

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gabriel Zuanazzi Dornelles

**ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO ECONÔMICO
COMPARATIVO DE EDIFICAÇÕES ESBELTAS**

Porto Alegre
dezembro 2012

GABRIEL ZUANAZZI DORNELLES

**ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO ECONÔMICO
COMPARATIVO DE EDIFICAÇÕES ESBELTAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Jean Marie Désir

Porto Alegre
dezembro 2012

GABRIEL ZUANAZZI DORNELLES

**ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO ECONÔMICO
COMPARATIVO DE EDIFICAÇÕES ESBELTAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2012

Prof. Jean Marie Désir
Dr. pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Ronald José Ellwanger (UFRGS)
Dr. pela UFRJ

Bruno Assunção (Nex Group)
Engenheiro Civil pela PUCRS

Jean Marie Désir (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Ricardo e Estela, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Jean Marie, orientador deste trabalho, pela ajuda e esclarecimentos durante a execução do mesmo.

Agradeço à Profa. Carin que sempre esteve disposta a responder toda e qualquer dúvida que surgisse durante o caminho de elaboração deste trabalho.

Há muitas maneiras de avançar,
mas só uma maneira de ficar parado.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

Diante do notável aquecimento do mercado da construção civil, as empresas atuantes na área vêm buscando alternativas de sistemas construtivos que ofereçam maior eficiência na arte de construir, visando menores custos e prazos. Entretanto, a implementação de métodos totalmente inovadores é freada pela escassez de mão de obra, tanto executora como administrativa. Em virtude desta perspectiva, o trabalho busca avaliar a viabilidade de métodos já consolidados na construção civil para determinados empreendimentos quando são extrapolados além do seu uso corriqueiro. Considerando os ganhos econômicos da alvenaria estrutural frente a estruturas aporticadas de concreto armado apontados na bibliografia, o presente estudo analisa sua eficácia, entretanto, quando empregada em edificações esbeltas, voltadas à habitação de alto padrão. Para isso, examinou-se a alvenaria estrutural com blocos cerâmicos e lajes de concreto armado frente a uma estrutura aporticada convencional de concreto armado utilizando alvenaria de vedação a partir de modelos computacionais baseados em dados de uma edificação existente na região metropolitana de Porto Alegre. Em seguida, para realização de tal comparativo, considerou-se o quantitativo de materiais mais a mão de obra exigida por cada sistema construtivo para avaliar os custos pertinentes aos mesmos. Por fim, estabeleceram-se as considerações finais, a fim de ressaltar fatores não mensuráveis em um modelo estrutural, que também possuem importância nesta análise.

Palavras-chave: Ganhos Econômicos da Alvenaria Estrutural. Alvenaria Estrutural. Estruturas Aporticada de Concreto Armado. Edificações Esbeltas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho	18
Figura 2 – Edifício Monadnock	20
Figura 3 – Ações atuantes em um sistema estrutural tipo caixa	22
Figura 4 – Blocos de comprimentos 15,30 e 45 cm	26
Figura 5 – Módulo longitudinal igual à largura	26
Figura 6 – Fiadas 1 e 2 e elevação de uma parede sem juntas a prumo	27
Figura 7 – Perspectiva da estrutura em concreto armado	31
Figura 8 – Efeitos globais de segunda ordem	35
Figura 9 – Fachada do empreendimento existente	38
Figura 10 – Implantação do empreendimento	39
Figura 11 – Pavimento tipo	39
Figura 12 – Croqui esquemático	41
Figura 13 – Definições dos dados verticais	42
Figura 14 – Definição da família dos blocos	42
Figura 15 – Modelo estrutural pavimento tipo	43
Figura 16 – Visualização tridimensional	44
Figura 17 – Geometria adotada para os efeitos do vento	45
Figura 18 – Modelo estrutural pavimento tipo concreto armado	46
Figura 19 – Modelo tridimensional concreto armado	47
Figura 20 – Comparativo final	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo comparativo entre os sistemas construtivos.....	33
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Blocos especificados para os pavimentos de 1 a 4	48
Tabela 2 – Blocos especificados para os pavimentos de 5 a 9	49
Tabela 3 – Blocos especificados para os pavimentos de 10 a 13	49
Tabela 4 – Graute especificado para os pavimentos de 1 a 4	49
Tabela 5 – Graute especificado para os pavimentos de 5 a 13	50
Tabela 6 – Argamassa especificada para os pavimentos de 1 a 4	50
Tabela 7 – Argamassa especificada para os pavimentos de 5 a 9	50
Tabela 8 – Argamassa especificada para os pavimentos de 10 a 13	51
Tabela 9 – Resumo aço alvenaria estrutural	51
Tabela 10 – Mão de obra alvenaria estrutural	52
Tabela 11 – Laje convencional	52
Tabela 12 – Custo total da estrutura em alvenaria estrutural	52
Tabela 13 – Blocos de vedação	53
Tabela 14 – Argamassa paredes de vedação	53
Tabela 15 – Mão de obra alvenaria de vedação	54
Tabela 16 – Insumos para o concreto	54
Tabela 17 – Insumos para o aço	55
Tabela 18 – Custo total da estrutura aporcada de concreto armado	55
Tabela 19 – Comparativo do custo médio de um pavimento tipo	56

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{bk} – resistência à compressão característica para a alvenaria estrutural (MPa)

f_{ck} – resistência à compressão característica para o concreto armado (MPa)

Fe_2 – momentos fletores de segunda ordem (kNcm)

Fe_1 – momentos fletores de primeira ordem (kNcm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.2.1 Objetivo Principal	15
2.2.2 Objetivos Secundários	15
2.3 PRESSUPOSTO	16
2.4 PREMISA	16
2.5 DELIMITAÇÕES	16
2.6 LIMITAÇÕES	16
2.7 DELINEAMENTO	17
3 ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	19
3.1 ALVENARIA ESTRUTURAL	19
3.1.1 Aspectos Históricos	19
3.1.2 Conceito Estrutural Básico	21
3.1.2.1 Alvenaria não armada.....	22
3.1.2.2 Alvenaria armada	22
3.1.3 Componentes da Alvenaria Estrutural	23
3.1.3.1 Unidade	23
3.1.3.2 Argamassa.....	23
3.1.3.3 Graute	24
3.1.3.4 Armaduras.....	24
3.1.4 Modulação	25
3.1.4.1 Modulação Horizontal	26
3.1.4.2 Modulação Vertical	27
3.1.5 Aspectos Técnicos e Econômicos	27
3.2 ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO	28
3.2.1 Aspectos Históricos	28
3.2.2 Composição do Concreto Armado	29
3.2.3 Conceito Estrutural Básico	29
3.2.4 Aspectos Técnicos e Econômicos	31

3.3 A ESCOLHA DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO	33
4 CARACTERÍSTICAS DE EDIFICAÇÕES ESBELTAS	34
4.1 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ESBELTOS	34
4.2 LIMITE DE ESBELTEZ NA ALVENARIA ESTRUTURAL	36
5 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO, GERAÇÃO DOS MODELOS COMPUTACIONAIS	38
5.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	38
5.2 GERAÇÃO DOS MODELOS COMPUTACIONAIS	40
5.2.1 Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural	40
5.2.2 Sistema Construtivo em Estrutura Apertada de Concreto Armado com Alvenaria de Vedação	44
6 QUANTITATIVO DE INSUMOS E CUSTOS DOS SERVIÇOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
6.1 ALVENARIA ESTRUTURAL	48
6.2 ESTRUTURA APERTADA DE CONCRETO ARMADO	53
6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Observada nos últimos anos, a grande expansão do mercado da construção civil originou uma realidade mais competitiva, tornando-se indispensável a busca pela eficiência construtiva, levando empresas a uma retroanálise de seus conceitos sobre produtividade. Tal crescimento acarretou uma migração progressiva do conceito artesanal, marcado por técnicas empíricas e conservadoras, para uma visão que se aproxima do caráter industrial, na qual novas tecnologias buscam acréscimos na produção. Tendo isso em consideração, vem sendo abolida a ideia de um sistema construtivo único, adotando-se aquele que melhor se aplica a cada realidade.

Após o surgimento do concreto armado, no início do século XX, houve uma revolução na arte de construir. Com um embasamento científico mais aprofundado, que possibilitou a execução de estruturas mais arrojadas, não demorou muito para a alvenaria estrutural ser considerada uma prática antiquada e com pouca eficiência estrutural. Porém, com o passar dos anos, a partir de novas pesquisas e melhorias na qualidade dos materiais, percebeu-se grandes vantagens no seu uso em relação a estruturas de concreto armado em formato de pórticos.

Apesar de um forte conservadorismo por parte das construtoras brasileiras, as vantagens da alvenaria estrutural, tais como redução de custos e prazos, frente a uma intensa competitividade de mercado, acarretaram em um retorno inevitável. Todavia, alguns preconceitos ficaram remanescentes, impedindo o real aproveitamento do sistema construtivo, havendo a tendência de limitar o uso da alvenaria estrutural a pequenas edificações com geometria simples, normalmente direcionadas a um público de baixa renda.

Com esta pesquisa, avaliou-se o comportamento econômico de edificações de grande porte, com geometria diferente dos padrões geralmente indicados para o sistema, baseado em projetos e dados obtidos em uma construtora da região metropolitana de Porto Alegre, que visa atender um público de classe média-alta. Buscou-se uma análise comparativa, em termos de custo, entre a edificação modelada em alvenaria estrutural frente a uma arquitetura semelhante de estrutura em formato de pórtico de concreto armado. Com a obtenção quantitativa dos dados, auxiliado por programas computacionais, foi feita uma verificação se

o sistema apresenta a mesma racionalidade econômica, quanto ao quantitativo de materiais empregados e à mão de obra, quando aplicados a uma edificação de geometria não usual.

O trabalho está dividido em sete capítulos nos quais são apresentados os seguintes temas: introdução; diretrizes de pesquisa; alvenaria estrutural e estrutura aporticada de concreto armado: características básicas dos métodos; características de edificações esbeltas; apresentação do empreendimento, geração dos modelos computacionais; quantitativo de insumos e custos dos serviços e análise dos resultados; considerações finais.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: considerando os ganhos econômicos da alvenaria estrutural perante estruturas de concreto armado apontados na bibliografia, qual a resposta deste sistema, quanto ao custo dos materiais e da mão de obra, em uma edificação esbelta para os parâmetros usuais associados à alvenaria estrutural?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da eficácia econômica no uso da alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, em comparação a estruturas aporticadas de concreto armado utilizando alvenaria de vedação, para uma mesma edificação esbelta, através do estudo do custo dos materiais e serviços em cada caso.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) a determinação dos acréscimos de insumos que se originam na alvenaria estrutural conforme se eleva o grau de esbeltez de uma estrutura;
- b) a exposição do dimensionamento de estruturas de edificações em alvenaria estrutural e concreto armado pelo *software* TQS.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que ambos os sistemas construtivos, alvenaria estrutural e estrutura aporticada de concreto armado, apresentam a mesma resposta estrutural quanto à segurança e condições de serviço para uma mesma edificação.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a escolha de um sistema construtivo adequado para edificações de grande porte, visando alta produtividade e baixos custos, é de suma importância dada a crescente demanda do mercado consumidor.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise de dois sistemas construtivos usando por base para o estudo um empreendimento da região metropolitana de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações da pesquisa são:

- a) comparativo somente entre os sistemas de alvenaria estrutural de bloco cerâmico com laje maciça de concreto armado e estrutura aporticada de concreto armado convencional utilizando blocos cerâmicos de vedação;
- b) estrutura aporticada de concreto armado com pilares com dimensões mínimas maiores ou iguais a 20 cm, a fim de evitar os coeficientes de acréscimos exigidos por norma;
- c) análise limita-se aos pavimentos tipo, visto que o térreo da edificação existente já utiliza uma estrutura aporticada de concreto armado;
- d) comparação é quanto ao custo e a análise, a partir do custo da mão de obra mais o quantitativo de materiais utilizados para execução de cada um dos projetos gerados pelo *software*, acrescentando-se no caso do concreto armado as alvenarias de vedação;
- e) fundações são consideradas iguais, logo não sendo relevantes à análise comparativa;
- f) modelos computacionais utilizados na análise são gerados pelo programa computacional TQS.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) aprendizado do *software*;
- c) dados da edificação;
- d) entrada de dados no *software*;
- e) geração de um modelo em alvenaria estrutural;
- f) geração de um modelo semelhante em concreto armado;
- g) cálculo do quantitativo e custo dos materiais e serviços para os dois sistemas;
- h) análise dos resultados;
- i) conclusão.

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica que possibilitou o embasamento conceitual necessário para realização do presente trabalho. Esta etapa teve como objetivo o aprendizado teórico de ambos os sistemas construtivos, de maneira a compreender suas peculiaridades quanto a execução e seu comportamento estrutural.

A compreensão do TQS se deu a partir de manuais disponibilizados pelo orientador com a finalidade de aproveitar a real capacidade do *software* na criação dos modelos computacionais. A seguir, foram ordenados os dados da edificação concedidos pela construtora, como dimensão, geometria e modulação, para uma correta inserção e processamento dos mesmos. Com estes parâmetros estabelecidos foi iniciada a fase de definição dos modelos computacionais para cada sistema construtivo. Ambas estruturas foram estabelecidas como um conjunto de 13 pavimentos tipo.

Finalmente, na análise dos resultados obtidos, foi comparado o custo quanto aos serviços e materiais empregados a cada edificação. Obtendo-se, assim, a resposta se a alvenaria estrutural mostra-se uma solução com vantagens econômicas quando aplicadas em edificações esbeltas e de geometria não usual.

Figura 1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor)

3 ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Apresentam-se, a seguir, as características dos dois sistemas construtivos citados, apontando os prós e os contras mencionados na bibliografia existente. Feito isso, ainda é exposto um quadro comparativo com o resumo das particularidades citadas.

3.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

Iniciando pela Alvenaria Estrutural, é narrado como o sistema construtivo se desenvolveu ao longo do tempo, seus componentes e características. Além disso, são apresentadas algumas figuras com a finalidade de facilitar a compreensão de determinados itens.

