{1}{b \times h}} \Rightarrow \lambda_y = \sqrt{\frac{b^2}{12}}$$

$$\Rightarrow \lambda_y = \frac{b}{\sqrt{12}} \Rightarrow \lambda_y = \frac{b \times \sqrt{12}}{\sqrt{12} \times \sqrt{12}} \Rightarrow \lambda_y = \frac{b \times \sqrt{12}}{12}$$

$$\Rightarrow \lambda_y = \frac{b \times \sqrt{12}}{12} \Rightarrow \lambda_y = \frac{b}{3,46}$$

$$\lambda_y = \frac{le}{\lambda_y} \rightarrow \lambda_y = \frac{b}{3,46}$$

$$\lambda_y = \frac{le}{\frac{b}{3,46}} \Rightarrow \lambda_y = 3,46 \times \frac{le}{b}$$

Dessa forma, de acordo com o índice de esbeltez do pilar (λ – lambda), ele poderá ser classificado da seguinte maneira:

- a) Pilares curtos ($\lambda \leq 40$) – não é preciso considerar os efeitos de segunda ordem, ou seja, não possuem a tendência de apresentar o fenômeno da flambagem. Vide exemplo na foto 20, abaixo.

Foto 20: Prédio da escola de engenharia de São Carlos



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/>

- b) Pilares medianamente esbeltos ($40 < \lambda \leq 90$) – é preciso considerar os efeitos de segunda ordem de maneira simplificada. Vide exemplo na foto 21, abaixo.

Foto 21: Universidade Técnica de Zurique



Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/>

- c) Pilares esbeltos ($90 < \lambda \leq 140$) – é preciso considerar os efeitos de segunda ordem de maneira exata. Vide exemplo na foto 22, abaixo.

Foto 22: Sede do Banco do Brasil de Porto Alegre



Fonte: <http://www.arcoweb.com.br/>

- d) Pilares muito esbeltos ($\lambda > 140$) – é preciso considerar os efeitos de segunda ordem de maneira exata, os pilares que apresentarem um índice de esbeltez superior a 140 não poderão ser feitos de concreto armado, eles deverão ser produzidos por materiais mais resistentes à flexão, como o aço. Vide exemplo na foto 23, abaixo.

Foto 23: La fieri di Milano



Fonte: <http://www.grandihotel.it/>

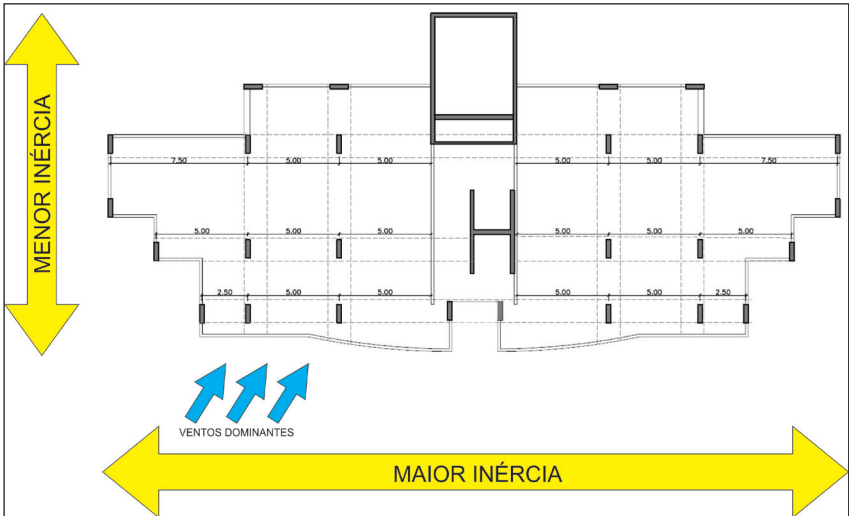
OBS: De maneira geral, considera-se como média do índice de esbeltez dos pilares usuais $\lambda = 70$.

4.5 LOCAÇÃO DOS PILARES DE CONCRETO ARMADO

Para que seja feita da melhor maneira a distribuição dos pilares de concreto armado em um projeto, é importante que se tenha a preocupação com alguns fatores para o lançamento dos mesmos, de forma que seja feita uma distribuição com baixo custo, de fácil execução e que ao mesmo tempo não prejudique a conformação original dos espaços arquitetônicos. Dentre essas preocupações:

- Deve-se evitar uma grande variedade nas dimensões dos elementos estruturais, visando uma maior facilidade na execução dos serviços e para o reaproveitamento das fôrmas de concretagem. Sugerem-se no máximo três dimensões diferentes;
- Deve-se dar preferência por dispor os pilares retangulares de maneira que os mesmos sejam locados no sentido da menor inércia da edificação e dos ventos dominantes (vide imagem 14, abaixo);
- Os pilares devem ser lançados de forma perpendicular em relação à maior dimensão da edificação, com o objetivo de favorecer o contraventamento (vide imagem 14, abaixo);
- Sempre que possível, deve-se optar pela concretagem das caixas de escada e elevadores, com o objetivo de auxiliar no contraventamento da edificação (vide imagem 14, abaixo);
- Deve-se sempre tentar manter o alinhamento dos pilares (mesmos eixos), de forma a facilitar a execução da sua locação em obra e também para que sejam formados pórticos que aumentem a rigidez da estrutura (vide imagem 14, abaixo);
- Os pilares devem, sempre que possível, ser locados nos encontros das vigas (vide imagem 14, abaixo);
- Os vãos entre os pilares devem, sempre que possível, ter entre 5,0m e 7,5m para não prejudicar a disposição das vagas de garagem da edificação (vide imagem 14, abaixo);

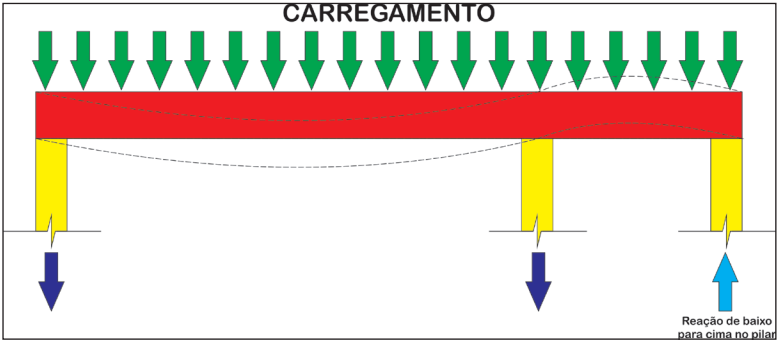
Imagem 14: Locação dos pilares



Fonte: autor

- Os pilares devem ser locados de forma que resultem em vigas com vãos semelhantes – diferenças de no máximo 20% no comprimento dos vãos. Quando os vãos produzidos por pilares próximos são muito diferentes, poderá ocorrer o que se mostra na imagem 15, abaixo. O maior vão acaba fazendo com que o menor seja submetido apenas a momentos negativos, de forma que o pilar extremo do menor vão da viga passa a comportar-se a tração.

Imagem 15: Relação de vãos entre os pilares



Fonte: autor

- Deve-se sempre dar preferência à locação dos pilares com continuidade, desde as fundações até a cobertura, com a finalidade de evitar a utilização de vigas de transição, vide imagem 16, abaixo.

Imagem 16: Continuidade dos pilares da estrutura



Fonte: autor

A escolha estrutural deve ser feita com muito cuidado durante a elaboração de um projeto. Além de levar em consideração os fatores funcionais e econômicos do projeto deve-se também se preocupar com os usuários da edificação. Deve-se considerar o efeito psicológico que a quantidade de pilares de um ambiente pode afetar o indivíduo. Da mesma forma que muitos pilares em um ambiente podem provocar um sentimento de enclausuramento, poucos pilares podem também causar uma sensação de desproteção ao usuário. Segundo REBELLO (2001), estudos mostram que em grandes espaços abertos, as pessoas tendem a se agrupar próximas aos pilares. Abaixo, apresentam-se as fotos 24 e 25, que representam os casos acima citados, respectivamente.

Foto 24: Pilotis de um edifício



Fonte: jaboataodosguararapes.olx.com.br

Foto 25: MASP – São Paulo



Fonte: www.portalsaofrancisco.com.br

4.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PILARES DE CONCRETO ARMADO

Abaixo, serão apresentados cálculos e métodos práticos para o pré-dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado, levando em consideração fatores como a quantidade de pavimentos, carga da estrutura, seção transversal do pilar, etc.

4.6.1 DIMENSÕES MÍNIMAS

Segundo a NBR 6118:2023 – Projetos de Estruturas de Concreto Armado, a dimensão mínima dos pilares de concreto armado deve ser de 20 cm ou 1/10 da sua altura, de forma que a menor dimensão de sua seção transversal (b) não seja inferior a 1/5 da maior dimensão (h). Para projetar pilares com dimensões inferiores a 20 cm, deve-se majorar o seu carregamento com os coeficientes especificados na tabela 03, abaixo, de acordo com a dimensão mínima escolhida.

Tabela 3: Coeficientes de majoração dos pilares esbeltos

Dimensão (cm)	19	18	17	16	15	14	13	12
Coeficiente de majoração	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

Fonte: NBR 6118:2023

A utilização de pilares com dimensões inferiores a 20 cm acabam resultando em estruturas menos econômicas, tendo em vista o fato de possuir a necessidade de majorar o carregamento do pilar para compensar a esbeltez do mesmo, aumentando desta forma a outra dimensão.

Sendo assim, para determinar as dimensões mínimas minimizando os efeitos da flambagem, deve-se levar em consideração o índice de esbeltez médio dos pilares de concreto armado $\lambda = 70$, de forma que:

$\lambda = 70$

índice de esbeltez
médio dos pilares

$\lambda = 3,46 \times \frac{le}{b}$

comprimento de
flambagem

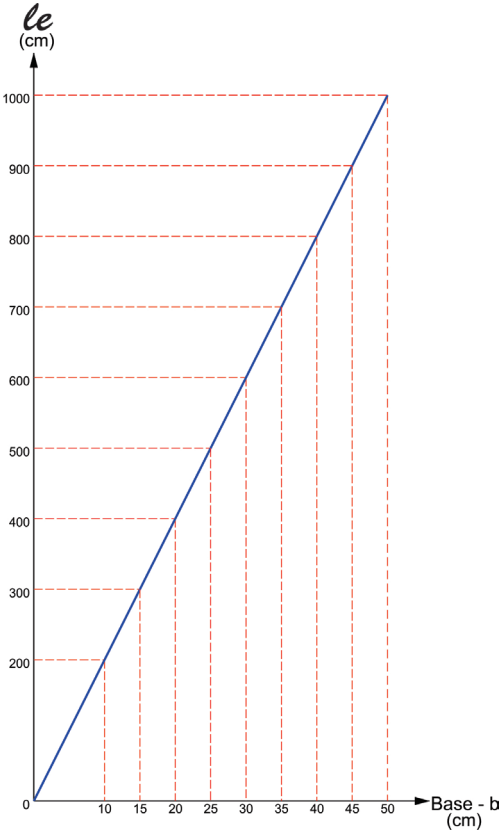
menor dimensão
do pilar

$\therefore$

$70 = 3,46 \times \frac{le}{b} \Rightarrow b = \frac{3,46 \times le}{70} \Rightarrow b \cong 0,05 \times le \Rightarrow le \cong b \times 20$

Conclui-se, então, que de acordo com o comprimento de flambagem do pilar, tem-se um dimensionamento mínimo do mesmo, com a finalidade de minimizar a flambagem da peça. Assim demonstrado no gráfico 01, abaixo:

Gráfico 1: Comprimento de flambagem X dimensão mínima do pilar



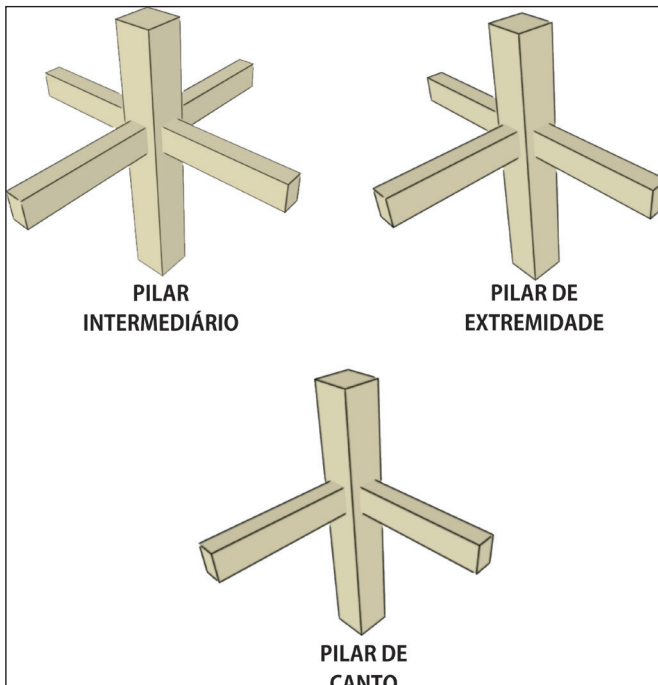
Fonte: autor

4.6.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PILARES QUANTO À SUA POSIÇÃO

Segundo SCADELAI (2004), os pilares podem ser classificados de acordo com a sua posição na estrutura da edificação. Esta classificação permite o cálculo da capacidade de carga de cada um destes elementos de acordo com os esforços solicitantes a que os mesmos estão submetidos. Esta classificação se dá da seguinte maneira:

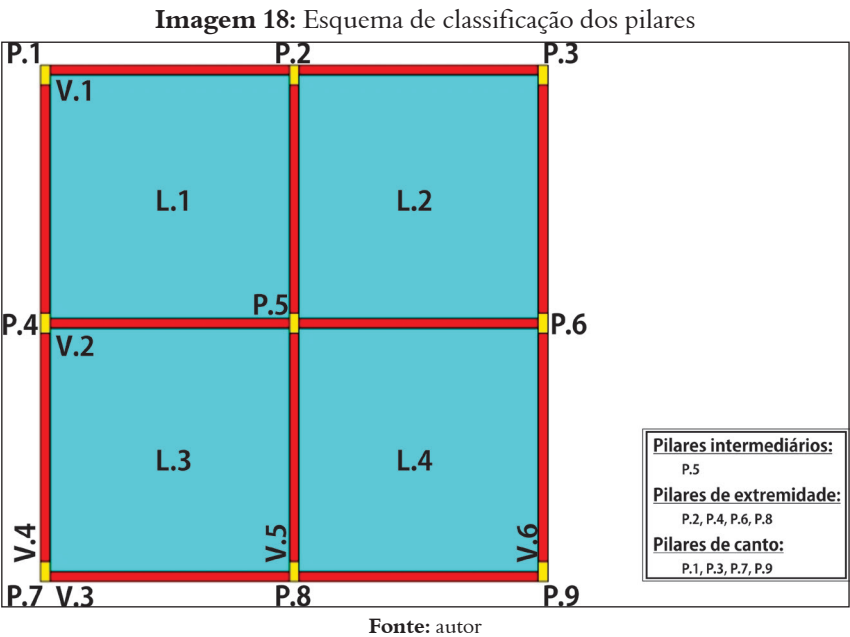
- a) Pilares intermediários: são aqueles em que as vigas continuam sobre o pilar, sem interrupções nas duas direções. Vide imagem 17.
- b) Pilares de extremidade: são aqueles em que as vigas continuam em uma direção e se interrompem em outra direção. Vide Imagem 17.
- c) Pilares de canto: são aqueles em que as vigas são interrompidas nas duas direções. Vide imagem 17.

Imagem 17: Classificação dos pilares quanto à sua posição



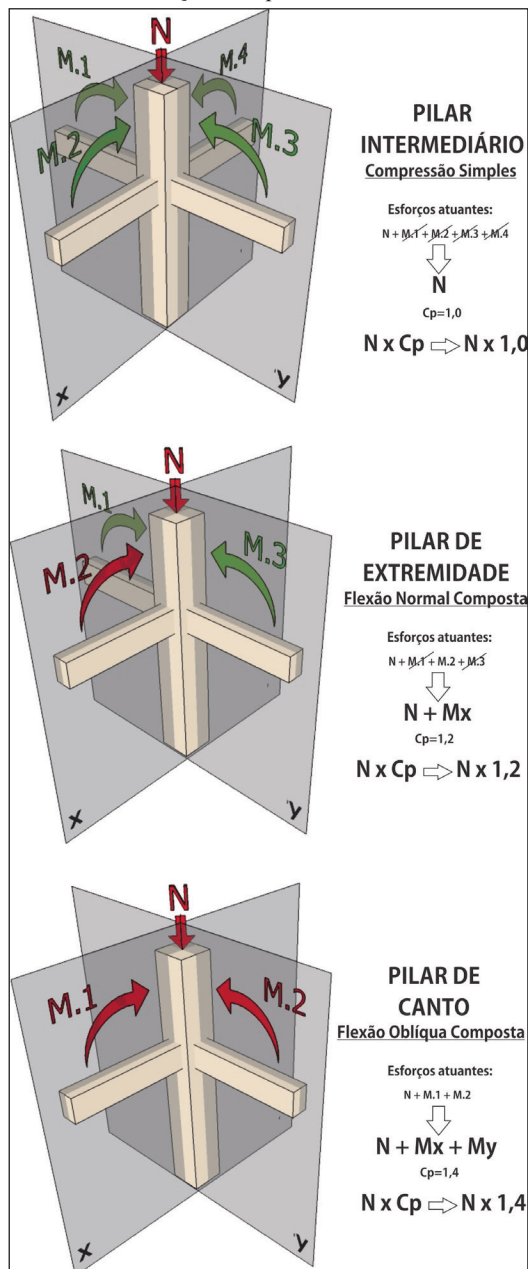
Fonte: autor

Abaixo, para facilitar a compreensão, na imagem 18, apresenta-se uma estrutura genérica em que se nomeiam todas as peças estruturais e as classificam segundo a sua posição e aos esforços solicitantes das mesmas.



De acordo com a respectiva classificação de posição do pilar, obtém-se a capacidade de carga de cada um desses elementos, de acordo com os esforços solicitantes a que os mesmos estão submetidos. Para cada uma delas, é conferido um respectivo coeficiente de posição (C_p), que representa os esforços que atuam sobre os mesmos, conforme exposto na imagem 19.

Imagem 19: Classificação dos pilares e coeficientes de posição



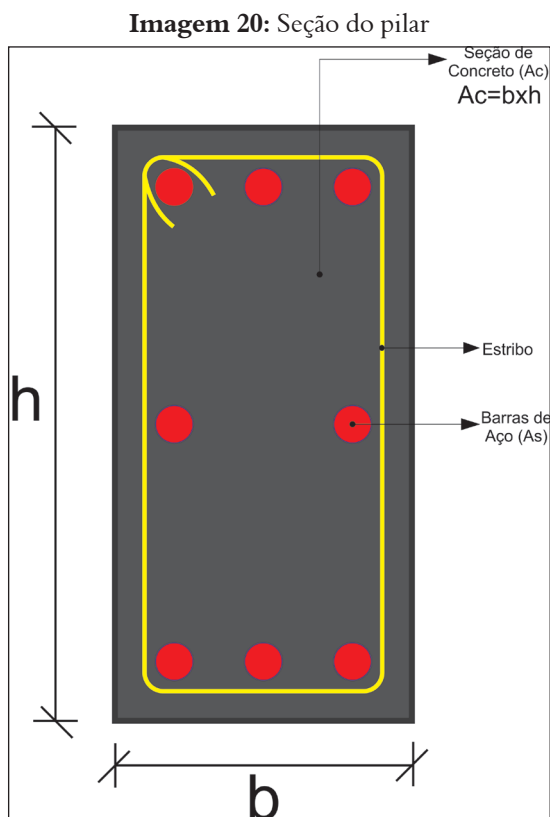
Fonte: autor

O coeficiente de posição (C_p) é utilizado para substituir a flexão por um esforço normal equivalente, válido apenas para o pré-dimensionamento de pilares. É importante registrar que a utilização do coeficiente de posição (C_p) é uma simplificação aceitável apenas para o pré-dimensionamento dos pilares.

4.6.3 CAPACIDADE DE CARGA DO PILAR

Para calcular a capacidade de carga do pilar, é importante que se conheça a contribuição do concreto e do aço na resistência, que serão devidamente apresentados abaixo.

A seção transversal de um pilar é composta pela área do concreto (A_c) e pela área do aço (A_s), conforme imagem 20, abaixo.

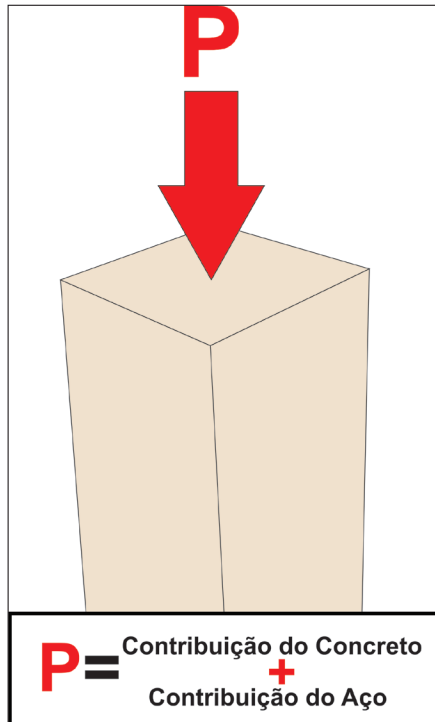


Fonte: autor

4.6.4 CONTRIBUIÇÃO DO CONCRETO

Chama-se de “P” a força resistida pelo concreto e pelo aço, conforme se representa abaixo na imagem 21. Essa força é resultado da resistência suportada pelo pilar sem sofrer rompimento, que é a soma da contribuição do concreto e do aço.

Imagem 21: Capacidade de carga do pilar



Fonte: autor

Sabe-se que a resistência é o resultado da razão existente entre a força e a área. Dessa maneira:

$$\begin{array}{c}
 \text{Força} \\
 \uparrow \\
 \text{Resistência} = \frac{F}{A} \quad \Rightarrow \quad F = \text{Resistência} \times A \quad \Rightarrow \quad F = F_{ck} \times A_c
 \end{array}$$

Resistência $\rightarrow$ $\text{Resistência do concreto à compressão}$

A resistência do concreto à compressão é a característica mais importante deste material. Ela representa a capacidade de carga (tensão) do concreto sem sofrer ruptura. A resistência está diretamente ligada à qualidade do material e ao carregamento que o mesmo irá sofrer na estrutura da edificação.

A Resistência do Concreto à Compressão (f_{ck}) é uma informação essencial para o cálculo estrutural de uma edificação. Sua unidade de medida é o Mega Pascal (MPa). Sendo que o Pascal (Pa) é a pressão exercida por uma força de 1 newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, perpendicular à direção da força. Dessa maneira, 1 Mega Pascal equivale a 1 milhão de Pascal (N/m^2), ou a ainda a aproximadamente 100.000 kgf/m^2 .

Ao solicitar um concreto para uma determinada estrutura, deve-se determinar a resistência necessária do mesmo através do projeto estrutural da edificação. Para confirmar a resistência à compressão do concreto fornecido, deve-se realizar ensaios de rompimento dos corpos-de-prova moldados no dia da concretagem (vide foto 26). De maneira geral, o concreto adquire sua resistência ótima após 28 dias de cura (foto 27). Neste dia, deve-se realizar o rompimento do corpo de prova através da utilização de uma prensa hidráulica, para verificar a sua capacidade de resistência máxima antes do rompimento da peça (vide foto 28).