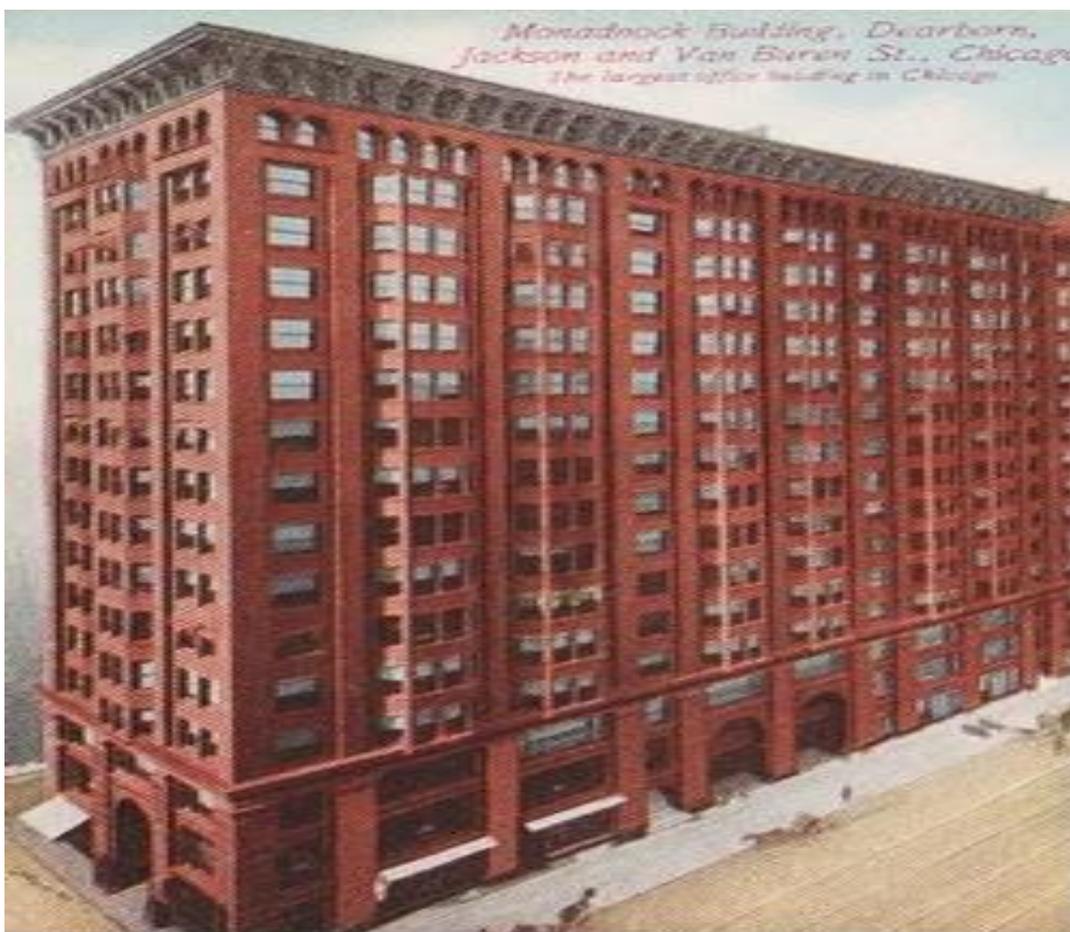
3.1.1 Aspectos Históricos

A alvenaria foi um dos primeiros sistemas construtivos a ser utilizado pela humanidade e, por sua aparente simplicidade e eficiência, logo se tornou a principal maneira de se construir no mundo antigo. Consistia, inicialmente, em um mero empilhamento de blocos de diversos materiais como, por exemplo, rochas e argilas, variando conforme a disponibilidade na região. Com uma durabilidade inquestionável, obras como as pirâmides de Guizé e o Coliseo atravessaram milênios chegando até os dias de hoje como verdadeiros monumentos de grande importância histórica (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 2-3). Entretanto, apesar dos resultados marcantes, não existia um embasamento teórico para alvenaria e as estruturas eram erguidas seguindo regras puramente empíricas acumuladas durante os séculos (CAMACHO, 2006, p. 5).

Outras edificações não possuíram a mesma importância histórica geral, mas influenciaram significativamente a diretriz do método. É o caso do edifício Monadnock, apresentado na figura 2, que veio a se tornar um símbolo clássico da alvenaria estrutural moderna no início do século XX. Com 16 pavimentos e paredes na base com 1,80 m de espessura demonstrou a

ineficiência das técnicas empíricas para estruturas mais esbeltas exigidas pela urbanização. Acredita-se que utilizando a metodologia de cálculo atual, essa espessura seria inferior a 30 cm para os mesmos materiais (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 4).

Figura 2 – Edifício Monadnock



(fonte: CHUCKMAN, 2010)

Dentro dessa perspectiva, novos materiais e técnicas construtivas surgiram para suprir essa deficiência na arte de construir. Seguidos ainda por um embasamento teórico mais desenvolvido, uma revolução relegou a alvenaria para um segundo plano, passando a ser usada quase que exclusivamente como elemento de vedação (CAMACHO, 2006, p. 5).

Camacho (2006, p. 5) ainda cita que, em meados do século XX, devido à necessidade de sistemas construtivos alternativos, diversas pesquisas e estudos foram feitos a fim de encontrar outras soluções. Neste contexto, renovada uma filosofia de racionalização e critérios de cálculo consistentes, a alvenaria estrutural ressurge como um método viável, mostrando-se muito competitiva em relação aos custos e prazos para determinadas edificações.

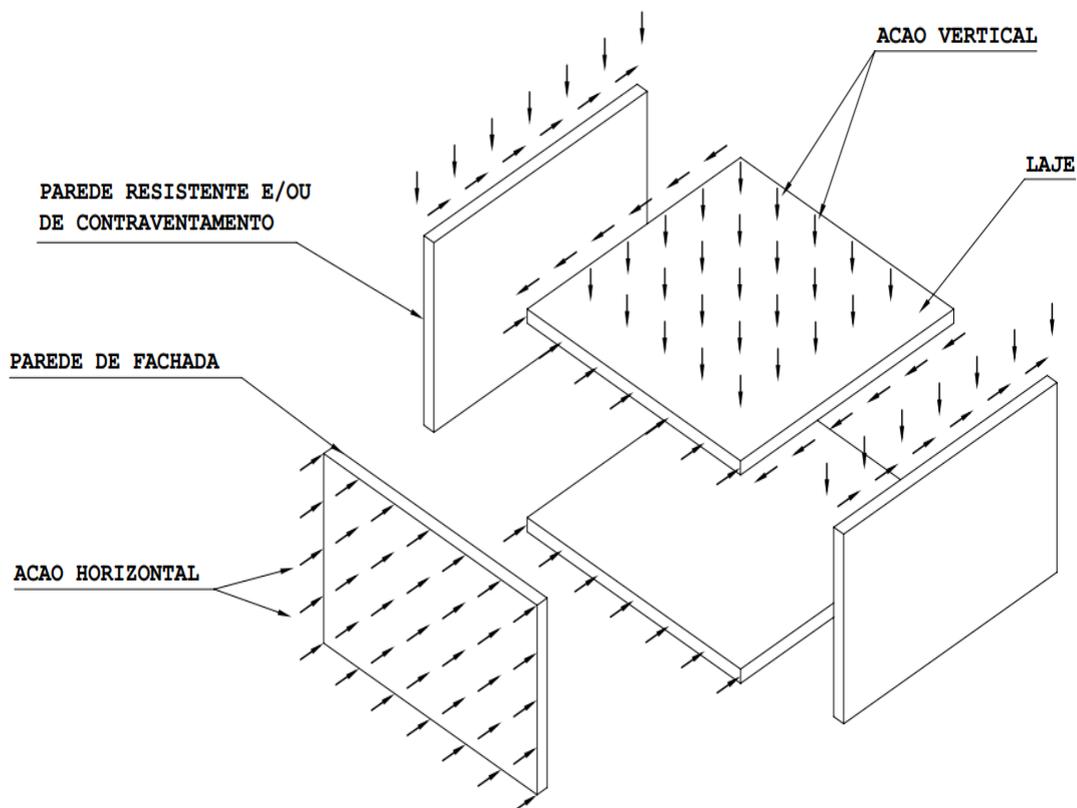
No Brasil, por ser encarada como um sistema construtivo mais elaborado e voltado para edifícios econômicos, a efetiva introdução da Alvenaria Estrutural só ocorreu no final da década de 60, sendo até hoje pouco conhecida no meio técnico e destinada quase que somente aos grandes centros (CAMACHO, 2006, p. 5).

3.1.2 Conceito Estrutural Básico

A alvenaria estrutural, por consistir praticamente do empilhamento de blocos, possui sua principal resposta estrutural ligada à compressão de suas paredes. Esse é o fator crucial a ser levado em conta quando se discute sua viabilidade em uma determinada estrutura. Esforços de tração limitados a poucos pontos e de pequena intensidade conseguem ser absorvidos pela estrutura, porém exigindo a inserção de barras de aço para agir em conjunto com a alvenaria. Em caso contrário, devido ao crescente número de pontos de grauteamento com armadura, o método tende a perder sua agilidade e economia e, por consequência, sua eficiência construtiva (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 1). Na figura 3 indica-se, de maneira geral, como os esforços se distribuem por uma estrutura de paredes portantes.

Basicamente, o sistema construtivo é dividido em duas categorias: alvenaria estrutural não armada e alvenaria estrutural armada. Apesar de ambas necessitarem da presença de armadura para seu correto funcionamento, diferenciam-se na função exercida pelo aço.

Figura 3 – Ações atuantes em um sistema estrutural tipo caixa



(fonte: CAMACHO, 2006, p. 22)

3.1.2.1 Alvenaria não armada

Trata-se da alvenaria que possui apenas armaduras construtivas e não recebe graute. As armaduras construtivas têm como função evitar patologias futuras como trincas e fissuras provenientes da movimentação térmica, acomodação da estrutura e pontos de concentração de tensões (TAUIL; NESE, 2010, p. 21).

3.1.2.2 Alvenaria armada

Trata-se da alvenaria que recebe armaduras devido a exigências estruturais, como esforços importantes de tração. Em pontos pertinentes são utilizadas barras de aço dentro dos vazios dos blocos que posteriormente são grauteados. Com o graute é conferida uma aderência entre a alvenaria e o aço, garantindo uma ação em conjunto, e a alvenaria passa a se comportar semelhantemente a uma peça de concreto armado (TAUIL; NESE, 2010, p. 22).

3.1.3 Componentes da Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é composta principalmente por unidades (blocos ou tijolos), argamassa, graute e armadura, que dão origem a elementos mais elaborados tais como vigas, pilares, paredes, vergas, etc. Apesar de ser possível executar elementos constituídos somente por unidades e argamassa, para determinadas aplicações, aonde os esforços de tração apresentam maior magnitude, é necessária a utilização de grautes e armaduras (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 6).

3.1.3.1 Unidade

Os elementos mais importantes da alvenaria estrutural são as unidades (blocos ou tijolos, usualmente cerâmicos, de concreto ou de vidro), pois eles é que têm o papel principal de resistir aos esforços de compressão. Eles também definem os procedimentos técnicos a utilizar e as modulações possíveis em projeto (CAMACHO, 2006, p. 9). As unidades podem ser maciças (tijolos) ou vazadas (blocos). Se os vazios não excederem 25% da área total, a unidade é considerada como sendo maciça. Caso seja ultrapassado o limite referido anteriormente, a unidade é considerada com sendo vazada. A definição dessa característica dá origem a dois conceitos estruturalmente importantes: tensão em relação à área bruta, que não considera os vazios existentes na unidade, e a tensão em relação à área líquida, que subtrai os vazios existentes na peça (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 7).

Quanto à aplicação, as unidades são classificadas como de vedação ou estrutural. A NBR 6136 especifica que a resistência característica do bloco à compressão deve atender os seguintes limites (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p. 4):

- a) $f_{bk} \geq 6$ MPa: blocos em paredes externas sem revestimento;
- b) $f_{bk} \geq 4,5$ MPa: blocos em paredes internas ou externas com revestimento.

3.1.3.2 Argamassa

A principal função da argamassa é a de ligar as unidades umas às outras, formando um conjunto sólido, que permite a adequada e uniforme transmissão dos esforços aplicados aos elementos construídos de alvenaria, permitindo pequenas deformações. Adicionalmente, serve como vedação à entrada de água, de pó, de ventos, de luminosidade e de outros elementos estranhos à construção. A argamassa normalmente é composta de cimento, areia e água,

muitas vezes acrescida de cal, podendo receber uma grande gama de aditivos que podem aprimorar as suas normais características de resistência, durabilidade, textura, trabalhabilidade, plasticidade e impermeabilidade (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 7-8). Deve-se sempre buscar o traço adequado a cada situação de projeto, visando obter o melhor resultado final em termos de desempenho da obra, sem custos desnecessários.

3.1.3.3 Graute

O graute é um tipo de argamassa ou microconcreto fluido, com agregados de reduzidas dimensões, utilizado para o preenchimento de vazios dos blocos, inclusive os confinados ou semiconfinados em locais de difícil acesso. É comum dispensar o processo de adensamento, tendo em vista a sua fluidez. Os grautes, normalmente, atingem resistências mais altas que as argamassas tradicionais. Com a sua aplicação na alvenaria estrutural de blocos vazados, podendo haver o uso simultâneo de armaduras dispostas nos vazios, fica aumentada a área transversal das unidades, resultando numa maior capacidade de carga do elemento construído, com maior resistência aos esforços de compressão e, se houver armadura, de tração, comparativamente aos elementos construídos de forma convencional (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8).

3.1.3.4 Armaduras

Não há diferença entre as barras de aço utilizadas nas tradicionais estruturas de concreto armado e nas construções de alvenaria estrutural. Entretanto, para que todos os elementos trabalhem em conjunto, há necessidade de que a ferragem esteja completamente envolvida pelo graute, para garantir a uniformidade de ação e reação dos componentes da alvenaria. É importante destacar que as ferragens utilizadas nas juntas das argamassas de assentamento devem possuir um diâmetro mínimo de 3,8 mm e não devem exceder à metade da espessura da junta (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8-9). Quando a colocação da armadura é executada corretamente, o comportamento da alvenaria aproxima-se ao do concreto armado. A unidade fica responsável pela absorção dos esforços de compressão e o aço pelos de tração.