Foto 26: Moldes usados para os corpos-de-prova



Fonte: autor

Foto 27: Cura submersa dos corpos-de-prova



Fonte: autor

Foto 28: Ensaio de compressão



Fonte: autor

Para fins de cálculo para determinação da parcela de contribuição do concreto, a NBR 6118, define uma margem de segurança em cima da resistência à compressão esperada pelo concreto, esse coeficiente de segurança é de 1,4, conforme se mostra abaixo. Denomina-se esta resistência com margem de segurança de F_{cd} .

$$F_{cd} = \frac{F_{ck}}{\gamma_c}$$

$\gamma_c \rightarrow 1,4$

Além disso, existem também alguns outros fatores que influenciam os resultados de resistência das peças estruturais de concreto, conforme se mostra abaixo:

- A resistência medida durante o ensaio de compressão é sempre superior à resistência da estrutura. Considera-se uma redução de 5% por conta da cura ótima proporcionada aos corpos de prova (cura úmida) e muitas vezes impossibilitada de ser realizada na estrutura das edificações (- 5% $\rightarrow$ 0,95).
- Ao longo do tempo, as peças estruturais ganham resistência de em média 20% da sua resistência aos 28 dias (+20% $\rightarrow$ 1,20).
- Quando o concreto é submetido a uma tensão constante por um longo período, ele começa a perder resistência – redução de em média 25% da sua resistência original, Efeito Rüschi. (-25% $\rightarrow$ 0,75).

Por conta dos fatores acima citados, acrescenta-se ainda mais um coeficiente de segurança sobre a contribuição do concreto e, assim, determina-se a parcela de contribuição do concreto. Conforme se mostra abaixo.

$$0,95 \times 1,20 \times 0,75 = 0,85$$


$$P = 0,85 \times \frac{F_{ck}}{1,4} \times A_c$$



$$P = 0,61 \times F_{ck} \times A_c$$

Parcela de contribuição
do concreto

BOTELHO (2006) classifica alguns tipos de concreto de acordo com a sua resistência e mostra seus principais usos, conforme se representa na tabela 04, abaixo:

Tabela 4: Classificação dos tipos de concreto

TIPO	FCK (Mpa)	FCK (kgf/cm ²)	Uso
C10	10	100	Mistura com resistência muito utilizada nas construções antigas
C20	20	200	Resistência mínima estrutural do concreto a partir da nova norma de concreto NBR 6118 de 2007
C50	50	500	Concretos especiais de alto desempenho, também chamados de CAD

Fonte: autor

4.6.5 CONTRIBUIÇÃO DO AÇO

Já se determinou a parcela de contribuição do concreto para a determinação da capacidade de carga de um pilar, falta, ainda, determinar a parcela de contribuição do aço.

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{P =} \quad \text{Contribuição} \quad \mathbf{+} \quad \text{Contribuição} \\
 \quad \text{do Concreto} \quad \quad \quad \text{do Aço} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \downarrow \\
 \mathbf{P =} \quad 0,61 \times Fck \times Ac \quad \mathbf{+} \quad 7_{\text{aço}} \times As
 \end{array}$$

 Área do aço

A NBR 6118 normatiza as devidas relações de área existentes de concreto e aço na seção transversal de um pilar, de forma que o mesmo deve obedecer a seguinte relação:

- Área do aço mínima ($A_s \text{ min.}$) = 0,4% da área do concreto (A_c)
- Área do aço máxima ($A_s \text{ máx.}$) = 8,0% da área do concreto (A_c)

É considerada como taxa econômica de armadura a relação de 1% da área do concreto. Sendo assim:

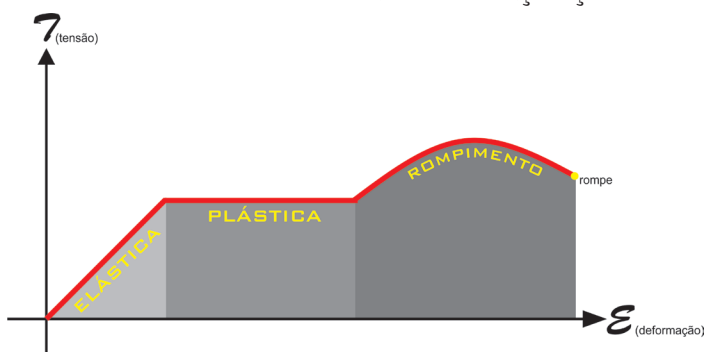
$$\begin{aligned} \text{Contribuição do Aço} &= \tau_{\text{aço}} \times A_s \\ &\downarrow \\ \text{Contribuição do Aço} &= F_{yk} \times A_s \\ &\downarrow \\ \text{Contribuição do Aço} &= F_{yk} \times \frac{A_c}{100} \end{aligned}$$

Área do aço mínima = 0,4% A_c
 Área do aço máxima = 8,0% A_c
 Área do aço ideal = 1,0% A_c + econômico + seguro

Assim como o concreto, o aço também possui uma resistência característica para cada tipo de material especificado em projeto. A sua resistência à tração é a característica mais importante deste material. Ela representa a capacidade de carga (tensão) do aço sem sofrer ruptura. A resistência está diretamente ligada à qualidade do material e ao carregamento que o mesmo irá sofrer na estrutura da edificação.

O aço possui um comportamento diferenciado em comparação com o concreto. Ao sofrer tensão, ele passa por três fases de comportamento diferenciadas: fase elástica, fase de escoamento e fase de rompimento, conforme gráfico 02, abaixo:

Gráfico 2: Gráfico tensão X deformação aço



Fonte: autor

Dessa forma, assim como o concreto, para fins de cálculo para escolher a capacidade de carga do aço para determinada estrutura, a NBR 6118, determina que deve-se acrescentar uma margem de segurança, com a finalidade de reduzir a contribuição do aço, esse coeficiente de segurança é de 1,15 conforme mostra-se abaixo. Denomina-se esta resistência média estatística de F_{yd} .

$$F_{yd} = \frac{F_{yk}}{\gamma_y}$$

$\gamma_y \rightarrow 1,15$

Sendo assim, a parcela de contribuição do aço no carregamento de um pilar pode ser determinada da seguinte maneira:

$$\text{Contribuição do Aço} = 1\% \times A_c \times \frac{F_{yk}}{1,15}$$



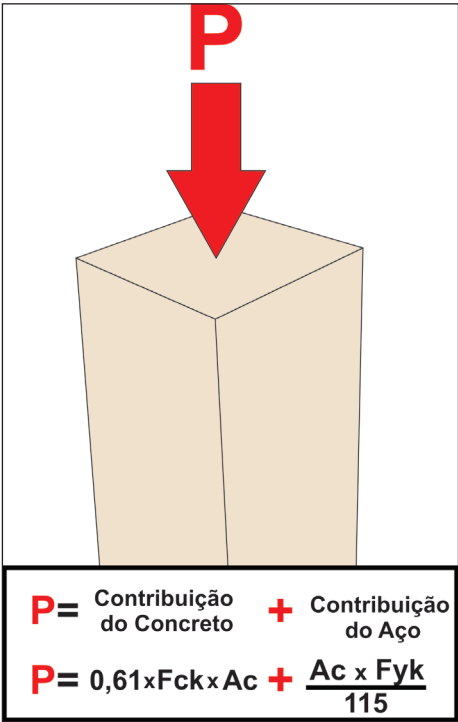
 $\rightarrow$ área de armadura do pilar

 $\rightarrow F_{yd}$

$$\text{Contribuição do Aço} = \frac{A_c \times F_{yk}}{115}$$

Dessa maneira, a resistência que um pilar é capaz de suportar sem sofrer rompimento pode ser determinada a partir da equação abaixo representada na imagem 22.

Imagem 22: Capacidade de carga do pilar



Fonte: autor

BOTELHO (2006) apresenta os aços disponíveis no mercado brasileiro e os classifica de acordo com a sua resistência média (F_{yk}) e sua resistência estatística (F_{yd}), e ainda com seus principais usos, conforme se representa na tabela 05, abaixo:

Tabela 5: Classificação dos tipos de aço

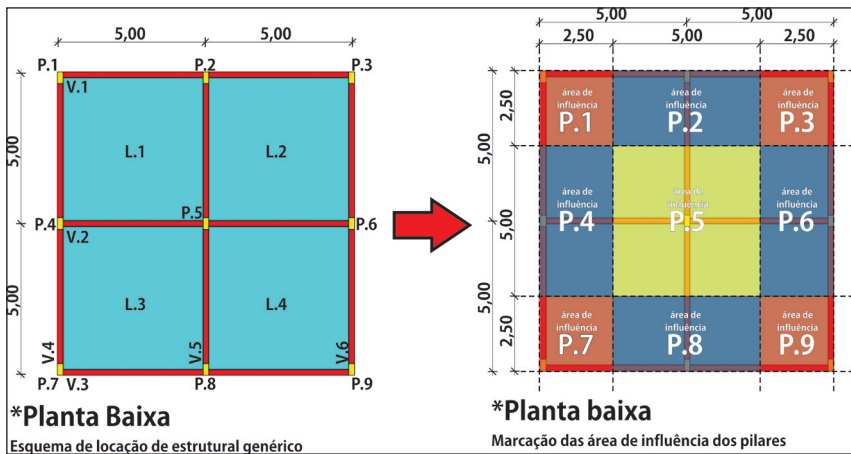
TIPO	Fyk (kgf/cm²)	Fyd (kgf/cm²)	Uso
CA 25	2500	2170	Utilizado em obras de pequeno porte.
CA 50	5000	4350	Tipo de aço mais utilizado como armadura principal em estruturas de concreto armado
CA 60	6000	5220	Tipo de aço mais utilizado como armadura principal em estruturas de concreto armado de grande porte

Fonte: autor

4.6.6 CÁLCULO DA CARGA NO PILAR

Para cálculo do pré-dimensionamento de pilares de concreto armado, deve-se admitir um carregamento proporcional entre os pavimentos e ainda um carregamento uniforme em toda a extensão da estrutura. Partindo destes pressupostos, deve-se calcular a parcela de carga proporcional da área de influência de cada pilar da estrutura, conforme se mostra na imagem 23, abaixo.

Imagem 23: Área de influência dos pilares



Fonte: autor

A marcação da área de influência de um pilar deve ser feita a partir da marcação de eixos entre os pilares da estrutura, de forma que a média da distância entre os mesmos delimitará as suas respectivas áreas de influência. A demarcação da área de influência dos pilares não precisa ser feita com grande precisão.

Deve-se eleger o pilar que possua a maior área de influência para cada tipo de posição (canto, extremidade e intermediário), e repeti-las para todos os pilares de mesmo tipo, de forma que se evite uma grande variedade nas dimensões dos pilares da estrutura.

Dessa forma, após a determinação da área de influência de cada pilar, deve-se partir para o cálculo da sua respectiva parcela de carregamento. A determinação de carregamento do pilar está diretamente ligada à área de influência do mesmo, do seu tipo de uso

(carga de ocupação), do seu coeficiente de posição e do número de pavimentos da edificação, conforme fórmula abaixo:

Carga no pilar (kgf)

$$P = A_i \times Q \times C_p \times (n + 0,7)$$

Área de Influência (m²)

Peso da estrutura + Carga da ocupação (Kg/m²)

n° pavimentos

Cobertura

Coeficiente de posição

Pilar de canto = 1,4

Pilar de extremidade = 1,2

Pilar intermediário = 1,0

Q comercial = 1.300 kgf/m²

Q residencial = 1.000 kgf/m²

4.7 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A seguir, apresentam-se alguns exemplos de aplicação dos conhecimentos acima demonstrados para o pré-dimensionamento de pilares de concreto armado.