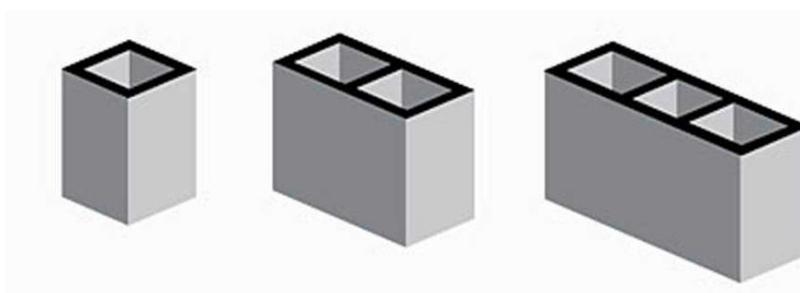
3.1.4 Modulação

A unidade é o elemento básico de sustentação nos edifícios com alvenaria estrutural, possuindo dimensões bem definidas. Diferentemente do concreto, o qual pode ser moldado em diferentes formas e tamanhos, as paredes em alvenaria portante estão limitadas a múltiplos das dimensões de seu bloco. Ajustar as medidas mediante a quebra de suas unidades deve ser evitado, já que estaria sujeitando o elemento principal da estrutura a cortes imprecisos executados no canteiro. Além disso, mesmo que esta adaptação pudesse ser controlada, afastar-se-ia da principal característica do sistema construtivo, sua racionalidade, aonde o desperdício de materiais e a necessidade de uma contínua adaptação do projeto demandariam um aumento de custo e prazo. Em virtude destes aspectos, é considerada fundamental a utilização da modulação na alvenaria, como afirmam Ramalho e Corrêa (2003, p. 13):

A modulação é um procedimento absolutamente fundamental para que uma edificação em alvenaria estrutural possa resultar econômica e racional. Se as dimensões de uma edificação não forem moduladas, como os blocos não devem ser cortados, os enchimentos resultantes certamente levarão a um custo maior e uma racionalidade menor para a obra em questão.

No Brasil, se encontram mais facilmente blocos estruturais com comprimentos múltiplos de 15 cm e 20 cm, existindo dois principais parâmetros que influenciam na escolha do módulo mais adequado. A figura 4 exemplifica um conjunto de blocos usuais múltiplos de 15 cm. De mais fácil associação, fica claro que um dos fatores importantes é o arranjo arquitetônico da edificação. Como é o tamanho da unidade que rege as dimensões das paredes, o módulo a ser adotado seria aquele que ocasionasse menores alterações na geometria do prédio. Entretanto, a principal variável a ser considerada para a definição modular horizontal de uma estrutura é a largura do bloco a ser adotado. É ideal que o módulo longitudinal do bloco seja igual à largura do mesmo, como ilustrado na figura 5. Podendo-se conter a utilização de blocos especiais na ligação de paredes, por exemplo, evitando uma série de problemas comuns (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 15-16).

Figura 4 – Blocos de comprimentos 15,30 e 45 cm



(fonte: RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 15)

Figura 5 – Módulo longitudinal igual à largura



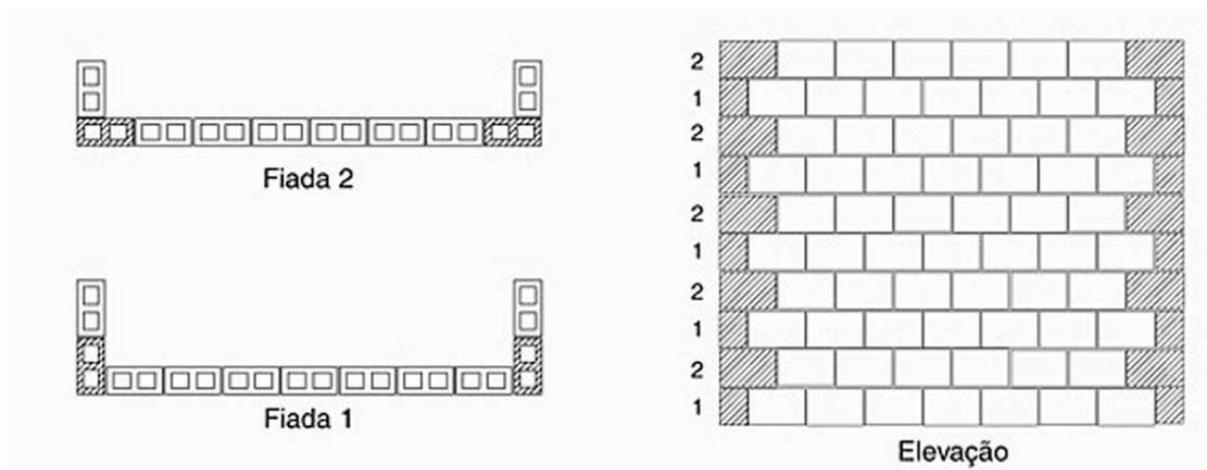
(fonte: RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 15)

3.1.4.1 Modulação Horizontal

A partir da determinação do módulo básico, executa-se o lançamento da primeira fiada. Para as demais fiadas, deve-se evitar ao máximo as juntas a prumo, as quais são zonas preferenciais de patologias futuras. Desta forma, as próximas fiadas são dispostas de maneira a se produzir o melhor travamento entre os blocos, que é obtido se defasando as juntas em uma distância de meia unidade (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 18). A figura 6 demonstra como fica a configuração de uma parede que segue estes conceitos.

Deve-se ter atenção especial aos cantos, uma vez que são pontos concentradores de tensões, devido à transferência de cargas entre paredes. Entretanto, são facilmente resolvidos quando se adota um módulo igual à largura do bloco, como citado anteriormente.

Figura 6 – Fiadas 1 e 2 e elevação de uma parede sem juntas a prumo



(fonte: RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 18)

3.1.4.2 Modulação Vertical

A modulação vertical apresenta uma tarefa menos complexa e raramente provoca mudanças significativas no projeto arquitetônico. Compreende-se em ajustar o pé direito para que seja múltiplo do módulo vertical adotado, normalmente de 20 cm. Com o auxílio de blocos compensadores, tem-se uma flexibilidade ainda maior à distância piso/teto de uma edificação (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 21).

3.1.5 Aspectos Técnicos e Econômicos

O uso da alvenaria estrutural em edifícios residenciais faz com que a alvenaria, além de ser usada na forma mais elementar, somente como vedação, passe a ter funções estruturais, sustentando as cargas e esforços a que está sujeita a construção. Com isso, pode deixar de existir a necessidade de haver vigas e pilares, tal como ocorre em boa parte dos prédios com estruturas mais convencionais (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9).

Com isso, a alvenaria desempenha uma função simultânea de tanto servir à primária utilidade de vedação bem como a de dar suporte e sustentação ao edifício. Como consequência, é possível obter-se uma interessante economia em comparação às estruturas convencionais. Entretanto, pela sua maior responsabilidade funcional, a alvenaria necessita de um controle mais apurado da resistência do conjunto, de forma a garantir sua estabilidade e segurança da construção. É fácil de perceber que as alvenarias estruturais, mesmo sendo mais econômicas que as estruturas convencionais, por utilizarem mão de obra e materiais de maior qualidade,

têm custo de execução mais elevado comparativamente à alvenaria de vedação (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9).

Ramalho e Corrêa (2003, p. 10-11) citam os principais pontos positivos do sistema:

- a) economia de fôrmas: quando existem, as fôrmas se limitam às necessárias para a concretagem das lajes. São, portanto, fôrmas lisas, baratas e de grande reaproveitamento;
- b) redução significativa dos revestimentos: por se utilizar blocos de qualidade controlada e pelo controle maior na execução, a redução de revestimentos é muito significativa. Usualmente o revestimento interno é feito com uma camada de gesso aplicada diretamente sobre a superfície dos blocos. No caso dos azulejos, eles também podem ser colados diretamente sobre os blocos;
- c) redução nos desperdícios de material e mão de obra: o fato de as paredes não admitirem intervenções posteriores significativas, como rasgos ou aberturas para a colocação de instalações hidráulicas e elétricas, é uma importante causa da eliminação dos desperdícios. Assim, o que poderia ser encarado como uma desvantagem, na verdade implica a virtual eliminação da possibilidade de improvisações, que encarecem significativamente o preço de uma construção;
- d) redução do número de especialidades: deixam de ser necessários profissionais como armadores e carpinteiros;
- e) flexibilidade no ritmo de execução da obra: se as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra estará desvinculado do tempo de cura que deve ser respeitado no caso das peças de concreto armado.

3.2 ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO

Primeiramente, é apresentado um breve histórico com relação ao sistema construtivo e, posteriormente, a exposição das características do mesmo. Dentro desta perspectiva, são apontados também os principais nomes que ajudaram a desenvolver esta técnica, quais estruturas foram pioneiras no Brasil e as principais vantagens que as consagraram.

3.2.1 Aspectos Históricos

O concreto armado surgiu na França, em meados do século XIX, tendo como seu primeiro objeto registrado o barco de Lambot. Segundo historiadores, esse barco foi construído em 1849, apesar de somente ser apresentado oficialmente em 1855 na exposição de Paris. Entretanto, sua invenção é geralmente atribuída a Joseph Monier, um horticultor que produzia vasos armados com arames, que teve a perspicácia de patentear seus produtos. É interessante frisar que tanto o barco de Lambot como os vasos de Monier utilizavam argamassa armada ao

invés de concreto (sem agregado graúdo), cuja aplicação mais ampla é relativamente recente. A partir de suas patentes, desencadeou-se um estudo mais aprofundado do concreto armado que, com a colaboração de outros nomes ilustres, tornou-se o principal sistema construtivo atualmente (SANTOS, 1983, p. 2-5).

A sua origem no Brasil foi dada por uma modesta ponte, com 9 m de vão, executada no Rio de Janeiro em 1908. No entanto, daí para frente seu progresso foi rápido, proporcionando estruturas de importância mundial como o edifício A Noite. Seus 22 pavimentos lhe intitulavam o maior edifício em concreto armado do mundo, no ano de 1928 (SANTOS, 1983, p. 46-48).

3.2.2 Composição do Concreto Armado

Para um funcionamento satisfatório, os agregados do concreto precisam ser inertes perante o cimento e, como cita Santos (1983, p. 5), pode-se indicar esquematicamente sua composição:

- a) cimento e água: pasta;
- b) pasta e agregado miúdo: argamassa;
- c) argamassa e agregado graúdo: concreto;
- d) concreto e armadura: concreto armado.

O elemento responsável por absorver a tração é a armadura, sendo o aço o material geralmente empregado para tal função. Este uso universal se deve a diversos fatores imprescindíveis como elevada resistência à tração, boa aderência e um coeficiente de dilatação semelhante ao concreto (SANTOS, 1983, p. 6).

3.2.3 Conceito Estrutural Básico

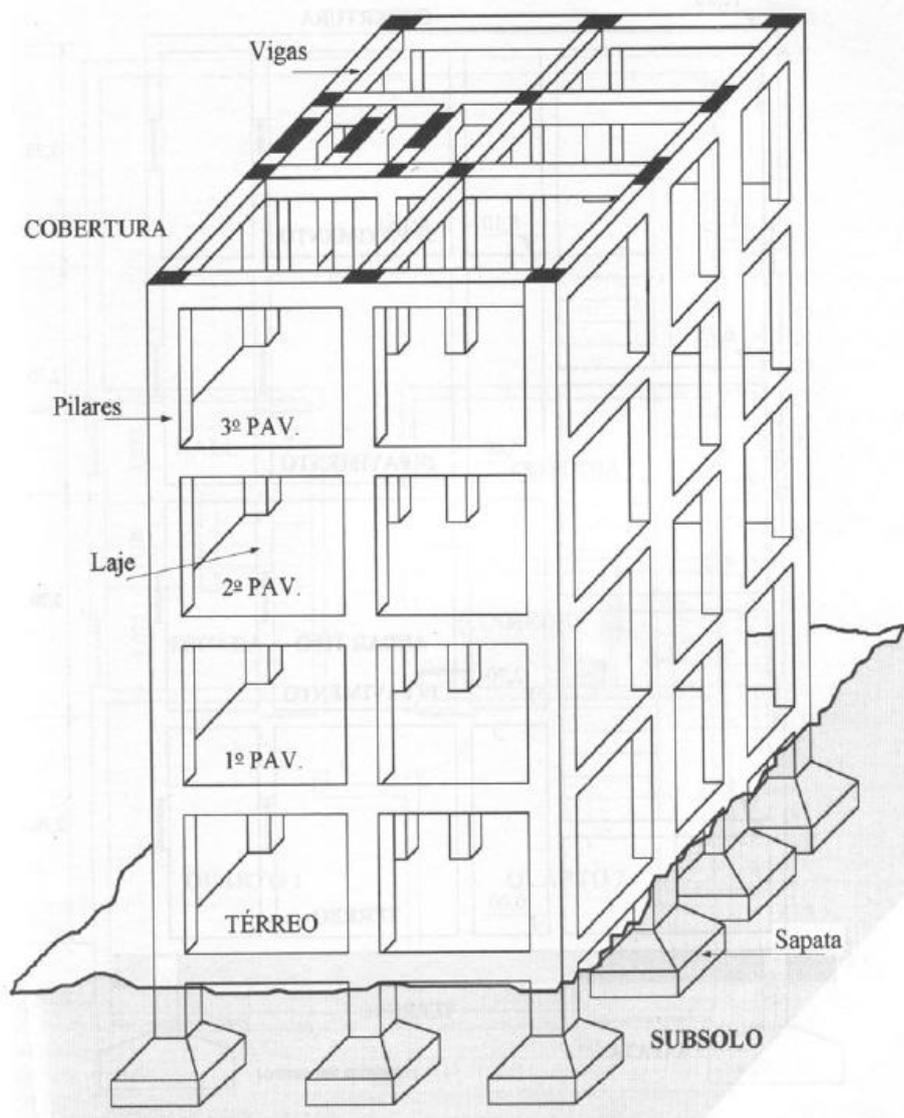
O concreto armado é um material composto, formado por concreto simples e barras de aço corretamente posicionados. Seu desempenho depende de uma perfeita aderência entre as duas partes, pois, caso contrário, as barras, além de enfraquecerem a seção pelos orifícios deixados, não conseguem transmitir sua parcela resistente frente à tração (SANTOS, 1983, p. 6-7). De maneira geral, cada material é responsável por um tipo de esforço. Para o concreto, por ter uma melhor resposta à compressão (cerca de dez vezes maior que à tração), usualmente não é

considerado para absorção de esforços de tração. Entretanto, nas peças essencialmente comprimidas, o aço deve ser utilizado para aumentar a capacidade resistente do elemento.

Devido ao fato de possuir uma boa resposta para ambos os esforços, de tração e compressão, o concreto armado desempenha com eficiência a função estrutural para edificações esbeltas. Conforme se elevam as alturas de um prédio, os momentos pertinentes ao vento se intensificam, originando esforços de tração pela estrutura, os quais são absorvidos pelas barras de aço inclusas no concreto.

Em edificações convencionais, sejam elas de pequeno ou grande porte, três elementos básicos compõem sua estrutura: lajes, vigas e pilares. Segundo a NBR 6118, as vigas são elementos lineares dispostos na horizontal, aonde o esforço mais usual é o de flexão. Os pilares são elementos lineares de eixo reto, dispostos na vertical, recebendo preponderantemente esforços de compressão. Por último, a laje é um elemento estrutural laminar sujeito a ações normais e, na maioria dos casos, já constitui o próprio piso da edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 74-75). A figura 7 exemplifica como fica a configuração de uma estrutura aporticada quando se unem os elementos que a compõe.

Figura 7 – Perspectiva da estrutura em concreto armado



(fonte: BOTELLO; MARCHETTI, 2002, p. 17)

3.2.4 Aspectos Técnicos e Econômicos

A união dos elementos citados no item anterior (vigas, pilares e lajes) origina um pórtico de concreto armado, o qual, com adição da alvenaria de vedação, correspondem a praticamente todo o sistema construtivo. Em virtude da sua fácil execução e grande flexibilidade (viável para diversas estruturas), o método possui grande aceitação pelo mundo, não sendo complicado encontrar mão de obra experiente.

Este êxito do sistema construtivo se deve a algumas características intrínsecas ao concreto armado, como cita Santos (1983, p. 10-11):

- a) economia de construção: muitas vezes, a pedra e a areia são obtidas no próprio local da obra, com custos mínimos, e ainda sem despesa considerável de transporte; é o caso do concreto massa das barragens de gravidade, em geral. Entre nós, que ainda produzimos aço a preços elevados e continuamos sem tradição em edificações e pontes metálicas, a vantagem econômica é sensível e explica a difusão das estruturas de concreto armado;
- b) economia de conservação: esta é uma vantagem praticamente absoluta. Desde que convenientemente executada, a estrutura de concreto armado não necessita de manutenção; através do cobrimento, o próprio concreto protege as barras de aço. Enquanto isso, as estruturas de madeira exigem cuidados especiais, devido a facilidade de deterioração e as de aço estão sujeitas a oxidação, requerendo periódicas pinturas anti corrosivas, de custo nada desprezível;
- c) facilidade e rapidez de execução: vantagem relativa, variável de um país para o outro, em função principalmente do treinamento da mão de obra;
- d) possibilidade de realizar todas as formas criadas pela Arquitetura, adaptando-se a uma grande variedade de tipos de estruturas. Ainda aqui a relatividade: a torre Eiffel, obra prima arquitetônica, é uma estrutura metálica. Há vários outros exemplos; o Palácio de Cristal foi um deles;
- e) durabilidade: a resistência do concreto aumenta com o endurecimento, ao longo do tempo;
- f) segurança contra o fogo [...];
- g) impermeabilidade: em boas condições de consistência plástica de adensamento, o concreto é pouco permeável à água;
- h) monolitismo: a disposição das armaduras e a concretagem são de modo a fazer com que a estrutura forme um monolítico, isto é, todo o conjunto trabalha quando uma das peças é solicitada isoladamente;
- i) eventual aproveitamento do material como elemento estético ou decorativo, em fachadas de interiores, com economia de revestimento e pintura. É o concreto aparente, de larga aceitação na arquitetura moderna, a exigir, em contrapartida, cuidados maiores de cobrimentos e espessura mínimas, inclusive para garantir segurança contra fogo;
- j) resistência a choques e vibrações: os problemas de fadiga são menores nas estruturas de concreto armado.

É preciso compreender que uma determinada vantagem sempre tem caráter relativo, dependendo da referência. No momento que é dito que o concreto armado é mais econômico, por exemplo, tal sentença pode ser falsa em relação a alvenaria estrutural e verdadeira para estruturas de aço.

3.3 A ESCOLHA DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO

A correta determinação de um sistema construtivo deve ser resultado de um exame minucioso de fatores econômicos envolvidos, e não apenas consequência de uma preferência pré-concebida. Ainda que dois ou mais métodos pareçam se adequar a um determinado empreendimento, geralmente um deles é mais econômico (ELLWANGER, 2002, p. 7).

Além dos preços de execução, é preciso levar em consideração o custo intrínseco à mudança da filosofia construtiva. Empresas pioneiras na implantação de sistemas construtivos sofrem com escassez de mão de obra qualificada, exigindo treinamento de seus operários. Caso não haja um volume significativo de empreendimentos, o encarecimento gerado pelo treinamento inviabiliza a aplicação do método. O quadro 1 apresenta um resumo comparativo das particularidades de cada sistema citado.

Quadro 1 – Resumo comparativo entre os sistemas construtivos

SISTEMAS	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO
VANTAGENS	Economia de fôrmas Redução de revestimentos Redução de desperdícios Elevada produtividade	Realiza todas as formas da arquitetura Permite grande vãos e alturas Disponibilidade de mão de obra experiente
DESVANTAGENS	Dificuldade de se adaptar a arquitetura Interferência entre projetos Necessidade de uma mão de obra bem qualificada Impossibilidade de efetuar mudanças futuras na arquitetura	Peso próprio elevado Transmissão de calor Elevada utilização de fôrmas e aço
EMPREGO NO BRASIL	Normalmente limitada a habitações populares	Grande flexibilidade, aceitação em todo o país

(fonte: elaborada pelo autor)

4 CARACTERÍSTICAS DE EDIFICAÇÕES ESBELTAS

Com o processo de urbanização e a concentração da população nos grandes aglomerados metropolitanos, os espaços se tornaram mais onerosos, exigindo uma verticalização das residências. Em virtude de tal perspectiva, exigiu-se um aperfeiçoamento na arte de construir a fim de se resolver dificuldades não enfrentadas por edificações menores. Assim, neste capítulo é efetuada uma descrição das peculiaridades que as edificações apresentam conforme seu índice de esbeltez cresce. Fatores, como os efeitos de segunda ordem, tornam-se mais relevantes exigindo considerações específicas na hora de projetar. Com relação ao funcionamento estrutural de uma edificação, Ellwanger (2002, p. 11) cita que:

A estrutura de um edifício consiste em planos verticais, como as paredes e/ou os pórticos, e planos horizontais que são as estruturas dos pavimentos. As cargas gravitacionais e laterais são transmitidas dos pavimentos para os planos verticais e destes para a base. A intensidade, direção e forma de atuação do fluxo de esforços dependem da geometria dos planos verticais e da disposição dos mesmos dentro do volume do edifício.

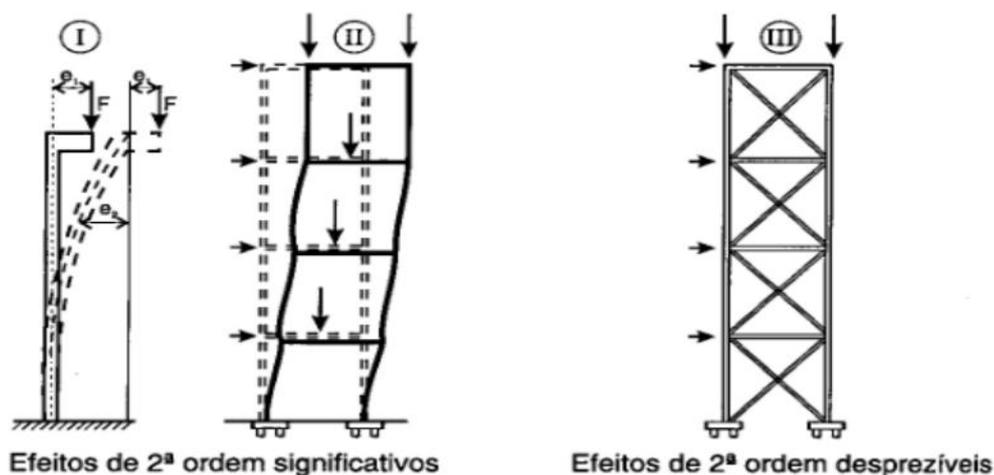
4.1 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ESBELTOS

Normalmente, edificações de pequeno porte são projetadas, inicialmente, em função das cargas gravitacionais e, somente então, verificadas em função da sua resistência às cargas laterais. Entretanto, à medida que se aumenta o grau de esbeltez destes edifícios, a importância dos esforços de segunda ordem cresce mais que proporcionalmente. A partir de certa altura, o movimento lateral da edificação torna-se de tamanha magnitude que a resistência em si do material passa a ser uma questão secundária frente à necessidade de uma rigidez maior na estrutura como um todo. Este grau de rigidez depende principalmente de dois fatores: o tipo de sistema estrutural aplicado e a quantidade de materiais utilizados para sua concepção. Assim, a estrutura que conseguir atingir a melhor relação entre máxima rigidez e peso mínimo é considerada a mais eficiente. Isto resulta na concepção de sistemas estruturais inovadores aplicáveis a certas faixas de altura (ELLWANGER, 2002, p. 31).

A NBR 6118 determina que os efeitos de segunda ordem sempre devam ser levados em consideração quando representarem um acréscimo maior que 10% nas solicitações e reações relevantes da estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p.

89). A figura 8 ilustra como os efeitos de segunda ordem podem afetar a estabilidade global de uma estrutura alta, inclusive podendo levar ao colapso global da construção.

Figura 8 – Efeitos globais de segunda ordem



(fonte: FUSCO, 1995, p. 366)

Na figura 8(I), percebe-se o acréscimo dos momentos fletores de segunda ordem $F e_2$ em relação aos momentos de primeira ordem $F e_1$. A ilustração 8(II) representa os efeitos significativos que esta ação em conjunto pode fazer na estrutura de uma edificação esbelta. Finalmente, em 8(III), tem-se o que seria uma estrutura com elementos estruturais de grande rigidez, capaz de suportar tais esforços (FUSCO, 1995, p. 366).

Como citado anteriormente, foram concebidas novas soluções a fim de superar estes efeitos de segunda ordem. Alguns fatores são responsáveis pelo desenvolvimento destes novos sistemas, como cita Ellwanger (2002, p. 31):

- materiais estruturais de alta resistência, como concretos com f_{ck} superior a 80 MPa e aços de baixa liga com alta resistência; resistência à compressão superior a 250 MPa tem sido obtidas com o RPC (*Reactive Powder Concrete*);
- atuação conjunta de materiais diferentes em um mesmo elemento estrutural (materiais compostos), como colunas tubulares de aço preenchidas com concreto e painéis formados por duas placas de aço com preenchimento de concreto;
- novas técnicas de ligação (por solda e parafusos);
- utilização do computador, possibilitando a descrição do comportamento de estruturas complexas;
- emprego de materiais de construção mais leves;

f) novas técnicas construtivas.

A geometria dos pavimentos também influencia o comportamento das edificações. As estruturas dos andares formam planos rígidos que fortalecem e unem as subestruturas verticais fazendo com que o prédio se comporte de forma coesa. A determinação destas estruturas é de suma importância, pois são responsáveis pela transmissão das cargas de cada pavimento aos pilares. Além disso, quando a edificação está submetida ao carregamento do vento, é o correto dimensionamento das mesmas que corresponde em uma boa transmissão das cargas pelas redes estruturais (ELLWANGER, 2002, p. 71). Ellwanger (2002, p. 80-81) acrescenta que:

A estrutura de um pavimento não somente distribui as cargas gravitacionais para as colunas ou paredes, como também atua como diafragma com respeito às forças laterais. Ela pode ser encarada como uma viga de grande largura em flexão lateral (por exemplo, uma placa rígida), transmitindo as cargas transversais para o sistema de pórticos e/ou paredes resistentes. Os sistemas monolíticos são quase sempre dotados de uma rigidez tal que o funcionamento como diafragma fica garantido. Existem casos, porém, em que a rigidez do diafragma necessita ser aumentada pela adição de alguma forma de contraventamento horizontal, especialmente em sistemas de vigas simplesmente apoiadas e de grande espaçamento, utilizando elementos de aço ou de concreto pré-fabricado.

A rigidez da estrutura de um edifício varia inversamente com a relação altura/largura e diretamente com a rigidez dos elementos que a compõe. Assim, o projetista tem que escolher um sistema construtivo que possa conter as deformações e absorver os esforços com a melhor relação entre economia e segurança.

4.2 LIMITE DE ESBELTEZ NA ALVENARIA ESTRUTURAL

Edificações em alvenaria estrutural são consideradas de pequeno a médio porte, sendo seus limites normalmente compreendidos entre 15 e 16 pavimentos. À medida que uma estrutura se aproxima destes limites, algumas carências estruturais começam a interferir no sistema construtivo. O primeiro impasse é a própria unidade que compõe a alvenaria. Uma edificação muito alta significa maior peso, exigindo paredes com blocos mais resistentes nos primeiros andares, sendo estes limitados pela disponibilidade do mercado. Além disso, mesmo que se produzissem blocos adequados aos esforços exigidos, as ações horizontais produziriam esforços de tração significativos, tornando necessária uma atitude que vai contra a visão econômica e ágil do sistema construtivo, um grauteamento generalizado (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 10).

Entretanto, há algumas divergências entre os profissionais da área sobre estes limites de viabilidade. Segundo Tamaki¹ (2010):

Pessoalmente, eu recomendo a construção de edifícios de até 25 pavimentos. Porque, acima disso, são necessários blocos com resistência acima de 25Mpa. Eles são mais caros, e sua produção é mais demorada, pois é necessário mais tempo de compactação e vibração, e isso torna os primeiros pavimentos muito caros.

No caso de edifícios altos, além dos blocos especiais, seria necessário armar muito mais as paredes para resistir ao esforço horizontal de ventos. Dizemos que acima de 12 pavimentos e até 25 recomenda-se a solução estrutural em alvenaria estrutural armada; de 25 a 60, concreto armado; e de 50 ou 60 para cima, estrutura metálica.

Ainda é colocado por Tamaki (2010) uma relação de como se comporta os custos das edificações em função de sua altura:

Sabemos que um edifício de quatro pavimentos obtém uma economia de 30% em relação ao sistema convencional. Conforme se aumenta o número de andares, essa economia diminui. Com 20 andares, ela é de 10%. O prédio mais alto que eu conheço é o Hotel Excalibur, em Las Vegas (EUA), construído em 1990, com 30 andares.

As restrições, independentemente do limite estabelecido, são as mesmas. Blocos mais resistentes são mais caros e o processo de grauteamento tira a agilidade do sistema. Todavia, empregando-se uma resistência de acordo com a faixa de andar executada, obtém-se uma alternativa mais econômica. Em outras palavras, a resistência e a rigidez das paredes varia conforme a exigência de cada pavimento. Tal solução amplia a viabilidade do método, tornando-se necessário um rigoroso controle no canteiro. A probabilidade de um funcionário utilizar um bloco errado aumenta muito, pois, apesar de suportarem cargas diferentes, são muito semelhantes esteticamente. Ficando a critério do projetista a escolha entre uma maior segurança, aonde todas as unidades possuem a mesma resistência, ou uma melhor resposta econômica, exigindo-se maior controle na execução do empreendimento.