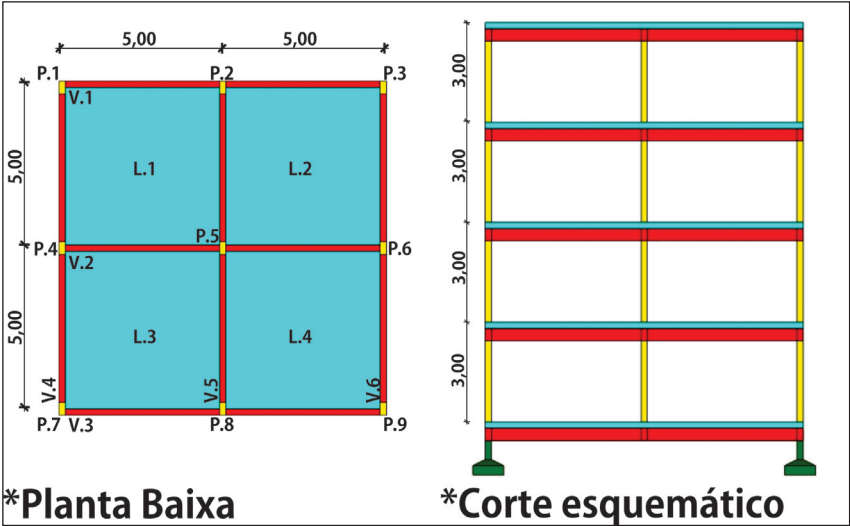
- a) Exemplo 01: pré-dimensionar as seções dos pilares de um edifício residencial de três pavimentos com planta-baixa estrutural, conforme se apresenta nas imagens abaixo:

Imagem 24: Exemplo 01 - vista

Fonte: autor

74

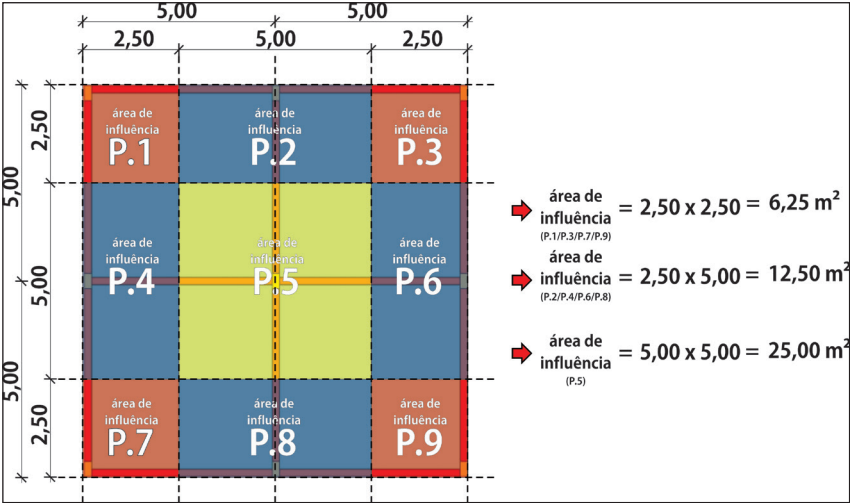
Imagem 25: Exemplo 01 – planta baixa e corte



Fonte: autor

1º Passo: Calcular a área de influência de cada pilar da edificação, conforme se representa, abaixo:

Imagem 26: Exemplo 01 – cálculo da área de influência



Fonte: autor

2º Passo: Cálculo da carga de cada pilar:

$$P = A_i \times Q \times C_p \times (n + 0,7)$$

(P.1/P.3/P.7/P.9)	(P.5)	(P.2/P.4/P.6/P.8)
$P = 6,25 \times 1000 \times 1,4 \times (3 + 0,7)$	$P = 25,0 \times 1000 \times 1,0 \times (3 + 0,7)$	$P = 12,5 \times 1000 \times 1,2 \times (3 + 0,7)$
$P = 6,25 \times 1000 \times 1,4 \times 3,7$	$P = 25,0 \times 1000 \times 1,0 \times 3,7$	$P = 12,5 \times 1000 \times 1,2 \times 3,7$
$P = 32375 \text{ kgf}$	$P = 92500 \text{ kgf}$	$P = 55500 \text{ kgf}$

3º Passo: Com os dados do carregamento dos pilares em mãos, deve-se partir para o cálculo da área de concreto do pilar. Para isso, deve-se definir a resistência do concreto e do aço a serem utilizados na estrutura, tendo como estimativa a prática atual de utilização do concreto com resistência de 25 MPA e do aço com resistência de 50kgf/mm². Dessa maneira, substituindo valores, tem-se:

$$P = 0,61 \times F_{ck} \times A_c + \frac{A_s \times F_{yk}}{115}$$

$$P = 0,61 \times 250 \times A_c + \frac{A_s \times 5000}{115}$$

$$P = 152,5 \times A_c + 43,5 \times A_s$$

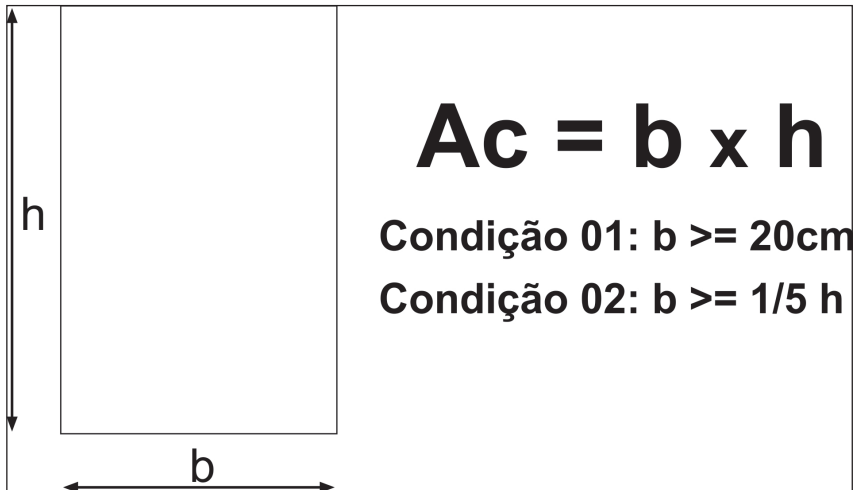
$$P = 196 \times A_c$$

$$A_c = \frac{P}{196}$$

(P.1/P.3/P.7/P.9)	(P.5)	(P.2/P.4/P.6/P.8)
$A_c = \frac{32375}{196}$	$A_c = \frac{92500}{196}$	$A_c = \frac{55500}{196}$
$A_c \cong 165,18 \text{ cm}^2$	$A_c \cong 471,94 \text{ cm}^2$	$A_c \cong 283,16 \text{ cm}^2$

4º Passo: Após a determinação das áreas das seções dos pilares de cada tipo da estrutura, deve-se, então, calcular as dimensões do pilar. Para isso, devem-se respeitar as condições expressas na NBR 6118 para o seu pré-dimensionamento mínimo, conforme se apresenta abaixo:

Imagem 27: Exemplo 01 – condições $b \times h$



Fonte: autor

$$A_c = b \times h$$

(P.1/P.3/P.7/P.9)

$$A_c = 20 \times h$$

$$214,73 = 20 \times h$$

$$h = \frac{214,73}{20}$$

$$h = 10,74 \text{ cm}$$

logo → Não pode ser inferior a 20cm

$h = 20 \text{ cm}$

Seção Pilar de Canto:
(P.1/P.3/P.7/P.9)

20 cm x 20 cm

(P.5)

$$A_c = 20 \times h$$

$$613,52 = 20 \times h$$

$$h = \frac{613,52}{20}$$

$$h = 30,68 \text{ cm}$$

logo

$h = 25,00 \text{ cm}$

Seção Pilar Intermediário:
(P.5)

20 cm x 25 cm

(P.2/P.4/P.6/P.8)

$$A_c = 20 \times h$$

$$368,11 = 20 \times h$$

$$h = \frac{368,11}{20}$$

$$h = 18,41 \text{ cm}$$

logo → Não pode ser inferior a 20cm

$h = 20 \text{ cm}$

Seção Pilar de Extremidade:
(P.2/P.4/P.6/P.8)

20 cm x 20 cm

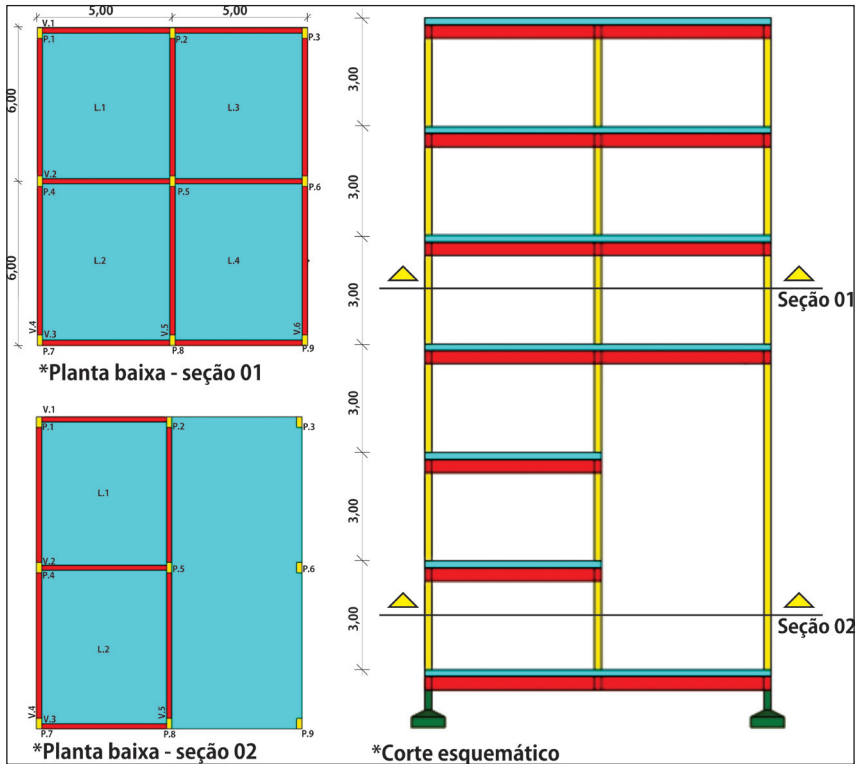
OBS/: É importante registrar que as dimensões escolhidas para a seção dos pilares devem sempre ser os múltiplos de 5 superiores mais próximos dos números encontrados através dos cálculos. Conforme demonstrado nos cálculos acima.

- a) Exemplo 02: pré-dimensionar as seções dos pilares de um edifício comercial de cinco pavimentos com planta-baixa estrutural, conforme se apresenta nas imagens abaixo:

Imagem 28: Exemplo 02 – vista



Fonte: autor

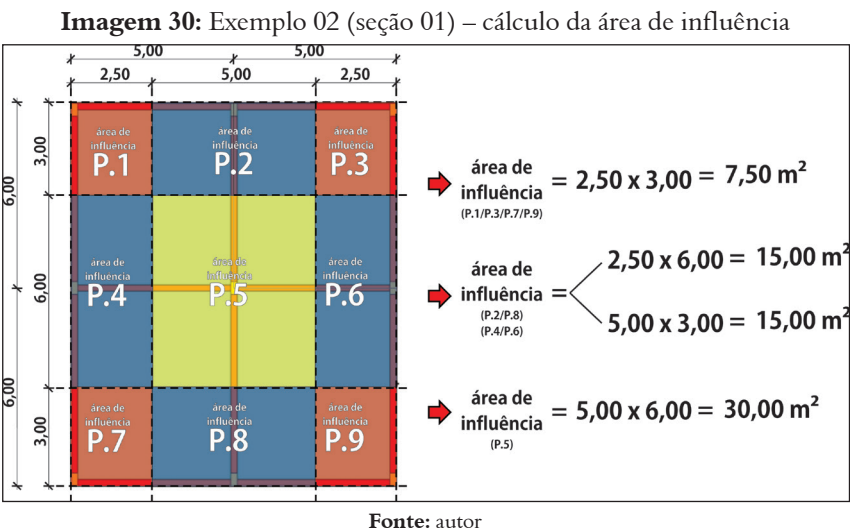
Imagem 29: Exemplo 02 – Plantas baixas e corte

Conforme apresentado acima, observa-se que a estrutura da edificação se apresenta de maneira diferenciada, se comparada com a estrutura do exemplo 01. O edifício possui uma estrutura que contempla a utilização de um pé-direito triplo, conforme se mostra nas imagens 28 e 29, acima.