¹ O autor entrevista Carlos Alberto Tauil, autor do livro Projeto Alvenaria Estrutural aqui citado ao longo do trabalho como (TAUIL; NESE, 2010).

5 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO, GERAÇÃO DOS MODELOS COMPUTACIONAIS

Nesta seção é apresentado o empreendimento existente, que serve de base para o estudo comparativo entre os dois sistemas construtivos previamente citadas. Além disso, são modeladas ambas as edificações no *software* TQS, a fim de obter o quantitativo de materiais pertinentes a cada uma.

5.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento escolhido para o estudo comparativo é constituído por um bloco de 13 pavimentos, 2 elevadores, com 6 apartamentos por andar. Considerada uma edificação de alto padrão, seus apartamentos possuem opções tanto em 2 como em 3 dormitórios. A figura 9 ilustra a perspectiva da fachada e as figuras 10 e 11 a implantação e a planta baixa de uma das abas do pavimento tipo (trabalho não publicado)².

Figura 9 – Fachada do empreendimento existente



(fonte: trabalho não publicado)³

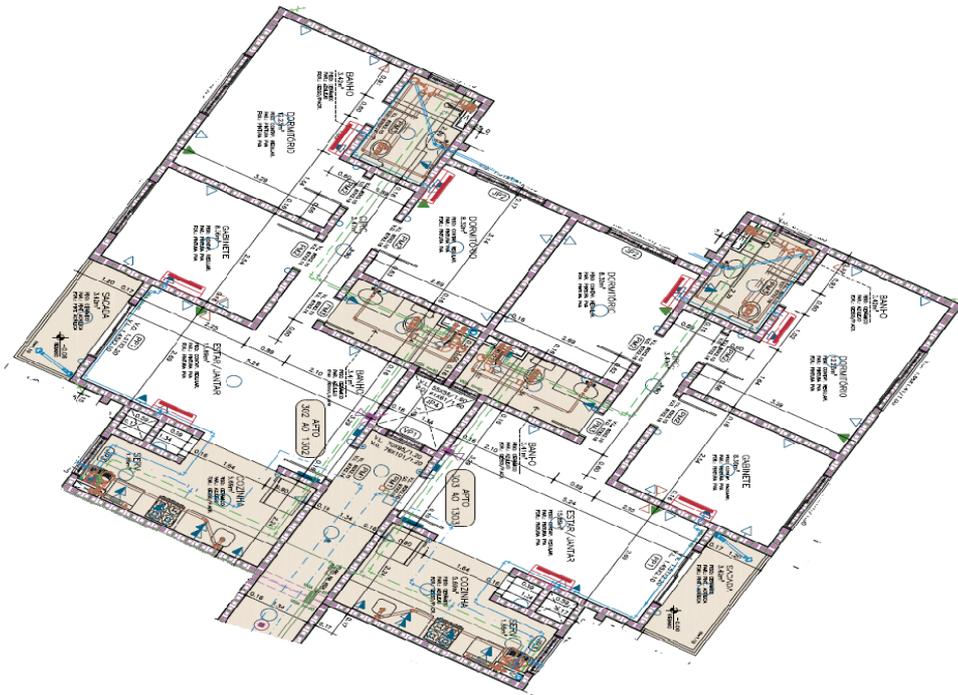
² Informações obtidas no site da Nexgroup. Acesso em: <<http://www.nexgroup.com.br/imoveis/68/stellatocanoas-rio-grande-do-sul>>. Acesso em 15 out. 2012.

³ idem

Figura 10 – Implantação do empreendimento

(fonte: trabalho não publicado)⁴

Figura 11 – Pavimento tipo

(fonte: trabalho não publicado)⁵

⁴ Informações obtidas através projeto do empreendimento Stellato, Canoas/RS. Projeto concebido pela Simon Engenharia em 2010..

⁵ idem

5.2 GERAÇÃO DOS MODELOS COMPUTACIONAIS

A seguir, é apresentada a geração dos modelos computacionais para ambos os sistemas construtivos, tomando como base a geometria do pavimento tipo da edificação existente. Esta elaboração foi desenvolvida através dos *softwares* TQS Alvest, para estrutura em alvenaria estrutural, e TQS Pleno, para a estrutura aporticada em concreto armado.

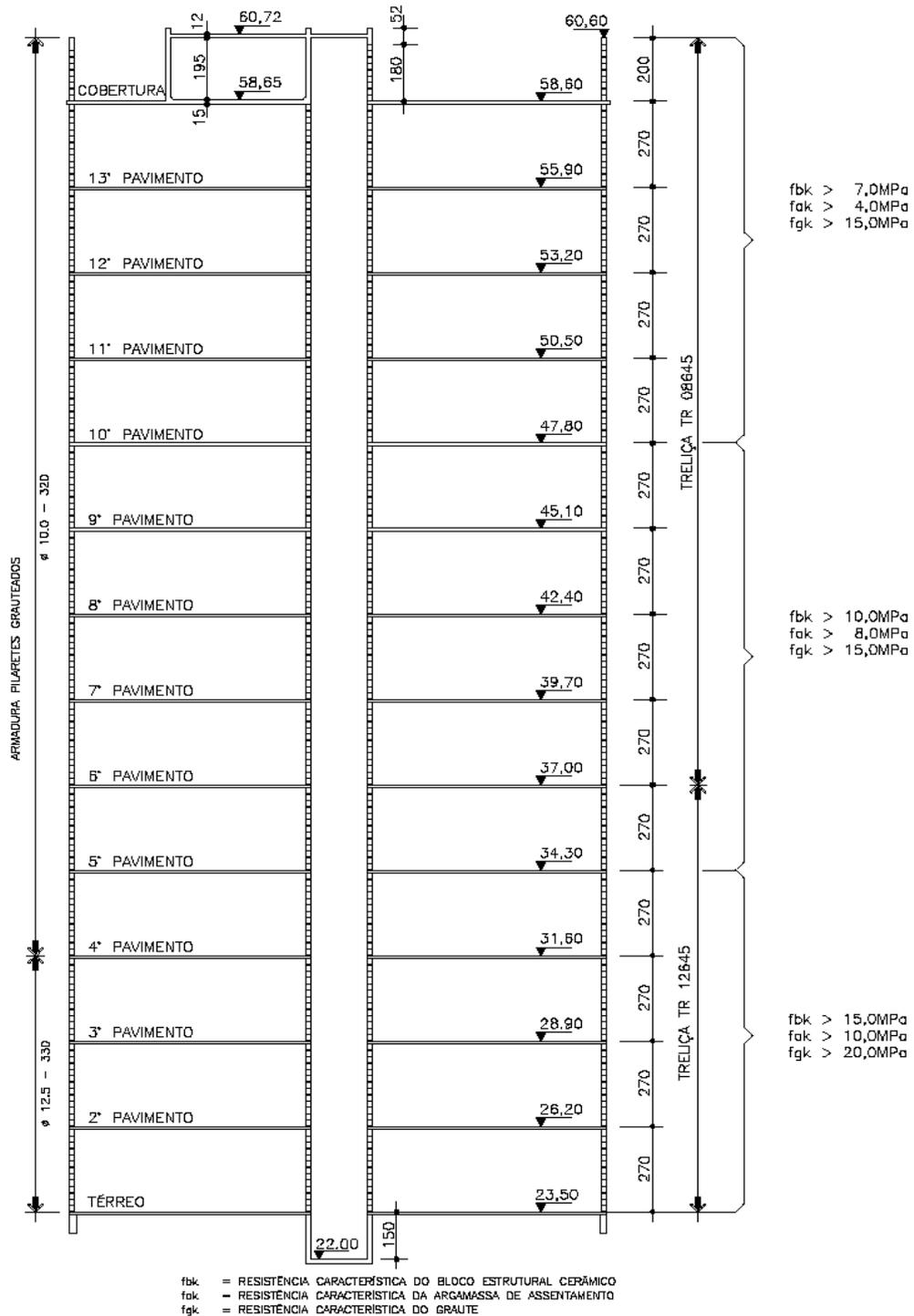
5.2.1 Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural

O empreendimento adotado como referência para o estudo é efetivamente construído em alvenaria estrutural. Entretanto, foi desenvolvido um modelo para esta técnica construtiva a fim de executar uma comparativa entre duas estruturas teóricas, evitando as diferenças existentes entre o *software* e a prática.

A edificação teórica é composta por 13 pavimentos tipos, os quais foram executados a partir da planta baixa do prédio existente. A estrutura é dividida em grupos de pavimentos tipo, nos quais se modificam as resistências dos materiais empregados a fim de racionalizar o aproveitamento dos mesmos. A construtora cedeu um croqui esquemático, ilustrado na figura 12, que apresenta como funciona esta oscilação das características dos materiais, representando os blocos, argamassa, graute, vergalhões verticais e treliças horizontais. Em seguida, associando estas informações com o pé direito dos pavimentos, definiu-se as particularidades verticais da estrutura, conforme a figura 13. Se tratando do TQS Alvest, são necessárias determinações adicionais nesta etapa do projeto, como, por exemplo, a definição da família dos blocos e o seu número de fiadas, exposto na figura 14.

Feito isso, iniciou-se a fase de modelação horizontal da estrutura. Começando pela importação do projeto executivo do pavimento tipo, também cedido pela construtora, determinou-se a localização dos blocos e, por consequência, a geometria do andar dentro do programa. Concluída a etapa de identificação e modulação das paredes, definiram-se as cercas de subestrutura para as cargas verticais e horizontais, ou seja, qual parcela das paredes resiste a cada tipo de esforço.

Figura 12 – Croqui esquemático

(fonte: trabalho não publicado)⁶

⁶ Informações obtidas através projeto do empreendimento Stellato, Canoas/RS. Projeto concebido pela Simon Engenharia em 2010.

Figura 13 – Definições dos dados verticais

Dados do edifício: Projeto TCC - 0001

Gerais | Pavimentos | Cargas | Alvenaria

Identificação

Título do edifício: TCC ALVENARIA ESTRUTURAL

Título do cliente:

Número do projeto: 1 Prefixo de plantas:

Norma em uso: NBR-10837

Descrição do projeto:

Tipo de estrutura

Concreto Armado/Protendido

Alvenaria Estrutural

Avançado...

Criado por: SUPERINTENDENCIA DE INFRA-ESTRUTURA

Criado em: 12/04/2012 17:00:24

Modificado em: 16/11/2012 05:10:26

CAD/TQS V15.5.10

Este título identificará todos os processamentos globais

Atualizar Dwg Salvar Dwg

Duplicar Renomear

Pronto

Ok Cancelar

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 14 – Definição da família dos blocos

Projeto TCC - 0001 - CAD/Alvest - Edição de critérios de desenho

Fabricantes | Critérios gerais | Juntas | Paredes (Elevações) | Armaduras / Grautes

Informações

Os fabricantes selecionados aqui são os fabricantes dos blocos que serão inseridos no desenho de alvenaria em planta. A remoção de um fabricante que esteja sendo usado provocará erros no processamento.

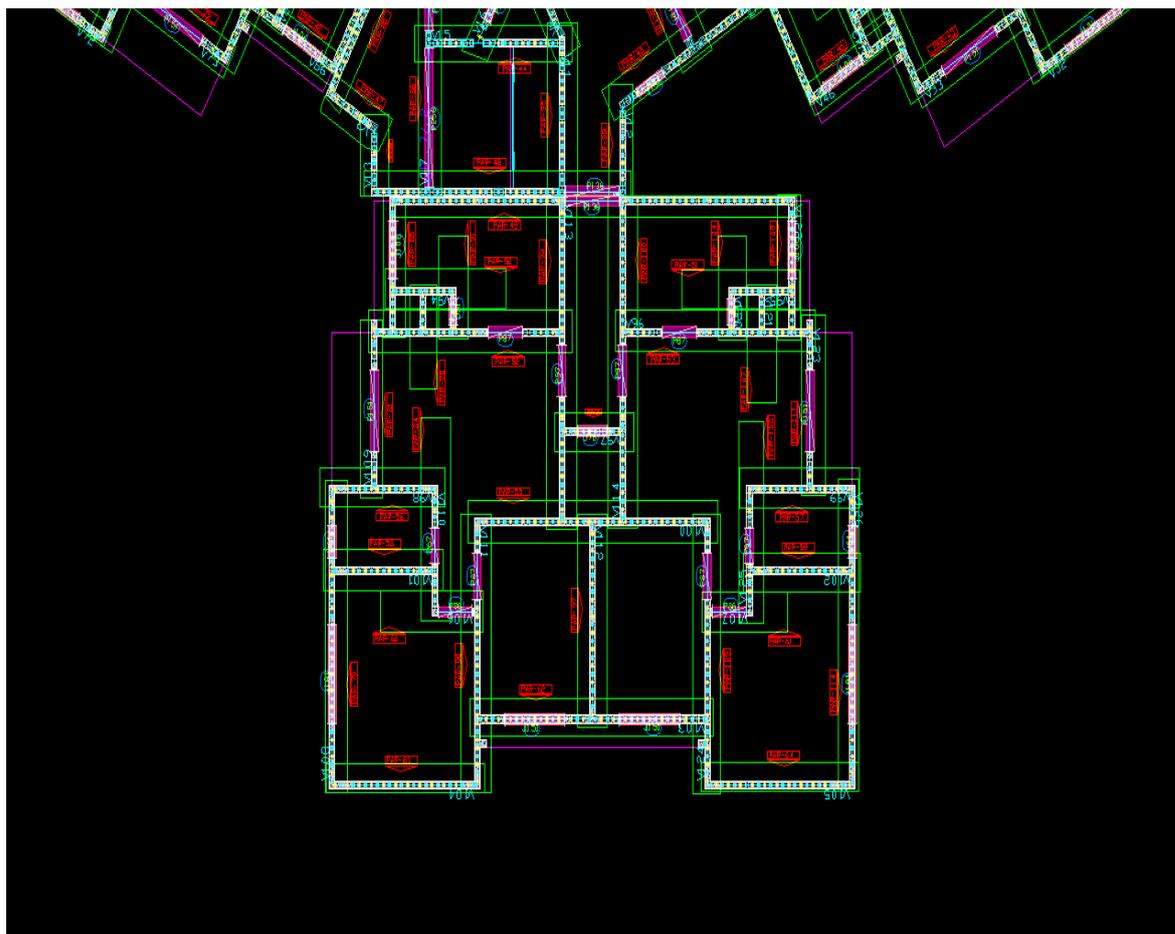
Você pode definir até três fabricantes diferentes para um projeto / planta. Somente o primeiro fabricante será considerado para o cálculo de alvenaria estrutural.

Nº	Fabricante
1	CERAMICO2 Blocos cerâmicos, modulações 30/15 cm
	CONCRETO Blocos de concreto, modulações 40/15 e 40/20 cm
	CONCRE30 Blocos de concreto, modulação 30/15 cm
	CERAMICO Blocos cerâmicos, modulações 30/15, 40/15 e 40 cm
	CERAMIC1 Blocos cerâmicos, modulações 40/20 cm
	CERAMIC2 Blocos cerâmicos, modulações 30/15 cm
	SIL_CAL1 Blocos sílico-calcários, modulações 25/12, 25/15 e 25/18 cm
	SIL_CAL2 Blocos sílico-calcários, modulações 40/10, 40/15 e 40/20 cm

(fonte: elaborada pelo autor)

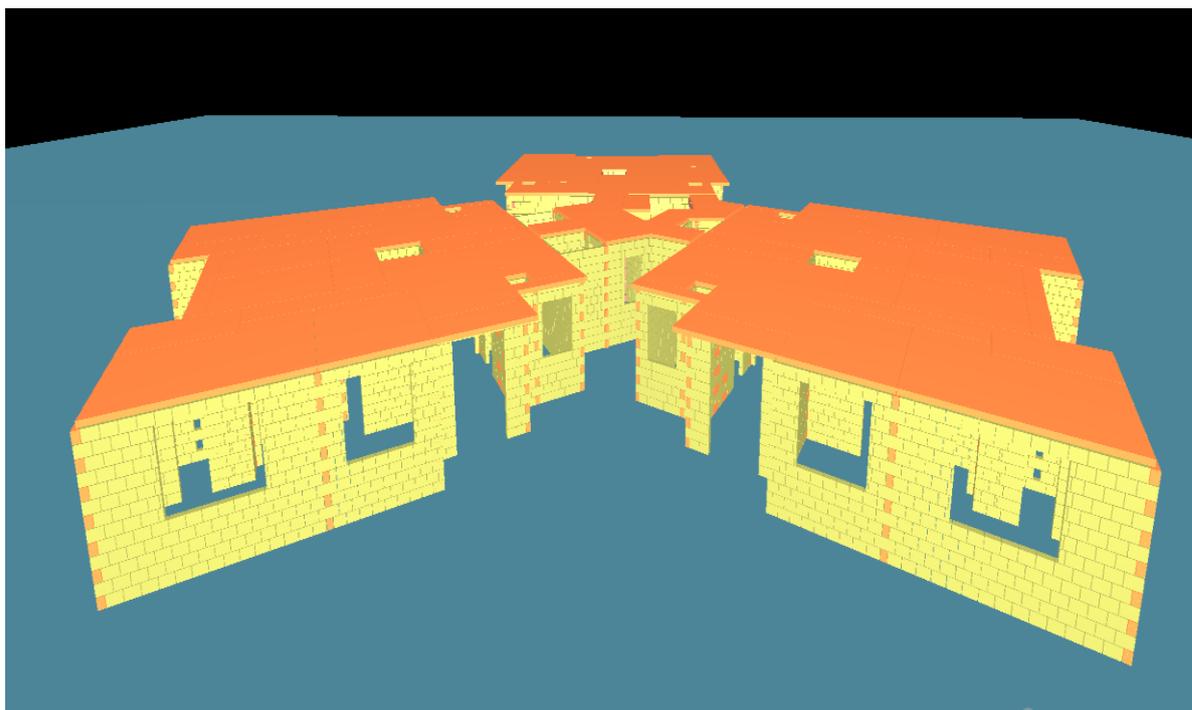
Com a associação destes dois parâmetros, foi possível criar um modelo com dimensões semelhantes à edificação original. Servindo como base para o quantitativo de blocos, volume de argamassa, volume de graute e o comprimento de aço para cada pavimento tipo. A figura 15 ilustra a determinação das paredes estruturais para um pavimento tipo em alvenaria estrutural e a figura 16 a visualização tridimensional do mesmo.

Figura 15 – Modelo estrutural pavimento tipo



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 16 – Visualização tridimensional



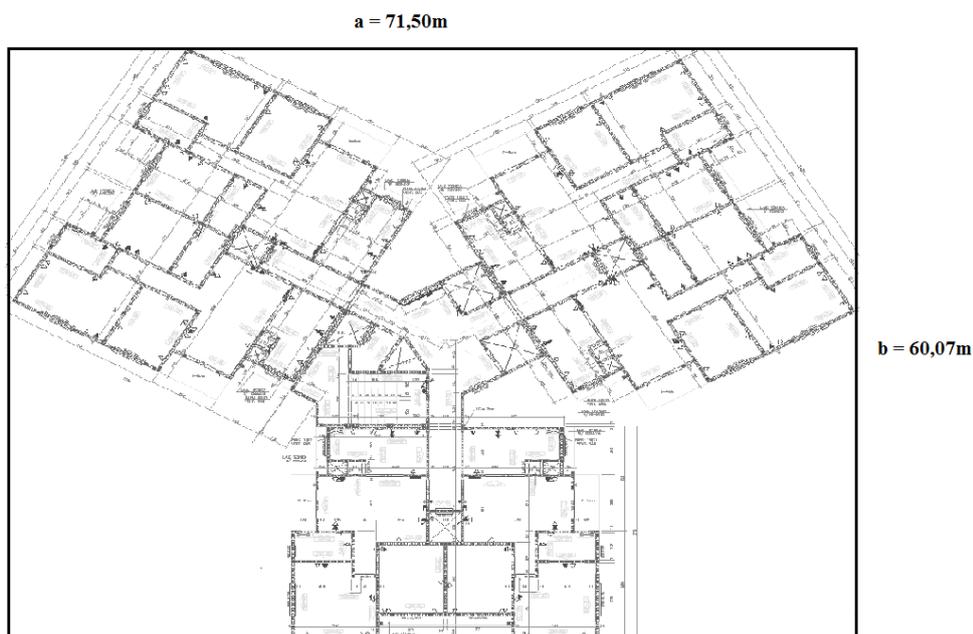
(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.2 Sistema Construtivo em Estrutura Aporticada de Concreto Armado com Alvenaria de Vedação

No caso do modelo utilizando uma estrutura aporticada de concreto armado duas condições de contorno coordenaram sua execução, a geometria em planta baixa do pavimento tipo e o corte da edificação. Este também foi desenvolvido no *software* TQS, seguindo as diretrizes da NBR 6118/2007 a fim de ter resultados coerentes e satisfatórios.

Primeiramente, definiram-se as características verticais da edificação. Com o intuito de se buscar as mesmas dimensões do modelo em alvenaria estrutural, admitindo-se um pé direito de 2,70m para 13 pavimentos tipo, aonde o f_{ck} do concreto adotado foi de 30 MPa. Por não se tratar de uma edificação com projeção de planta baixa retangular, considerou-se uma geometria diferente para determinar a carga horizontal pertinente ao vento. Sua projeção de planta baixa foi assumida, apenas para critério de cálculo, como a menor estrutura retangular que envolve o prédio estudado. A figura 17 exemplifica tal medida.

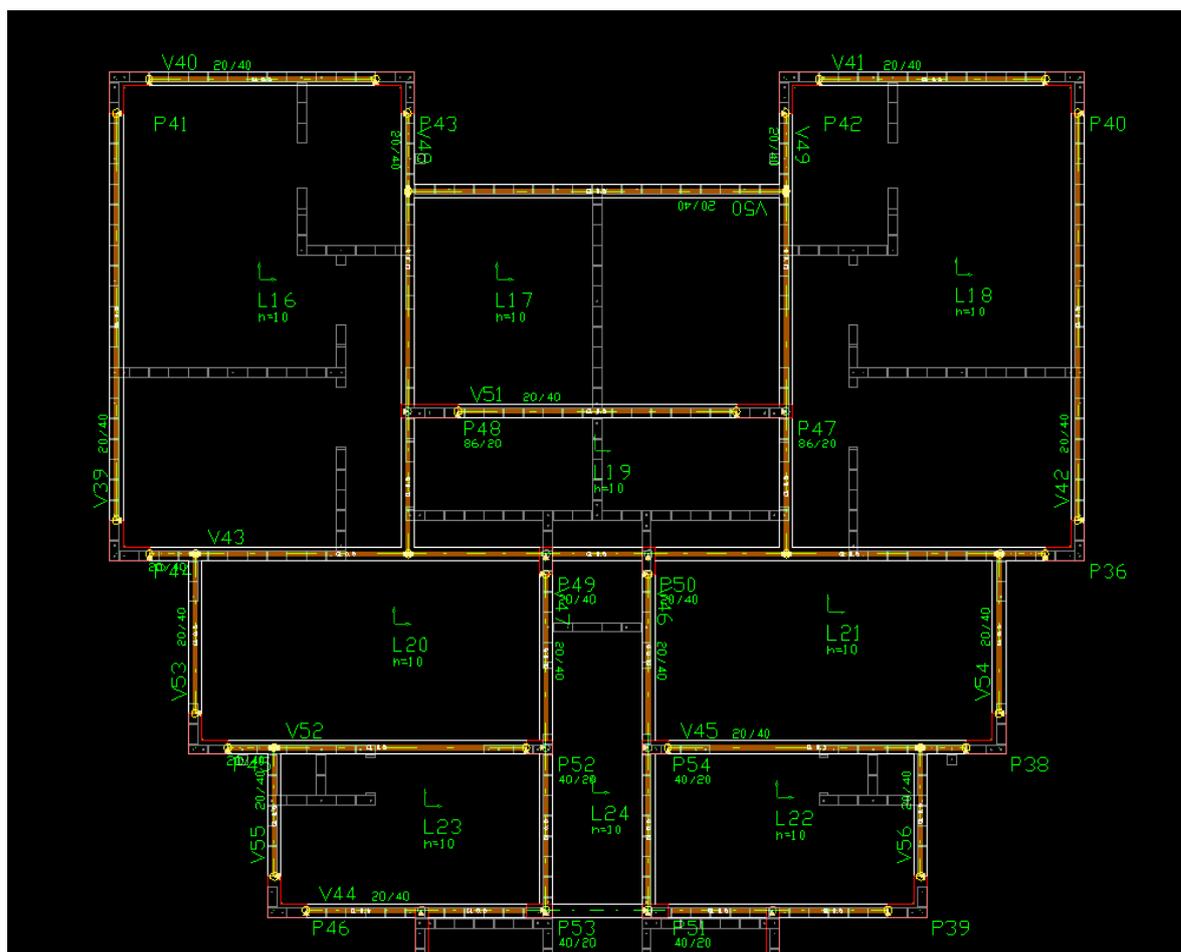
Figura 17 – Geometria adotada para os efeitos do vento



(fonte: elaborada pelo autor)

As medidas deste retângulo, em conjunto com a dimensão vertical da edificação, foram utilizadas para se aproximar os esforços do vento. Em seguida, determinaram-se as características horizontais da estrutura. Após a inserção do projeto executivo em alvenaria estrutural no programa, definiram-se os pilares e vigas da estrutura utilizando as dimensões do projeto original como parâmetro chave. Entretanto, no caso dos pilares, sua dimensão mínima ultrapassou a da parede quando executada em alvenaria estrutural. Por se tratar de uma análise econômica, tal medida foi adotada a fim de se evitar os coeficientes de majoração recomendados pela NBR 6118/2007, que provocariam distorções significativas no custo da edificação. Por consequência, a dimensão mínima dos pilares adotada foi 20 cm, ultrapassando em 6 cm a medida original do bloco estrutural. Em seguida, determinaram-se as cargas pertinentes à alvenaria de vedação e a carga da laje. A figura 18 ilustra o lançamento da estrutura de concreto sobre o projeto original em alvenaria estrutural.

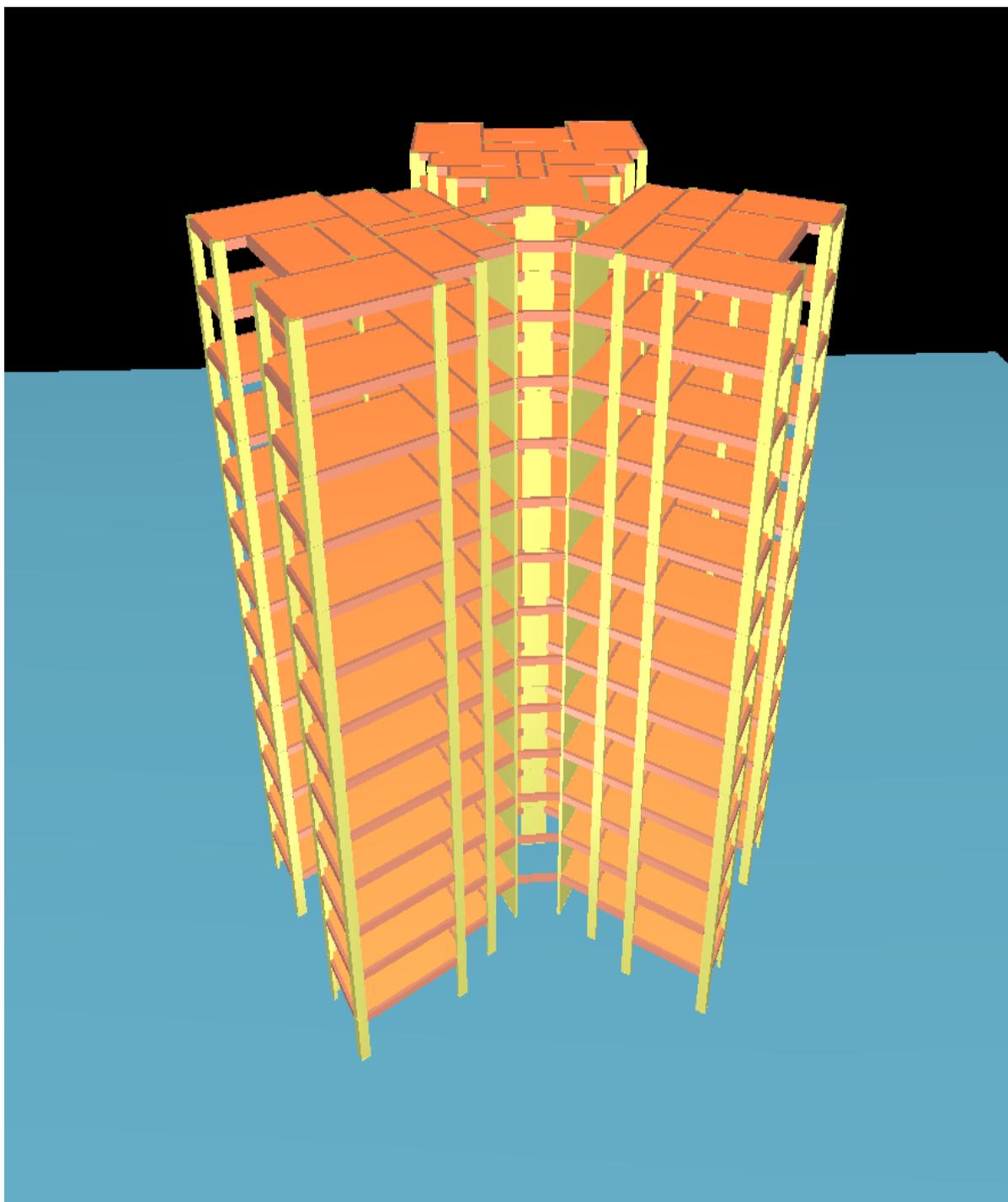
Figura 18 – Modelo estrutural pavimento tipo concreto armado



(fonte: elaborada pelo autor)

As dimensões externas foram rigorosamente mantidas, porém, no caso das paredes internas, foi necessário adotar uma aproximação devido ao livre posicionamento das mesmas. Após a definição do sistema estrutural de todos os pavimentos tipo, obteve-se um modelo computacional da edificação teórica em estrutura aporticada de concreto armado. A figura 19 mostra o modelo tridimensional do pórtico.