Dessa maneira, para melhor estudar a estrutura da edificação, ela foi dividida em duas seções principais, de forma a permitir o seu pré-dimensionamento, de acordo com os esforços a que os pilares estarão submetidos.

Em um primeiro momento, será apresentado o pré-dimensionamento dos pilares na seção 01. No momento seguinte, será apresentado o pré-dimensionamento dos pilares da segunda seção. Seção 01:

1º Passo: Calcular a área de influência de cada pilar da edificação na seção 01, conforme se representa, abaixo:



2º Passo: Deve-se, então, partir para o cálculo da carga de cada pilar. Para isso, deve-se considerar a quantidade de pavimentos da seção 01 (03 pavimentos) mais a carga da cobertura (0,7 – carregamento proporcional da laje de cobertura da estrutura = $n + 0,7$).

$$P = A_i \times Q \times C_p \times (n + 0,7)$$

(P.1/P.3/P.7/P.9)	(P.5)	(P.2/P.4/P.6/P.8)
$P = 7,50 \times 1300 \times 1,4 \times (3 + 0,7)$	$P = 30,0 \times 1000 \times 1,0 \times (3 + 0,7)$	$P = 15,0 \times 1300 \times 1,2 \times (3 + 0,7)$
$P = 7,50 \times 1300 \times 1,4 \times 3,7$	$P = 30,0 \times 1300 \times 1,0 \times 3,7$	$P = 15,0 \times 1300 \times 1,2 \times 3,7$
P = 50505 kgf	P = 144300 kgf	P = 86580 kgf

3º Passo: Após calcular o carregamento dos pilares, deve-se partir para o cálculo da área de concreto do pilar. Para isso, define-se a resistência do concreto e do aço a serem utilizados na estrutura, tendo como estimativa a prática atual de concreto com resistência de 25 MPA e

aço com resistência de 50kgf/mm². Conforme realizado no exemplo anterior, deve-se então substituir os valores abaixo:

$$P = 0,61 \times F_{ck} \times A_c + \frac{A_c \times F_{yk}}{115}$$

$$P = 0,61 \times 250 \times A_c + \frac{A_c \times 5000}{115}$$

$$P = 152,5 \times A_c + 43,5 \times A_c$$

$$P = 196 \times A_c$$

$$A_c = \frac{P}{196}$$

(P.1/P.3/P.7/P.9)

$$A_c = \frac{50505}{196}$$

$$A_c \cong 257,68 \text{ cm}^2$$

(P.5)

$$A_c = \frac{144300}{196}$$

$$A_c \cong 736,22 \text{ cm}^2$$

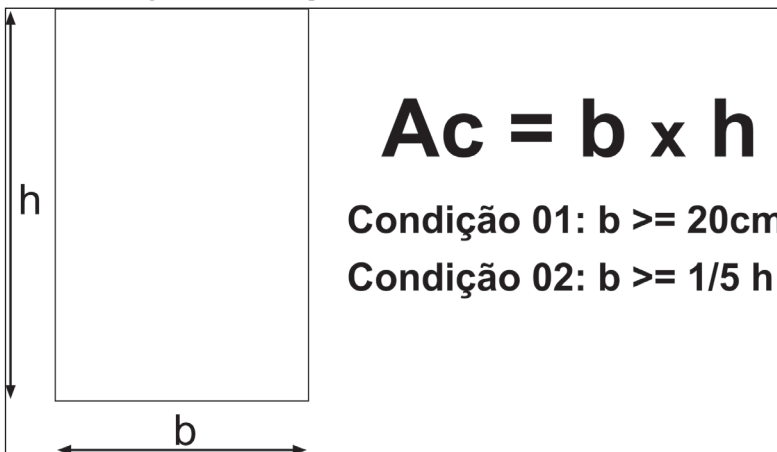
(P.2/P.4/P.6/P.8)

$$A_c = \frac{86580}{196}$$

$$A_c \cong 441,73 \text{ cm}^2$$

4º Passo: Após a determinação das áreas das seções de cada tipo de pilares da estrutura, deve-se, então, calcular as dimensões do pilar. Para isso, devem-se respeitar as condições expressas na NBR 6118 para o seu pré-dimensionamento mínimo, conforme se apresenta abaixo:

Imagem 31: Exemplo 02 – seção 01 – condições b x h



Fonte: autor

$Ac = b \times h$

(P.1/P.3/P.7/P.9)

$Ac = 20 \times h$
 $257,68 = 20 \times h$
 $h = \frac{257,68}{20}$
 $h = 12,88 \text{ cm}$
logo
Não pode ser inferior a 20cm
 $h = 20 \text{ cm}$

Seção Pilar de Canto:
(P.1/P.3/P.7/P.9)
↓
20 cm x 20 cm

(P.5)

$Ac = 20 \times h$
 $736,22 = 20 \times h$
 $h = \frac{736,22}{20}$
 $h = 36,81 \text{ cm}$
logo
 $h = 40,00 \text{ cm}$

Seção Pilar Intermediário:
(P.5)
↓
20 cm x 40 cm

(P.2/P.4/P.6/P.8)

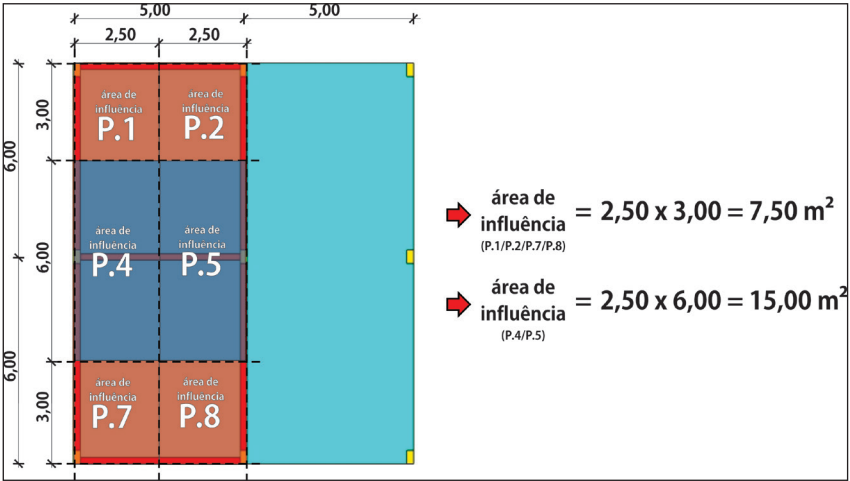
$Ac = 20 \times h$
 $441,73 = 20 \times h$
 $h = \frac{441,73}{20}$
 $h = 22,08 \text{ cm}$
logo
Não pode ser inferior a 20cm
 $h = 25 \text{ cm}$

Seção Pilar de Extremidade:
(P.2/P.4/P.6/P.8)
↓
20 cm x 25 cm

Seção 02:

1º Passo: Calcular a área de influência de cada pilar da edificação na seção 02, conforme se representa abaixo:

Imagem 32: Exemplo 02 (seção 02) – cálculo da área de influência



Fonte: autor

2º Passo: Por conta das diferenças nas áreas de influência e nos coeficientes de posição dos pilares P2/ P5 e P8, para calcular o carregamento dos mesmos deve-se considerar o carregamento do pilar nos pavimentos da seção 02 (02 pavimentos) mais o carregamento do respectivo pilar nos pavimentos da seção 01 (03 pavimentos + cobertura). Conforme cálculo abaixo.

$$P = \underbrace{A_{i_{01}} \times Q \times C_{p_{01}} \times (n_{01} + 0,7)}_{\text{Carga do pilar na seção 01}} + \underbrace{A_{i_{02}} \times Q \times C_{p_{02}} \times (n_{02})}_{\text{Carga do pilar na seção 02}}$$

(P.2/P.8) P= (15 x 1300 x 1,2 x (3 + 0,7)) + (7,5 x 1300 x 1,4 x (2)) P= (15 x 1300 x 1,2 x 3,7) + (7,5 x 1300 x 1,4 x 2) P= 86580 + 27300 P= 113880 kgf		(P.5) P= (30 x 1300 x 1 x (3 + 0,7)) + (15 x 1300 x 1,2 x (2)) P= (30 x 1300 x 1 x 3,7) + (15 x 1300 x 1,2 x 2) P= 144300 + 46800 P= 191100 kgf
--	--	---

Os pilares P1, P4 e P7 apresentam o mesmo comportamento durante toda estrutura da edificação, eles mantêm a mesma área de influência e coeficiente de posição durante as seções 01 e 02, por este motivo, o seu cálculo de carregamento deverá ser feito da maneira padrão, considerando os cinco pavimentos do edifício, conforme se mostra abaixo.

$$P = A_i \times Q \times C_p \times (n + 0,7)$$

(P.1/P.7) P= 7,5 x 1300 x 1,4 x (5 + 0,7) P= 7,5 x 1300 x 1,4 x 5,7 P= 77805 kgf		(P.4) P= 15 x 1300 x 1,2 x (5 + 0,7) P= 15 x 1300 x 1,2 x 5,7 P= 133380 kgf
--	--	---

3º Passo: Após calcular o carregamento dos pilares, deve-se partir para o cálculo da área de concreto do pilar. Para isso, deve-se definir a resistência do concreto e do aço a serem utilizados na estrutura, tendo como estimativa a prática atual de concreto com resistência de 25 MPA

e aço com resistência de 50kgf/mm², conforme realizado no exemplo anterior. Deve-se, então, substituir os valores abaixo:

$$P = 0,61 \times F_{ck} \times A_c + \frac{A_c \times F_{yk}}{115}$$

$$P = 0,61 \times 250 \times A_c + \frac{A_c \times 5000}{115}$$

$$P = 152,5 \times A_c + 43,5 \times A_c$$

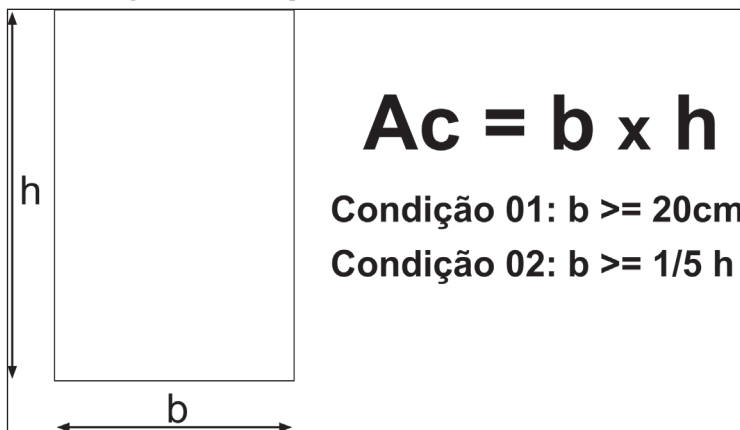
$$P = 196 \times A_c$$

$$A_c = \frac{P}{196}$$

(P.1/P.7)	(P.4)	(P.2/P.8)	(P.5)
$A_c = \frac{77805}{196}$	$A_c = \frac{133380}{196}$	$A_c = \frac{113880}{196}$	$A_c = \frac{191100}{196}$
$A_c \cong 396,96 \text{ cm}^2$	$A_c \cong 680,51 \text{ cm}^2$	$A_c \cong 680,51 \text{ cm}^2$	$A_c \cong 975,00 \text{ cm}^2$