Figura 19 – Modelo tridimensional concreto armado



(fonte: elaborada pelo autor)

6 QUANTITATIVO DE INSUMOS E CUSTOS DOS SERVIÇOS E ANÁLISE DO RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos levantamentos de insumos e serviços necessários para a execução dos modelos pertinentes a cada sistema construtivo. Associando o quantitativo de cada material com seus respectivos preços, disponíveis na região metropolitana de Porto Alegre, apresenta-se o comparativo de custos.

6.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

O quantitativo dos materiais utilizados para o cálculo do custo da edificação em alvenaria estrutural foi obtido através do *software* em associação aos dados da empresa. Primeiramente, levantaram-se os quantitativos de blocos, obedecendo as diferentes resistências dos materiais para cada grupo de pavimento, conforme as tabelas 1, 2 e 3. Os blocos compensadores e canaletas estão disponíveis apenas na resistência de 7 MPa, sendo utilizados inclusive nos pavimentos aonde a resistência dos outros blocos os superam em 215%. Entretanto, diferentemente dos compensadores que atuam apenas no fechamento dos elementos, os blocos canaletas têm sua função estrutural regida pela associação do graute mais treliça metálica, os quais são posicionados em seu interior.

Tabela 1 – Blocos especificados para os pavimentos de 1 a 4

BLOCOS 1 ao 4					
BLOCO	DIMENSÕES	QUANTIDADE	MPA	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
INTEIRO	14X19X29	12208	15	1,495	18250,96
MEIO	14X19X14	765	15	1,046	800,19
BLOCO E MEIO	14X19X44	985	15	2,5415	2503,3775
COMPENSADOR 9	14X19X9	270	7	0,91	245,7
COMPENSADOR 4	14X19X4	731	7	0,91	665,21
CANALETA	14X19X29	1955	7	1,82	3558,1
TOTAL 1 pavimento		16914			26023,5375
				TOTAL	\$104.094,15

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 2 – Blocos especificados para os pavimentos de 5 a 9

BLOCOS 5 ao 9					
BLOCO	DIMENSÕES	QUANTIDADE	MPA	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
INTEIRO	14X19X29	12208	10	1,43	17457,44
MEIO	14X19X14	765	10	1,001	765,765
BLOCO E MEIO	14X19X44	985	10	2,431	2394,535
COMPENSADOR 9	14X19X9	270	7	0,91	245,7
COMPENSADOR 4	14X19X4	731	7	0,91	665,21
CANALETA	14X19X29	1955	7	1,82	3558,1
TOTAL 1 pavimento		16914			25086,75
				TOTAL	\$125.433,75

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 3 – Blocos especificados para os pavimentos de 10 a 13

BLOCOS 10 ao 13					
BLOCO	DIMENSÕES	QUANTIDADE	MPA	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
INTEIRO	14X19X29	12208	7	1,3	15870,4
MEIO	14X19X14	765	7	0,91	696,15
BLOCO E MEIO	14X19X44	985	7	2,21	2176,85
COMPENSADOR 9	14X19X9	270	7	0,91	245,7
COMPENSADOR 4	14X19X4	731	7	0,91	665,21
CANALETA	14X19X29	1955	7	1,82	3558,1
TOTAL 1 pavimento		16914			23212,41
				TOTAL	\$92.849,64

(fonte: elaborado pelo autor)

Quanto ao consumo de graute, a construtora o produzia in loco para diminuir os custos. Com auxílio de caixas, a dosagem era feita por volume, controlando-se o abatimento antes e depois da aplicação do aditivo. Seu custo era ordenado pelo número de sacos de cimento utilizados para cada traço. Diferentemente dos blocos, foi considerado apenas duas resistências para o graute, 15 MPa e 20 MPa, atendendo ao croqui esquemático. O seu consumo, considerando pilaretes e canaletas (cintas de amarração e vergas), é dado pelas tabelas 4 e 5.

Tabela 4– Graute especificado para os pavimentos de 1 a 4

GRAUTE 1 ao 4					
LOCAL DE APLICAÇÃO	QUANTIDADE (1pav)	GRAUTE(m ³)	MPA	PREÇO(R\$258,00/m ³)	
CANALETA	1955	10,96755	20	2829,6279	
PILARETE	528	12,8304	20	3310,2432	
TOTAL 1 pavimento		23,79795		6139,8711	
				TOTAL	\$24.559,48

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 5 – Graute especificado para os pavimentos de 5 a 13

GRAUTE 5 ao 13				
LOCAL DE APLICAÇÃO	QUANTIDADE (1pav)	GRAUTE(m ³)	MPA	PREÇO(R\$230,00/m ³)
CANALETA	1955	10,96755	15	2522,5365
PILARETE	528	12,8304	15	2950,992
TOTAL 1 pavimento		23,79795		5473,5285
TOTAL				\$49.261,76

(fonte: elaborado pelo autor)

Já a argamassa utilizada na execução da alvenaria era industrializada. O consumo foi levantado a partir do volume exigido por cada tipo de bloco utilizado no pavimento, associando seu consumo total a sacos de 40 kg. Sendo de assentamento estrutural, sua resistência acompanhava a variação da resistência das unidades, mantendo-se sempre inferior aos blocos principais de cada pavimento. Em virtude disso, são capazes de absorver variações térmicas e pequenas variações estruturais sem trincar os blocos. As tabelas 6, 7 e 8 apresentam este quantitativo.

Tabela 6 – Argamassa especificada para os pavimentos de 1 a 4

ARGAMASSA 1 ao 4				
BLOCO	QUANTIDADE (1pav)	ARGAMASSA 10MPA(m ³)	SACOS 40kg(R\$14.26)	PREÇO
INTEIRO	12208	10,9872	477,7	6812,002
MEIO	765	0,48195	20,86	297,4636
BLOCO E MEIO	985	1,0835	47,1	671,646
COMPENSADOR 9	270	0,1323	5,75	81,995
COMPENSADOR 4	731	0,25585	11,1	158,286
CANALETA	1955	1,7595	76,5	1090,89
TOTAL 1 pavimento		14,7003	639,01	9112,2826
TOTAL				\$36.449,13

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 7 – Argamassa especificada para os pavimentos de 5 a 9

ARGAMASSA 5 ao 9				
BLOCO	QUANTIDADE (1pav)	ARGAMASSA 8MPA(m ³)	SACOS 40kg(R\$13.61)	PREÇO
INTEIRO	12208	10,9872	477,7	6501,497
MEIO	765	0,48195	20,86	283,9046
BLOCO E MEIO	985	1,0835	47,1	641,031
COMPENSADOR 9	270	0,1323	5,75	78,2575
COMPENSADOR 4	731	0,25585	11,1	151,071
CANALETA	1955	1,7595	76,5	1041,165
TOTAL 1 pavimento		14,7003	639,01	8696,9261
TOTAL				\$43.484,63

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 8 – Argamassa especificada para os pavimentos de 10 a 13

ARGAMASSA 10 ao 13				
BLOCO	QUANTIDADE (1pav)	ARGAMASSA 4MPA(m³)	SACOS 40kg(R\$10.94)	PREÇO
INTEIRO	12208	10,9872	477,7	5226,038
MEIO	765	0,48195	20,86	228,2084
BLOCO E MEIO	985	1,0835	47,1	515,274
COMPENSADOR 9	270	0,1323	5,75	62,905
COMPENSADOR 4	731	0,25585	11,1	121,434
CANALETA	1955	1,7595	76,5	836,91
TOTAL 1 pavimento		14,7003	639,01	6990,7694
TOTAL				\$27.963,08

(fonte: elaborado pelo autor)

Também se quantificou o consumo de aço pertinente à alvenaria estrutural. Os vergalhões eram dispostos verticalmente nos pontos de graute, enquanto as treliças eram posicionadas nas vergas e nas cintas de amarração das paredes. Existiam dois tipos de treliças e barras, dispostos de acordo com o croqui esquemático da edificação. A tabela 9 resume este quantitativo.

Tabela 9 – Resumo aço alvenaria estrutural

AÇO ALVENARIA ESTRUTURAL				
	Comprimento Tipo(cm)	Comprimento Total(cm)	Preço Unitário(m)	Preço Total
TR 12645	69992	349960	5,875	20560,15
TR 08645	69992	559936	5	27996,80
φ12.5	147941	443823	3,244	14397,62
φ10	147941	1479410	2,0667	30574,97
TOTAL				\$ 93.529,53

(fonte: elaborado pelo autor)

Tratando-se do empreendimento existente, a mão de obra referente à elevação da alvenaria era terceirizada, e seu custo função do m² executado. Neste valor estavam incluídos todos os serviços necessários para realização das paredes, como vergas, pontos de graute, cintas de amarração, etc. Em virtude desta forma de contratação e medição, adotou-se este mesmo valor para o empreendimento teórico, conforme a tabela 10.

Tabela 10 – Mão de obra alvenaria estrutural

MÃO DE OBRA				
BLOCO	DIMENSÕES	QUANTIDADE	ÁREA	PREÇO (R\$25,00/m²)
INTEIRO	14X19X29	12208	732,48	16847,04
MEIO	14X19X14	765	22,95	573,75
BLOCO E MEIO	14X19X44	985	88,65	2216,25
COMPENSADOR 9	14X19X9	270	5,4	135
COMPENSADOR 4	14X19X4	731	7,31	182,75
CANALETA	14X19X29	1955	117,3	2932,5
TOTAL 1 pavimento			974,09	22887,29
			TOTAL	\$297.534,77

(fonte: elaborado pelo autor)

Por último, levantou-se o custo da execução das lajes realizadas em concreto armado. Devido ao grande número de barras de aço exigidos por um pavimento tipo, o preço da armadura foi estipulado a partir de seu peso. Para as fôrmas, considerou-se 3 jogos de aproximadamente 400m² cada. Por fim, quanto à mão de obra, adotou-se o valor pago pela construtora, conforme demonstrado na tabela 11.

Tabela 11 – Laje convencional

CONCRETO LAJE					
	CONSUMO 1 PAV	TOTAL	PREÇO	MÃO DE OBRA	TOTAL
CONCRETO	40.7m ³	529,1	142857	185185	204585
FÔRMA	406.9m ²	1220,7	24414		86142
AÇO	2226kg	28938	108517,5		170245,5
				TOTAL	\$460.972,50

(fonte: elaborado pelo autor)

Levantados todos os quantitativos de insumos e respectivos preços, pôde-se calcular o custo total da estrutura portante deste sistema construtivo. A tabela 12 apresenta estes valores.

Tabela 12 – Custo total da estrutura em alvenaria estrutural

CUSTO TOTAL					
	1 ao 4	5 ao 9	10 ao 13	TOTAL	
BLOCOS	\$104.094,15	\$125.433,75	\$92.849,64	\$322.377,54	
ARGAMASSA	\$36.449,13	\$43.484,63	\$27.963,08	\$107.896,84	
GRAUTE	\$24.559,48	\$27.367,64	\$21.894,11	\$73.821,24	
MÃO DE OBRA	\$91.549,16	\$114.436,45	\$91.549,16	\$297.534,77	
AÇO ALVENARIA				\$93.529,53	
LAJE CONCRETO				\$460.972,50	
				TOTAL	\$1.356.132,42

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO

O quantitativo de serviços e materiais utilizados para concepção da estrutura aporticada de concreto armado foi levantado a partir de uma associação entre o modelo em concreto armado e o modelo em alvenaria estrutural. Tal medida foi necessária devido ao fato do TQS pleno não levantar as áreas de alvenaria de vedação. A solução foi utilizar as quantidades de blocos correspondentes ao modelo de alvenaria estrutural, subtraindo as áreas dos pilares e vigas presentes no modelo. Devido ao fato de não serem necessárias as cintas de amarração, os blocos canaletas foram o que tiveram a maior redução, sendo destinados apenas às vergas e contra vergas das paredes. A resistência do bloco adotada foi de 7 MPa em virtude de ser a menor resistência de um bloco de 14x19x29 presente no catálogo da distribuidora escolhida, conforme a tabela 13. Já na tabela 14, percebe-se como ficou o custo da argamassa exigida para este quantitativo de blocos.

Tabela 13 – Blocos de vedação

BLOCOS 1 ao 13					
BLOCO	DIMENSÕES	QUANTIDADE	MPA	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
INTEIRO	14X19X29	11881	7	1,3	15445,3
MEIO	14X19X14	765	7	0,91	696,15
BLOCO E MEIO	14X19X44	985	7	2,21	2176,85
COMPENSADOR 9	14X19X9	270	7	0,91	245,7
COMPENSADOR 4	14X19X4	731	7	0,91	665,21
CANALETA	14X19X29	543	7	1,82	988,26
TOTAL 1 pavimento		15175			20217,47
TOTAL					\$262,819,22

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 14 – Argamassa paredes de vedação

ARGAMASSA 1 ao 13				
BLOCO	QUANTIDADE (1pav)	ARGAMASSA 4MPa(m ³)	SACOS 40kg(R\$10.94)	PREÇO
INTEIRO	11881	10,6929	462,8	5063,032
MEIO	765	0,48195	20,86	228,2084
BLOCO E MEIO	985	1,0835	47,1	515,274
COMPENSADOR 9	270	0,1323	5,75	62,905
COMPENSADOR 4	731	0,25585	11,1	121,434
CANALETA	543	0,4887	21,2	231,928
TOTAL 1 pavimento		13,1352	568,81	6222,7814
TOTAL				\$80.896,16

(fonte: elaborado pelo autor)

Também foi estipulado um preço para a mão de obra necessária a execução da alvenaria de vedação. Este preço foi estabelecido a partir de um valor médio cobrado por empreiteiras próximas à região do empreendimento real, conforme a tabela 15.