4º Passo: Após a determinação das áreas das seções de cada tipo de pilares da estrutura, deve-se, então, calcular as dimensões do pilar. Para isso, devem-se respeitar as condições expressas na NBR 6118 para o seu pré-dimensionamento mínimo, conforme se apresenta abaixo:

Imagem 33: Exemplo 02 – seção 02 – condições b x h



Fonte: autor

$$A_c = b \times h$$

(P.1/P.7)

$$A_c = 20 \times h$$

$$396,96 = 20 \times h$$

$$h = \frac{396,96}{20}$$

$$h = 19,84 \text{ cm}$$

logo → Não pode ser inferior a 20cm

↓

$$h = 20 \text{ cm}$$

Seção Pilar de Canto:
(P.1/P.7)↓
20 cm x 20 cm

(P.5)

$$A_c = 20 \times h$$

$$975,00 = 20 \times h$$

$$h = \frac{975,00}{20}$$

$$h = 48,75 \text{ cm}$$

logo → Não pode ser inferior a 20cm

↓

$$h = 50 \text{ cm}$$

Seção Intermediário:
(P.5)↓
20 cm x 50 cm

(P.2/P.4/P.8)

$$A_c = 20 \times h$$

$$680,51 = 20 \times h$$

$$h = \frac{680,51}{20}$$

$$h = 34,02 \text{ cm}$$

logo

↓

$$h = 35,00 \text{ cm}$$

Seção Pilar de Extremidade:
(P.2/P.4/P.8)↓
20 cm x 35 cm

5º Passo: Os pilares P3, P6 e P9 são pilares especiais na estrutura da edificação. Eles possuem características de esbeltez. Por este motivo, para calcular as dimensões da sua seção transversal, deve-se utilizar o seu índice de esbeltez (70) a fim de descobrir a dimensão mínima para evitar a flambagem da peça, conforme se mostra abaixo.

$$\lambda = 3,46 \times \frac{le}{b}$$

$$70 = 3,46 \times \frac{le}{b}$$

$$b_{\min} = 0,05 le$$

$$b_{\min} = 0,05 \times 900$$

$$b_{\min} = 45 \text{ cm}$$

↓
dimensão mínima

Sendo assim, para determinar as dimensões mínimas dos mesmos, deve-se:

(P.3/P.9)

1º Passo

$$P = A_i \times Q \times C_p \times (n + 0,7)$$

$$P = 7,5 \times 1300 \times 1,4 \times (5 + 0,7)$$

$$P = 7,5 \times 1300 \times 1,4 \times 5,7$$

$$P = 77805 \text{ kgf}$$

2º Passo

$$A_c = \frac{P}{196}$$

$$A_c = \frac{77805}{196}$$

$$A_c \cong 396,96 \text{ cm}^2$$

3º Passo

$$A_c = 45 \times h$$

$$396,96 = 45 \times h$$

$$h = \frac{396,96}{45}$$

$$h = 8,82 \text{ cm}$$

logo → Não pode ser inferior a 45 cm

$$h = 45 \text{ cm}$$

(P.6)

1º Passo

$$P = A_i \times Q \times C_p \times (n + 0,7)$$

$$P = 15 \times 1300 \times 1,2 \times (5 + 0,7)$$

$$P = 15 \times 1300 \times 1,2 \times 5,7$$

$$P = 133380 \text{ kgf}$$

2º Passo

$$A_c = \frac{P}{196}$$

$$A_c = \frac{133380}{196}$$

$$A_c \cong 680,51 \text{ cm}^2$$

3º Passo

$$A_c = 45 \times h$$

$$680,51 = 45 \times h$$

$$h = \frac{680,51}{45}$$

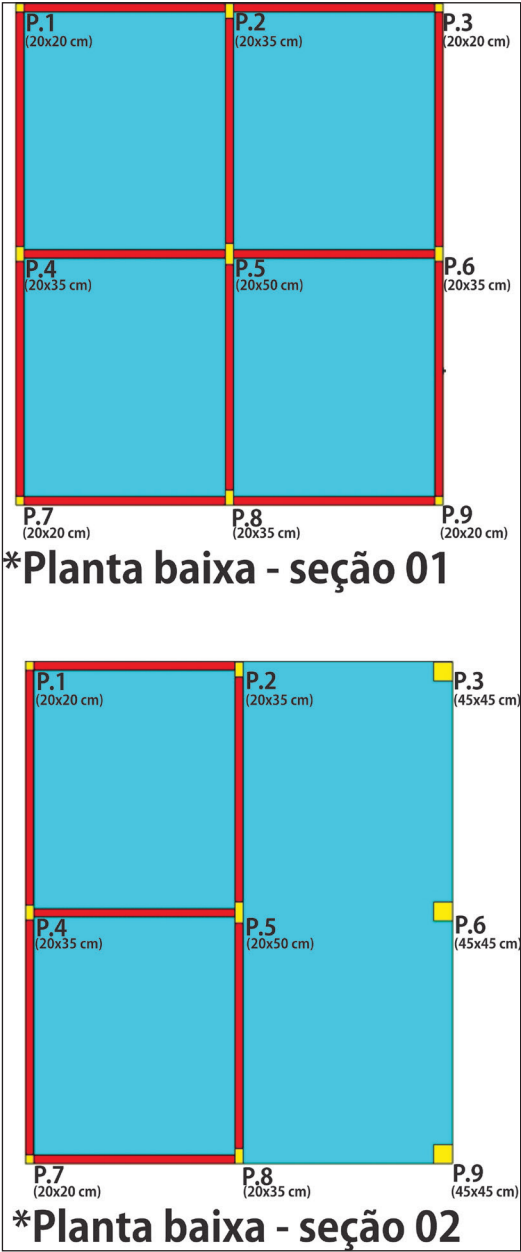
$$h = 15,12 \text{ cm}$$

logo → Não pode ser inferior a 45cm

$$h = 45 \text{ cm}$$

6º Passo: Dessa forma, podem-se finalmente determinar as dimensões das seções dos pilares da edificação. No entanto, para evitar uma grande variedade nas dimensões dos elementos estruturais, devem-se definir as três dimensões da classificação dos pilares, de acordo com sua posição (de extremidade, de canto e intermediário), e ainda as dimensões dos pilares especiais esbeltos, levando em consideração as maiores dimensões encontradas para cada classificação, conforme imagem abaixo.

Imagem 34: Exemplo 02 – lançamento pilares seção 01 e 02

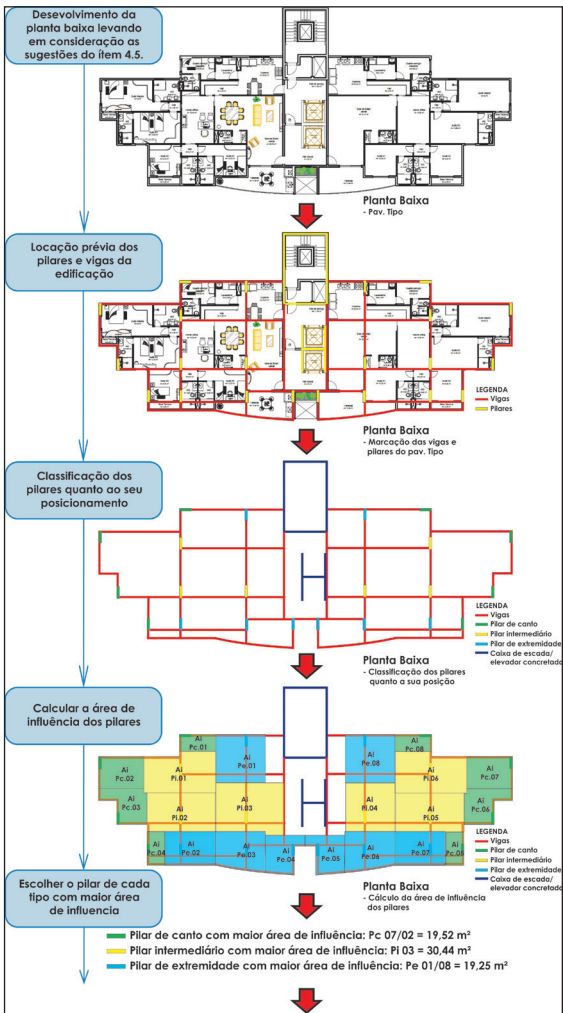


Fonte: autor

4.8 FLUXOGRAMA DE LANÇAMENTO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PILARES

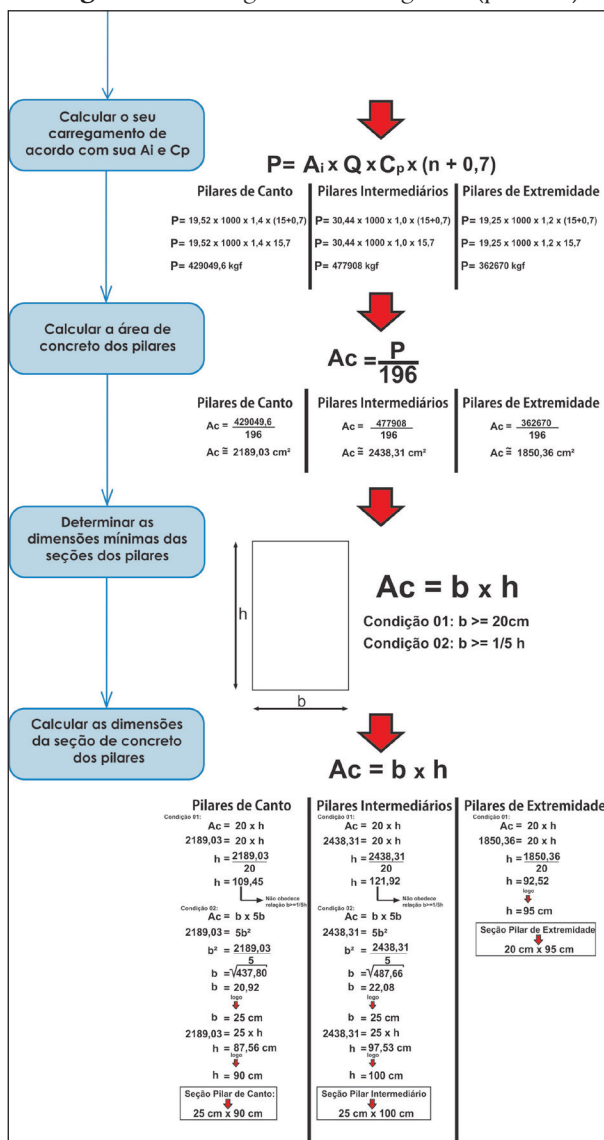
Abaixo, apresenta-se um fluxograma ilustrado com a apresentação das principais etapas para o pré-dimensionamento de pilares de concreto armado, e, ao lado, imagens de exemplos de aplicação de pré-dimensionamento de um edifício residencial de 15 pavimentos.

Imagem 35: Fluxograma – Fluxograma (parte 01)



Fonte: autor

Imagem 36: Fluxograma – Fluxograma (parte 02)



Fonte: autor

No apêndice deste trabalho, encontram-se as imagens acima apresentadas neste fluxograma, de maneira ampliada, a fim de facilitar a observação de cada etapa do processo de pré-dimensionamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este manual responde a contento as questões que impulsionaram a ação investigativa: O que é estrutura? Para que ela serve? Qual a importância deste conhecimento para os arquitetos? Quem deve conceber a estrutura do projeto? Como ela pode ajudar ou prejudicar um projeto arquitetônico? Qual o papel do engenheiro e do arquiteto no momento da concepção de uma edificação?