Tabela 15 – Mão de obra alvenaria de vedação

MÃO DE OBRA BLOCOS				
BLOCO	DIMENSÕES	QUANTIDADE	ÁREA	PREÇO (R\$18.50/m ²)
INTEIRO	14X19X29	11881	712,86	13187,91
MEIO	14X19X14	765	22,95	424,575
BLOCO E MEIO	14X19X44	985	88,65	1640,025
COMPENSADOR 9	14X19X9	270	5,4	99,9
COMPENSADOR 4	14X19X4	731	7,31	135,235
CANALETA	14X19X29	543	32,58	602,73
TOTAL 1 pavimento			869,75	16090,375
			TOTAL	\$209.174,88

(fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, determinaram-se os materiais e serviços necessários para a execução da estrutura aporticada em concreto armado. O consumo de concreto por pavimento foi constante, devido ao fato de não haver mudanças de seções, e o seu respectivo custo de R\$ 270,00 por m³. Com relação à mão de obra, o valor praticado por empreiteira é de R\$ 300,00 por m³ de concreto executado, conforme a tabela 16. Com relação ao aço, obteve-se um consumo médio de 6190,8 kg por pavimento, com taxa de 67 kg por m³ de concreto. Catalogando por bitola, a tabela 17 apresenta um resumo do aço para este modelo.

Tabela 16 – Insumos para o concreto

CONCRETO(30 Mpa)						
PAVIMENTO	PILARES (m ³)	VIGAS (m ³)	LAJE (m ³)	PREÇO (R\$270.00/m ³)	MÃO DE OBRA (R\$400.00/m ³)	TOTAL
TIPO 13	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 12	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 11	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 10	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 9	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 8	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 7	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 6	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 5	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 4	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 3	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 2	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
TIPO 1	31,7	20,1	40,7	24975	27750	52725
					TOTAL	\$685.425,00

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 17 – Insumos para o aço

Pavimento	BITOLA							PESO	PREÇO
	4,2	5	6,3	8	10	12,5	16		
Tipo12	58,3	591,4	2492	190,2	2123,4	273,9	0	5729,2	21484,5
Tipo11	53,8	670,6	2545,4	165	2271,2	300	17	6023	22586,25
Tipo10	52,8	672	2545,8	165	2267	295,2	33,9	6031,7	22618,875
Tipo9	50	676,2	2544,9	165	2278,9	284,8	44,8	6044,6	22667,25
Tipo8	47,6	679,7	2545,6	165	2257,5	342,5	32,1	6070	22762,5
Tipo7	45,6	678,6	2549,5	165	2238,9	388,3	52,3	6118,2	22943,25
Tipo6	45,6	790	2550,3	165	2244,1	416	23,3	6234,3	23378,625
Tipo5	45,6	567,3	2544,2	168,5	2242,8	418,9	53,8	6041,1	22654,125
Tipo4	45,6	675,1	2550	168,5	2245,2	397,6	75,9	6157,9	23092,125
Tipo3	48,4	671	2550,2	168,5	2242,8	388,3	88,6	6157,8	23091,75
Tipo2	48,4	674,5	2545,6	168,5	2224,7	393,1	80,2	6135	23006,25
Tipo1	46,6	625,5	2617,1	165	2121,4	579,1	55	6209,7	23286,375
Térreo	54,9	948,1	2644,2	157	2611,6	878,5	234,3	7528,6	28232,25
TOTAL								\$301.804,13	

(fonte: elaborado pelo autor)

Quanto às fôrmas, adotou-se como padrão a chapa compensada plastificada com 14 mm de espessura no valor de R\$ 20,00 por m². Foi considerado um total de 3 jogos de fôrmas com o intuito de manter um plano de execução coerente. Cada jogo possuía aproximadamente 1000 m², atendendo pilares, vigas e lajes. Levantados todos os quantitativos pertinentes à estrutura em concreto armado e à alvenaria de vedação, pôde-se calcular o custo total do sistema construtivo por pavimento e, por consequência, o custo total da estrutura, apresentado na tabela 18.

Tabela 18 – Custo total da estrutura aporticada de concreto armado

	CUSTO TOTAL					
	CONCRETO	MÃO DE OBRA	BLOCOS	ARGAMASSA	AÇO	FÔRMAS
1 PAV (média)	\$24.975,00	\$43.840,00	\$20.216,00	\$6.686,00	\$18.572,50	\$4.615,00
TOTAL	\$324.675,00	\$569.920,00	\$262.819,22	\$80.896,16	\$301.804,13	\$60.000,00
TOTAL						\$1,600,114.51

(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos dados levantados, são comparados os resultados dos quantitativos pertinentes a cada sistema construtivo. Para destacar os fatores responsáveis pela diferença do preço final da estrutura, dividiram-se os insumos de maneira a possibilitar uma comparação direta e segmentada. Quanto às lajes convencionais empregadas no modelo em alvenaria estrutural, utilizaram-se seus quantitativos de matérias-primas, possibilitando uma associação com o

restante da estrutura. Em seguida, devido aos diferentes materiais empregados ao longo dos andares, determinou-se uma média de cada insumo no pavimento tipo, conforme a tabela 19.

Tabela 19 – Comparativo do custo médio de um pavimento tipo

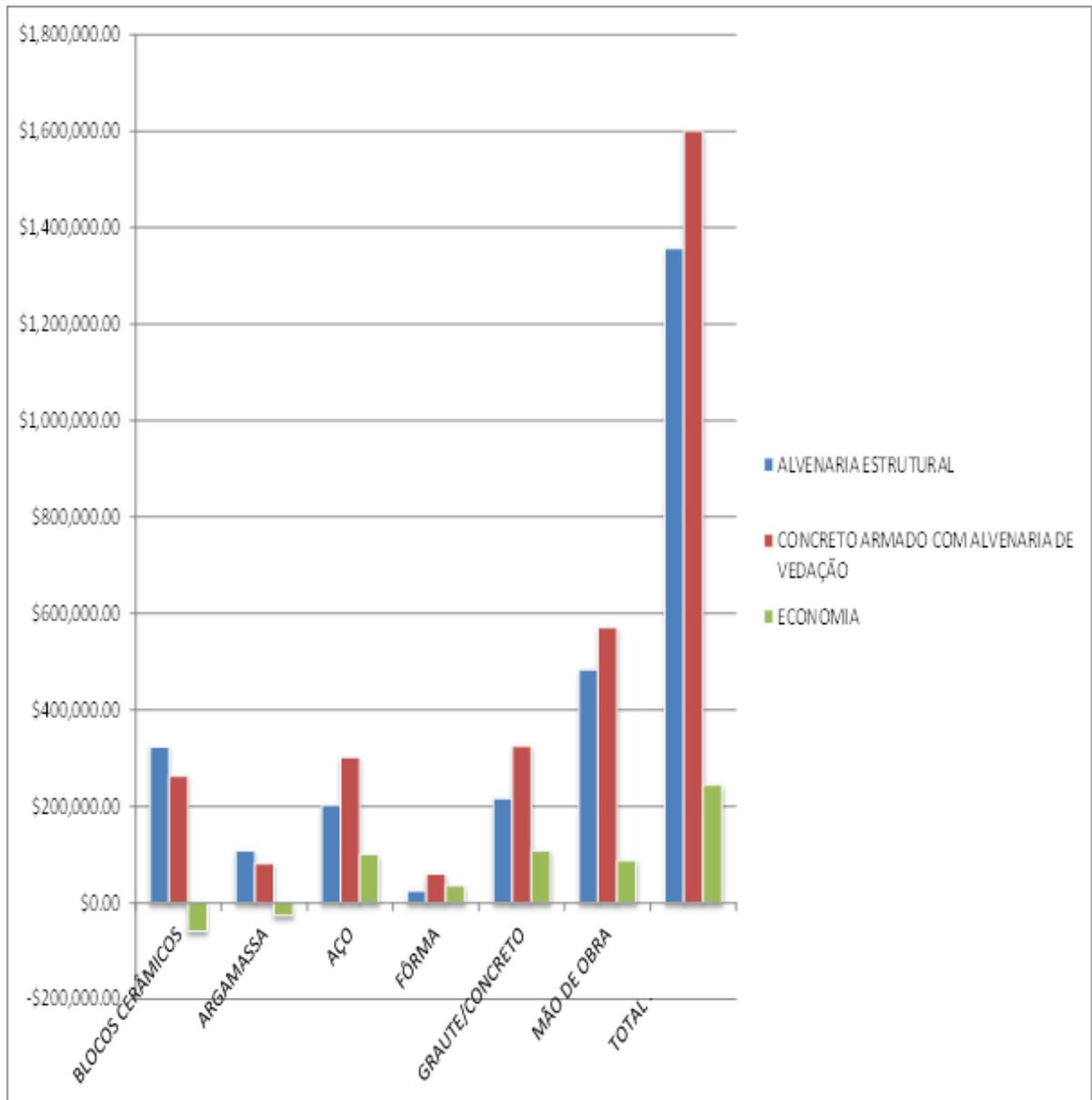
CUSTO FINAL			
INSUMO	ALVENARIA ESTRUTURAL	CONCRETO ARMADO COM ALVENARIA DE VEDAÇÃO	DIFERENÇA
BLOCOS CERÂMICOS	\$24,798.27	\$20,216.86	-\$4,581.00
ARGAMASSA	\$8,299.76	\$6,222.78	-\$2,076.98
AÇO	\$15,542.08	\$23,215.70	\$7,673.62
FÔRMA	\$1,878.00	\$4,615.38	\$2,737.68
GRAUTE/CONCRETO	\$16,667.56	\$24,975.00	\$8,304.44
MÃO DE OBRA	\$37,132.29	\$43,840.00	\$6,707.71
TOTAL PAV TIPO	\$104,317.96	\$123,085.72	\$18,767.77

(fonte: elaborado pelo autor)

Como esperado, percebe-se que a estrutura em alvenaria estrutural não apresentou economia em todos os segmentos. Por utilizar blocos e argamassa com maiores resistências, esta parcela da estrutura ficou mais onerosa que a alvenaria de vedação. Entretanto, na medida em que são considerados os demais dados, o fato da vedação e estrutura serem compostos pelo mesmo elemento se mostrou muito eficaz. Além de apresentar economia significativa nos outros materiais, como concreto, fôrmas e aço, a própria mão de obra sofre redução devido a esta função combinada.

A partir destes valores, referentes ao pavimento tipo, elaborou-se um gráfico para ilustrar a diferença de custo das estruturas como um todo, conforme a figura 20. Por fim, a estrutura em alvenaria estrutural resultou em um sistema 18% mais econômico que a mesma edificação em concreto armado.

Figura 20 – Comparativo final



(fonte: elaborada pelo autor)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo visou comparar o consumo de materiais destes dois sistemas construtivos amplamente utilizados nas construções brasileiras. Entretanto, afastou-se da análise habitual em que a alvenaria estrutural é limitada a pequenas edificações com geometria de planta baixa quadrilátera. Com a finalidade de evitar as discordâncias presentes entre os levantamentos de insumos reais e os quantitativos apresentados pelo *software* TQS, considerou-se que a melhor solução seria gerar modelos computacionais para ambas as estruturas. A partir disso, foram levantados os quantitativos de serviços e insumos, assim como os respectivos preços aplicados na região do empreendimento real.

A alvenaria estrutural apresentou uma economia de aproximadamente 18% em relação à estrutura aporricada de concreto armado. Todavia, é necessário salientar outros fatores, não mensuráveis em um modelo estrutural, que também possuem importância nesta análise comparativa. Conforme citado no curso do trabalho, o sistema construtivo em alvenaria estrutural é caracterizado por sua racionalização e industrialização, aproximando o canteiro de obra a uma linha de montagem, na qual os desperdícios são minimizados e os prazos diminuídos. A integração das instalações elétricas e sanitárias com os projetos estruturais, bem como a redução de revestimentos argamassados – sendo que as paredes estruturais possuem um maior controle de qualidade –, resultam em menores custos, patologias e prazos de execução dos serviços.

Por outro lado, quanto à estrutura em concreto armado, podem ser citadas vantagens não percebidas diretamente. Por se tratar de um sistema construtivo com grande adaptabilidade e aceitação em todo o país, existe uma facilidade de se encontrar mão de obra, tanto executiva como administrativa. Da mesma maneira, a abundância de fornecedores presentes no mercado proporciona flexibilidade e segurança à empresa contratante. Aliando estes aspectos ao fato de um imóvel em concreto armado possuir maior liberdade para mudanças de geometria interna, percebe-se que existe mais a considerar do que apenas o custo em si da estrutura.

Por fim, levando em consideração as incertezas geralmente presenciadas na prática, o estudo não é suficiente para afirmar que a alvenaria estrutural é mais vantajosa que o concreto armado. Entretanto, comprovou-se que mesmo edificações com geometria diferenciada e mais

pavimentos que usual podem apresentar benefícios quanto ao seu custo final. Tratando-se de um sistema estrutural que há poucas décadas era considerado antiquado e ineficiente, consolidando-se mais tarde na execução de habitações populares, não seria o primeiro obstáculo transposto pela técnica construtiva mais tradicional da humanidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

BOTELLO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado**: eu te amo. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Ilha Solteira: UNESP, 2006. Notas de Aula. Disponível em:
<<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Projeto%20de%20edificios%20de%20alvenaria%20estrutural.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

CHUCKMAN, J. **Chuckman's Photos on Wordpress**: Chicago Nostalgia and Memorabilia. Chicago, 2010. Disponível em:
<<http://chuckmanchicagonostalgia.wordpress.com/2010/03/16/monadnock-building-jackson-and-van-buren-aerial-c1910/>>. Acesso em: 20 abr 2012.

ELLWANGER, R. J. **Estruturas de edifícios altos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. Apostila da disciplina Estruturas de Edificações.

FUSCO, P. B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1995.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

SANTOS, L. M. **Cálculo de Concreto Armado**: segundo a nova NB-1 e o CEB. São Paulo: LMS, 1983.

TAMAKI, L. **Construção Fácil**. *Revista Técnica*, São Paulo, n. 158. não paginado, maio 2010. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/158/imprime174020.asp>>. Acesso em: 15 maio 2012.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.