Este guia enfatiza a importância da concepção estrutural no momento do desenvolvimento do projeto arquitetônico, como ações concomitantes; demonstra as atribuições e responsabilidades do profissional de arquitetura, que deve assumir seu papel de criador e coordenador do projeto; apresenta os conceitos básicos sobre as estruturas e ainda desenvolve um estudo específico sobre os tipos, as importâncias, as aplicações, e métodos para o pré-dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado.

É importante frisar que o material apresentado não possui a intenção de minimizar a importância do trabalho do engenheiro calculista de estruturas. São de sua responsabilidade o dimensionamento, a quantificação e a apresentação de possíveis soluções estruturais que possam vir a agregar valor às estruturas das edificações. O objetivo é ressaltar a necessidade do arquiteto de reconhecer e assumir a sua responsabilidade pela concepção estrutural em seus projetos, de maneira que o mesmo seja capaz de tomar partido da sua escolha para valorização da sua ideia, e, ainda, ser capaz de minimizar certos impactos estruturais na conformação de sua arquitetura.

Contudo, sabe-se que resta ainda a certeza de que a apresentação de métodos para o pré-dimensionamento de pilares de concreto armado não encerra as possibilidades e necessidades de estudos sobre o assunto, uma vez que o processo de concepção estrutural engloba outros elementos estruturais além dos pilares, tais como lajes, vigas e fundações. O pleno entendimento e pré-dimensionamento da estrutura da edificação no seu todo requer o conhecimento do comportamento de todos os elementos estruturais que a compõem.

Diante dessa constatação, torna-se imprescindível a continuidade dessa pesquisa, cujos resultados darão ensejo à elaboração de outros guias práticos que complementarão este manual e formarão um conjunto de direcionamentos teórico-práticos indispensáveis ao ato de projetar.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. (1980).

AGUIAR, E. A. (2010. Tese (Doutorado em Estruturas)). *Comportamento de chumbadores grauteados de ligações viga-pilar parcialmente resistentes a momento fletor*. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. (2007). (s.d.).

BASTOS, P. S. (2006). *HISTÓRICO E PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTRUTURAIS*. Bauru/SP: UNESP .

BOTELHO, M. H. (2006). *Concreto armado, eu te amo, para arquitetos*. São Paulo, SP: Edgard BluncheR.

CHARLESON, A. W. (2009). *Estrutura aparente: um elemento de composição em arquitetura*. Porto Alegre, RS: Bookman.

CHING, F. D. (2008). *Arquitetura - Forma Espaço e Ordem*. Tradução: Alvemar Helena Lamparelli. – 2ª edição – São Paulo: Martins Fontes.

DIEZ, G. (2012). *Projeto estrutural na arquitetura*. Porto Alegre, RS: Coedição Masquatro Editora Ltda. e Nobuko S.A.

FRAMPTON, K. (1997). *História crítica da arquitetura moderna*. Tradução: Jefferson Luiz Camargo. São Paulo, SP: Martins Fontes.

Lei Federal 12.278 de 31/12/2010 apoud <<http://www.iabsp.org.br/oquearquitetofaz.asp>>. Acesso em 10 de junho de 2013). (s.d.).

LEMO, C. A. (1994). *O que é arquitetura*. São Paulo: Brasiliense.

LOPES, J. M., & BOGÉA, M. R. (2006). *Arquiteturas da Engenharia, ou, Engenharias da Arquitetura*. São Paulo, SP: Mandarin.

REBELLO, Y. C. (2000). *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. São Paulo, SP: Zigurate Editora.

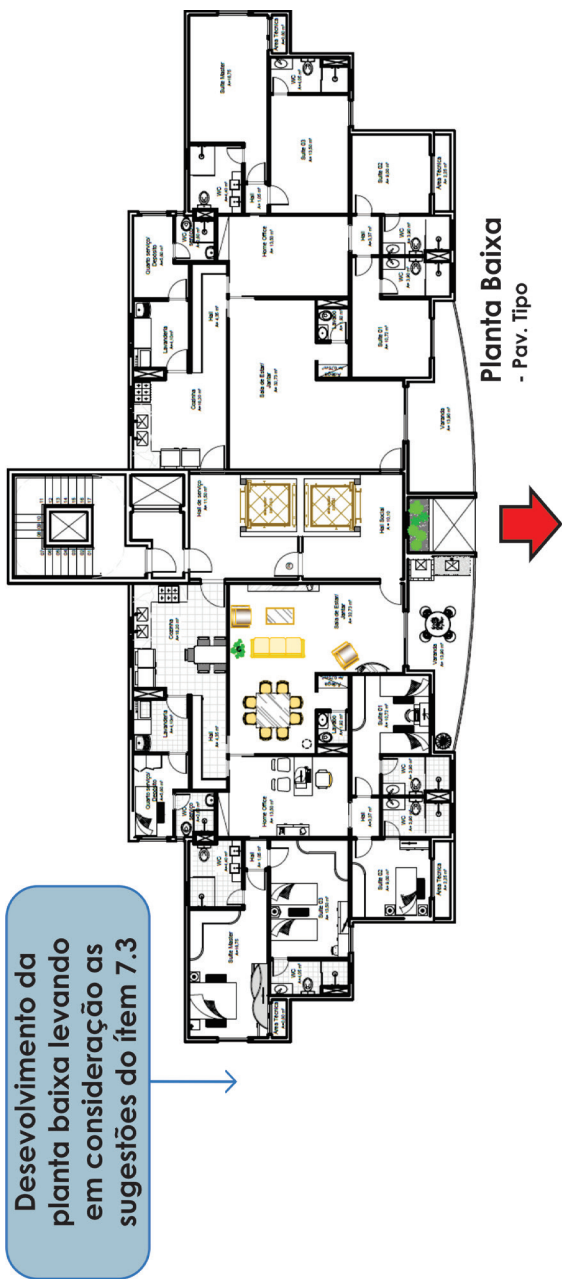
REFERÊNCIAS

SÁLES, J. J., NETO, J. M., MALITE, M., DIAS, A. A., & GONÇALVES, R. M. (2005). *Sistemas estruturais: teoria e exemplos*. São Carlos, SP: SET/EESC/USP.

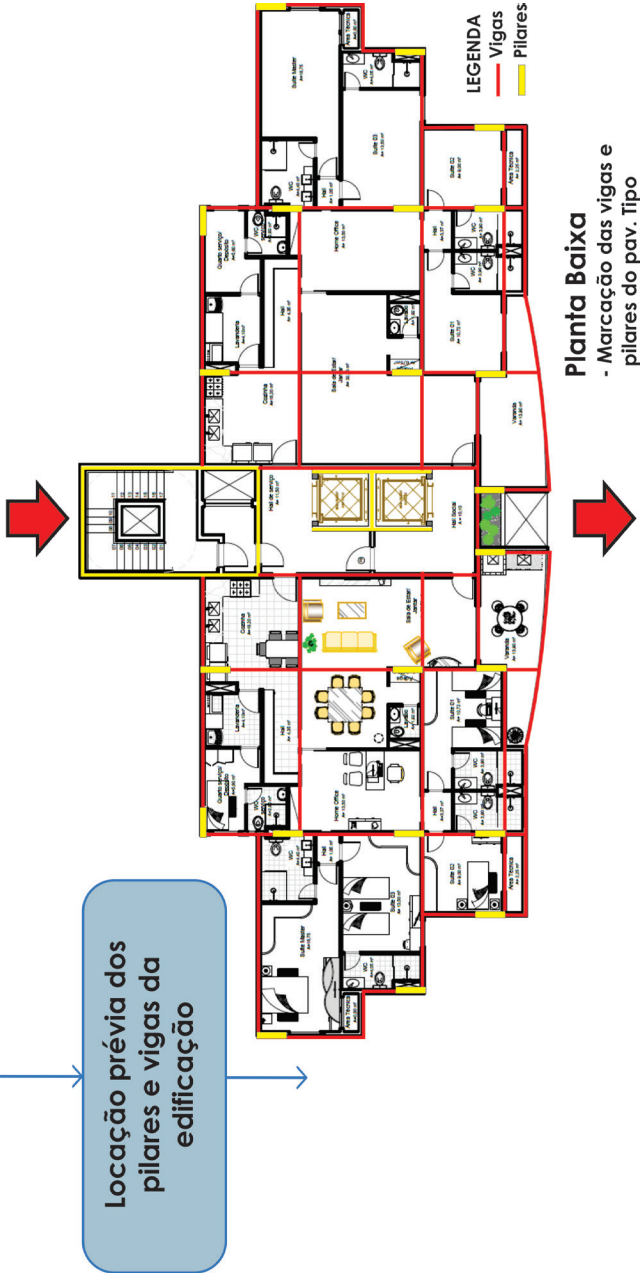
SCADELAI, M. A. (2004). *Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos.

VILLASUSO, B. M. (2009). *El espacio arquitetônico*. 1ª ed. Buenos Aires: El Ateneo.

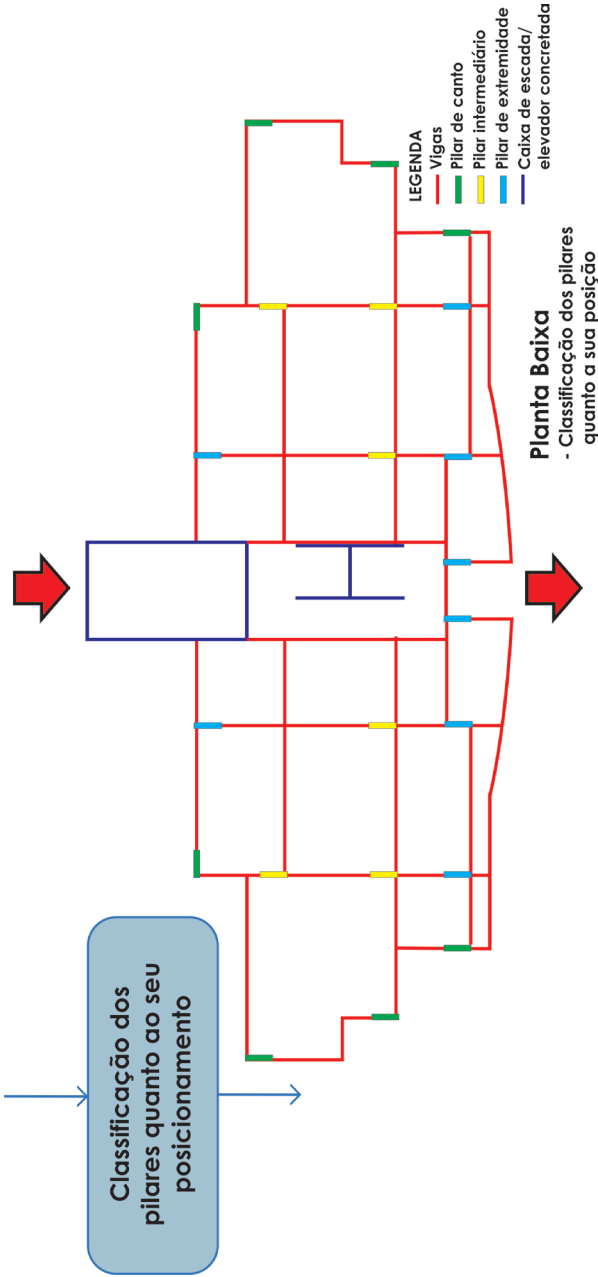
APÊNDICE A



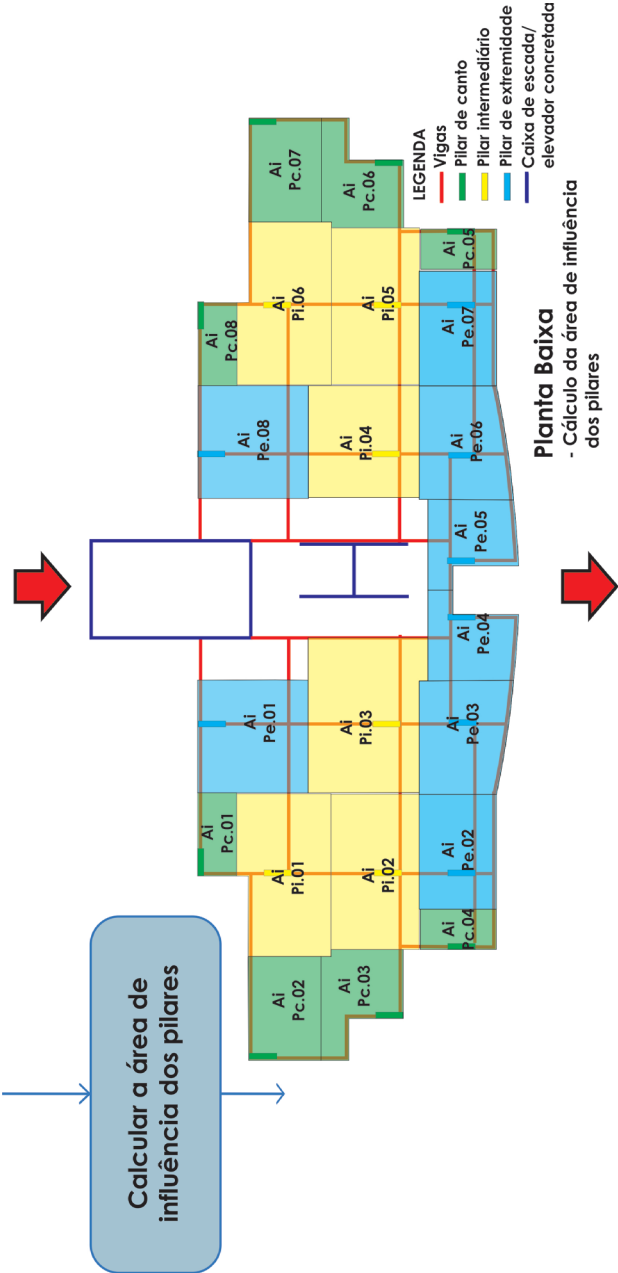
APÊNDICE B



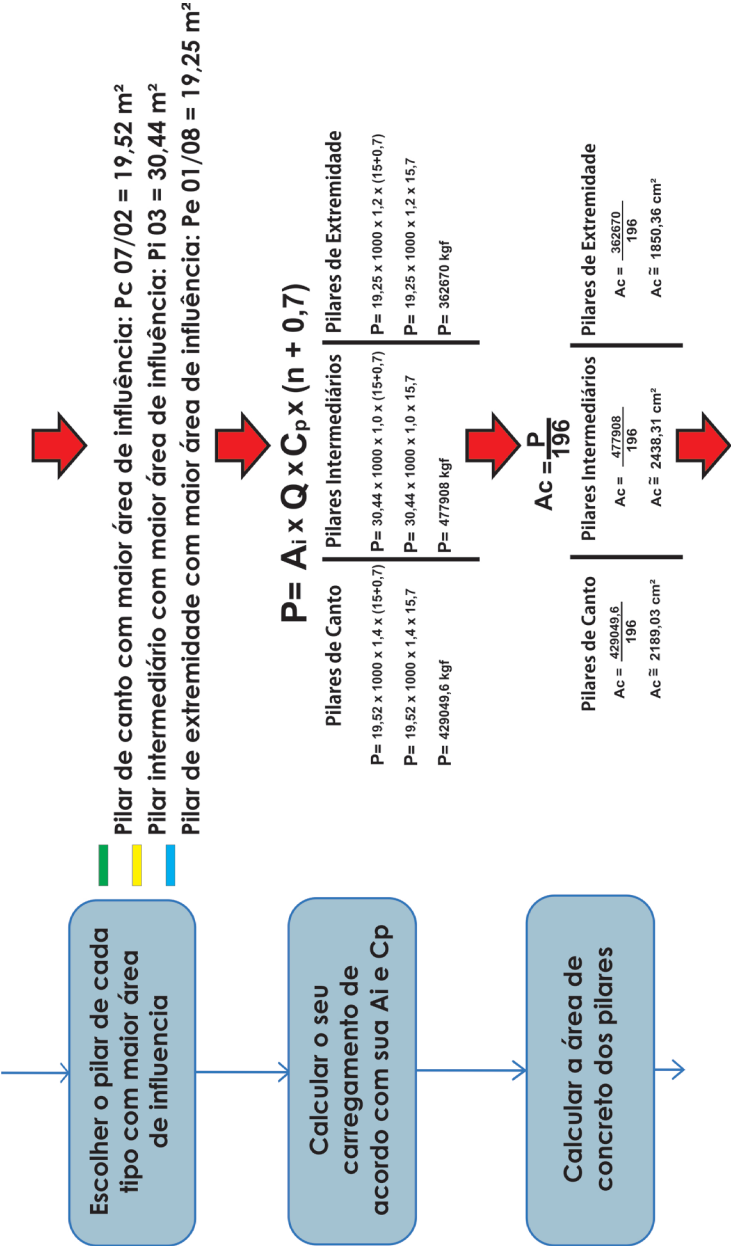
APÊNDICE C



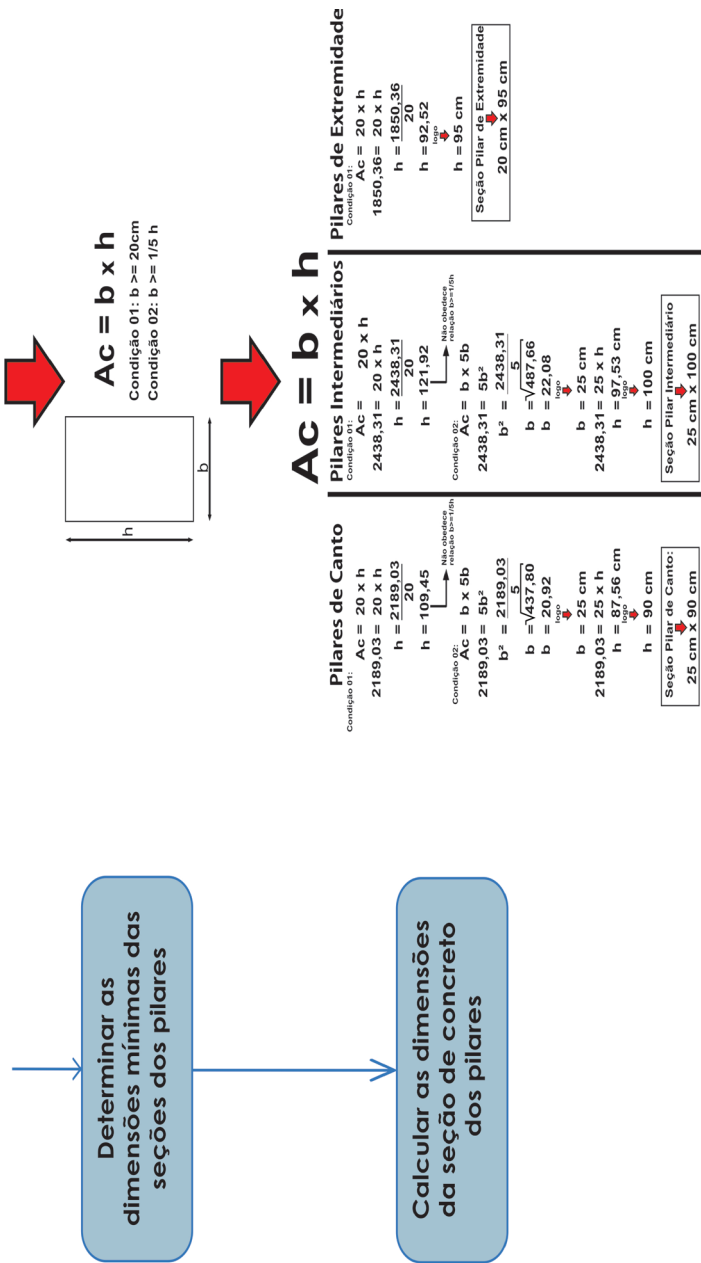
APÊNDICE D

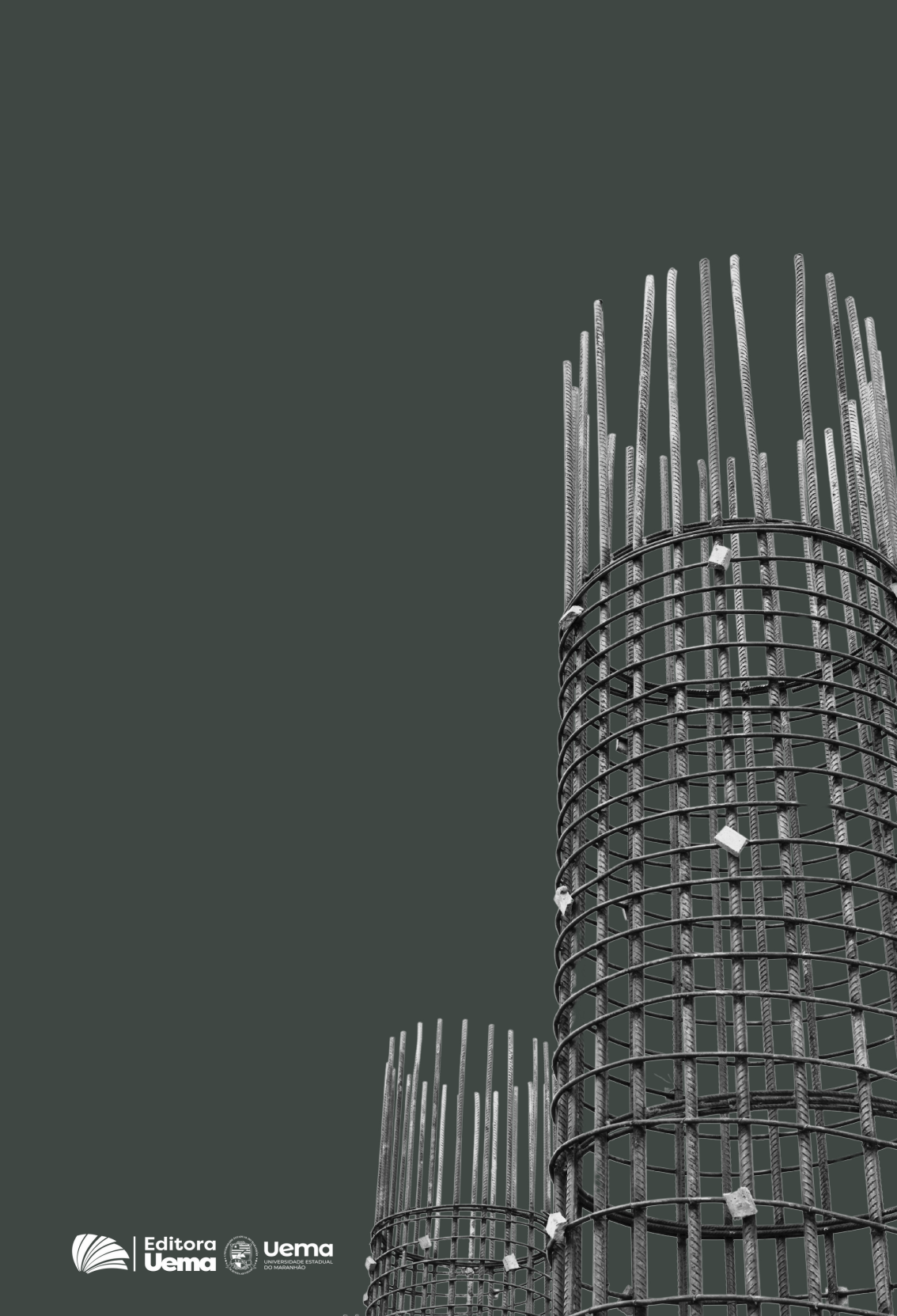


APÊNDICE E



APÊNDICE F





Editora
Uema



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO