

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

Andrey Arcari

**ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO COMPARATIVO DE
CUSTOS PARA EXECUÇÃO DE EMPREENDIMENTO
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL**

Porto Alegre
dezembro 2010

ANDREY ARCARI

**ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO COMPARATIVO DE
CUSTOS PARA EXECUÇÃO DE EMPREENDIMENTO
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL**

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: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Porto Alegre
dezembro 2010

ANDREY ARCARI

**ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA
DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO COMPARATIVO DE
CUSTOS PARA EXECUÇÃO DE EMPREENDIMENTO
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL**

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, 20 dezembro de 2010.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
PhD pela University of Leeds
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Marcus Daniel Friederich dos Santos (MMC Projetos)
Mestre pela UFSM

Prof. João Luiz Campagnolo (UFRGS)
Mestre pela UFRGS

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)
PhD pela University of Leeds

Dedico este trabalho a minha família, especialmente aos meus pais, Clessio e Mercedes, que sempre me apoiaram e incentivaram a enfrentar os momentos mais difíceis durante o período de Graduação e elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Luiz Carlos, pela orientação, atenção, ricas sugestões e grande conhecimento passado.

Agradeço a Professora Carin Maria Schmitt pela dedicação na correção, sugestões de melhorias e atencioso atendimento para sanar as dúvidas que surgiram durante o período de elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Felix Rosin Jr. pelo auxílio na elaboração do projeto estrutural em concreto armado, sendo fundamental para a realização deste estudo comparativo.

Agradeço a Empresa que serviu de base para o trabalho pelas preciosas informações e pela oportunidade concedida.

Agradeço a minha namorada Monaliza, pela compreensão e companheirismo durante todo o período de graduação.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino de qualidade oferecido.

As pessoas que vencem neste mundo são as que procuram
as circunstâncias de que precisam e quando não as
encontram, as criam.

George Bernard Shaw

RESUMO

ARCARI, A. **Alvenaria estrutural e estrutura aporticada de concreto armado**: estudo comparativo de custos para execução de empreendimento habitacional de interesse social. 2010. 75 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho versa sobre uma comparação entre dois sistemas construtivos largamente utilizados na atualidade, alvenaria estrutural racionalizada e estrutura aporticada em concreto armado com alvenaria de vedação, para execução de empreendimentos habitacionais de interesse social com múltiplos pavimentos. Atualmente o segmento de habitação popular está em evidência no Brasil, com muitas construtoras voltando-se para este ramo, devido à grande demanda gerada pela oferta de financiamento à baixas taxas de juros e possibilidade de subsídios, aliado ao elevado déficit habitacional. Para tais empreendimentos é fundamental que se utilize um sistema de alta produtividade e com custo adequado, devido às suas características de grande número de unidades e curto prazo para execução. O presente estudo compara os dois sistemas, alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com laje maciça de concreto armado moldada *in loco* e estrutura de concreto armado convencional composta por pilares, vigas e laje maciça moldados *in loco* com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos, tomando como caso de estudo um mesmo empreendimento, analisando custos e prazos de execução, utilizando dados de uma construtora atuante no mercado da serra gaúcha. Para a realização de tal comparativo levantou-se os quantitativos de serviços e insumos baseados nos projetos específicos e dados obtidos da construtora, bem como os respectivos preços aplicados na cidade de atuação da mesma. Constatou-se que, para as condições consideradas, a alvenaria estrutural apresentou redução nos custos de construção, considerando os diretos, como fundações, estrutura e vedações e também no prazo de execução, sendo uma alternativa atraente para utilização em empreendimentos habitacionais de interesse social com as características do adotado no presente estudo.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; estrutura aporticada de concreto armado; alvenaria de vedação; custos de construção; habitação de interesse social.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: fluxograma de desenvolvimento do trabalho	16
Figura 2: tipos de blocos cerâmicos de 7 MPa	20
Figura 3: estrutura laminar	21
Figura 4: sequência de execução da alvenaria estrutural	22
Figura 5: detalhe da elevação das paredes com blocos cerâmicos estruturais	22
Figura 6: aspecto final da estrutura com blocos cerâmicos estruturais	23
Figura 7: estrutura linear	27
Figura 8: diagrama de produção de estrutura de concreto armado convencional	28
Figura 9: montagem da fôrma de madeira	29
Figura 10: aspecto da estrutura em concreto armado convencional	29
Figura 11: fachada do empreendimento-padrão	33
Figura 12: implantação do empreendimento	34
Figura 13: pavimento tipo	34
Figura 14: ilustração da planta de elevação das paredes	35
Figura 15: ilustração da primeira fiada de blocos cerâmicos	36
Figura 16: detalhe da separação entre alvenaria e a laje de forro	38
Figura 17: fôrma para a laje	40
Figura 18: detalhamento da fôrma para lajes	40
Figura 19: fôrma das sapatas para alvenaria estrutural	43
Figura 20: fôrma das vigas de baldrame	47
Figura 21: modelo da estrutura em concreto armado	49
Figura 22: fôrma do pavimento tipo	50
Figura 23: modelo de fôrma para pilares	51
Figura 24: modelo de fôrma para vigas	53
Figura 25: fôrma das sapatas para estrutura em concreto armado	57
Figura 26: comparativo das fundações	66
Figura 27: comparativo do pavimento tipo	67
Figura 28: comparativo do custo total dos sistemas construtivos	68
Figura 29: comparativo sobre o custo global do empreendimento	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: comparativo resumo entre os sistemas construtivos	32
Quadro 2: quantitativos de blocos cerâmicos estruturais	37
Quadro 3: consumo de argamassa de assentamento industrializada	37
Quadro 4: consumo de graute	37
Quadro 5: consumo de aço para alvenaria estrutural	38
Quadro 6: consumo de isopor e manta asfáltica	38
Quadro 7: mão de obra da alvenaria estrutural	39
Quadro 8: custos da alvenaria estrutural para o pavimento tipo	39
Quadro 9: fôrma para lajes do pavimento tipo	41
Quadro 10: aço para a lajes do pavimento tipo	41
Quadro 11: custo total da laje do pavimento tipo para o sistema em alvenaria estrutural	41
Quadro 12: custo do pavimento tipo para alvenaria estrutural com laje de concreto armado moldada <i>in loco</i>	42
Quadro 13: fôrma para sapatas	42
Quadro 14: aço das sapatas para alvenaria estrutural	44
Quadro 15: custos total das sapatas para alvenaria estrutural	44
Quadro 16: fôrma para pilares da fundação	44
Quadro 17: aço dos pilares de fundação	45
Quadro 18: custo total dos pilares de fundação	45
Quadro 19: fôrma para vigas de baldrame	45
Quadro 20: aço para vigas de baldrame	46
Quadro 21: custo total das vigas de baldrame	46
Quadro 22: custo total das fundações para alvenaria estrutural	46
Quadro 23: custo total do sistema construtivo em alvenaria estrutural por bloco residencial	48
Quadro 24: custo total do sistema construtivo em alvenaria estrutural para o empreendimento	48
Quadro 25: fôrma para pilares	51
Quadro 26: aço para pilares por pavimento	52
Quadro 27: custo total dos pilares por pavimento	52
Quadro 28: fôrma para vigas	53
Quadro 29: aço para vigas por pavimento	53
Quadro 30: custo total das vigas por pavimento	54
Quadro 31: custo da fôrma das lajes para 10 reaproveitamentos	54

Quadro 32: aço para lajes por pavimento	54
Quadro 33: custo total das lajes por pavimento	55
Quadro 34: custo total da estrutura em concreto armado por pavimento	55
Quadro 35: custo da alvenaria de vedação por pavimento	55
Quadro 36: custo total da estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação por pavimento	56
Quadro 37: fôrma para sapatas para estrutura em concreto armado	56
Quadro 38: aço das sapatas para estrutura em concreto armado	58
Quadro 39: custo total das sapatas para o sistema em concreto armado	58
Quadro 40: fôrma para pilares de fundação	58
Quadro 41: aço dos pilares de fundação	59
Quadro 42: custo total dos pilares de fundação para o sistema em concreto armado	59
Quadro 43: custo total das vigas de baldrame para o sistema em concreto armado	59
Quadro 44: custo total das fundações para o sistema em concreto armado	59
Quadro 45: custo total do sistema construtivo em concreto armado para um bloco residencial de 5 pavimentos	60
Quadro 46: custo total do sistema construtivo em concreto armado com alvenaria de vedação para o empreendimento	60
Quadro 47: custo global estimado para o empreendimento-padrão	60
Quadro 48: cronograma físico-financeiro para alvenaria estrutural	62
Quadro 49: cronograma físico-financeiro para estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação	64
Quadro 50: comparativo das fundações	65
Quadro 51: comparativo de custos para o pavimento tipo sem a laje	66
Quadro 52: comparativo de custos para o pavimento tipo com a laje	67
Quadro 53: comparativo do custo total dos sistemas construtivos	68
Quadro 54: percentual da alvenaria estrutural no custo global do empreendimento	69
Quadro 55: percentual da estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação sobre o custo global do empreendimento	69

LISTA DE SIGLAS

CUB-PIS: custo unitário básico para projetos de interesse social

HIS: habitação de interesse social

CEF: Caixa Econômica Federal

SINDUSCON-RS: Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PREMISSA	15
2.4 DELIMITAÇÕES	15
2.5 LIMITAÇÕES	15
2.6 DELINEAMENTO	16
3 ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	18
3.1 TÉCNICA, MÉTODO, PROCESSO E SISTEMA CONSTRUTIVO	18
3.2 SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL	19
3.3 SISTEMA CONSTRUTIVO EM ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO	25
3.4 COMPARATIVO RESUMO	32
4 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO-PADRÃO, QUANTITATIVOS DE INSUMOS E CUSTOS DOS SERVIÇOS	33
4.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO-PADRÃO	33
4.2 QUANTITATIVOS DE INSUMOS E CUSTOS DOS SERVIÇOS	35
4.2.1 Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural	35
4.2.2 Sistema Construtivo em Estrutura Aporticada de Concreto Armado com Alvenaria de Vedação	48
4.3 CUSTO GLOBAL DO EMPREENDIMENTO	60
4.4 CRONOGRAMAS FÍSICO-FINANCEIROS	61
4.4.1 Cronograma Físico-Financeiro para Alvenaria Estrutural	61
4.4.2 Cronograma Físico-Financeiro para Estrutura Aporticada de Concreto Armado com Alvenaria de Vedação	63
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O elevado déficit habitacional do País, que, em 2007, chegou a 6,273 milhões de domicílios (BRASIL, 2009, p. 24), aliado a grande competitividade entre as empresas, desafiam o setor da construção civil a desenvolver novas técnicas, métodos e sistemas construtivos baseados no aumento da racionalidade e produção em larga escala, a fim de reduzir os custos das construções. Isto se faz necessário para viabilizar a construção de empreendimentos habitacionais de interesse social e assim propiciar que mais pessoas realizem o sonho da casa própria, visto que o déficit se concentra, majoritariamente, nas camadas de renda mais baixa.

Há hoje uma grande demanda por imóveis pelas classes C e D da sociedade brasileira, devido às facilidades de financiamento com baixas taxas de juros e subsídios, impulsionados por programas habitacionais do Governo Federal, aliado ao fato que 89,4% do déficit habitacional se concentra na população com renda de até três salários mínimos (BRASIL, 2009, p. 28). Assim, as empresas estão aumentando sua capacidade de construção, para produzir maior número de unidades em menor prazo, visto que neste segmento do mercado as margens são pequenas e o ganho é função da quantidade produzida. Logo, a escolha e utilização de um sistema construtivo adequado é de extrema importância para se obter resultados financeiros satisfatórios.

Os empreendimentos habitacionais de múltiplos pavimentos de interesse social se caracterizam pela grande quantidade de unidades, curto prazo para execução e baixo preço de venda, com pequena margem de lucro. Logo, é extremamente importante utilizar um sistema construtivo que seja rápido, racional e economicamente viável. Também é necessário que o sistema não gere retrabalhos ou manifestações patológicas graves, pois desvios nos custos podem comprometer o resultado financeiro do empreendimento.

A alvenaria estrutural vem ganhando grande impulso, nas últimas décadas no Brasil, devido à racionalização que este sistema propicia. Segundo seus defensores, o sistema reduz consideravelmente o consumo de materiais e o desperdício, porém requer a utilização de mão de obra qualificada, visto que as paredes possuem função estrutural e necessitam de adequado controle de execução. Do outro lado está a estrutura apertada de concreto armado, um

sistema construtivo tradicional, difundido e largamente empregado há muito tempo em todos os tipos de edificações. O presente estudo tem o objetivo de comparar esses sistemas, considerando sua aplicação na execução de um empreendimento habitacional de múltiplos pavimentos de interesse social, a fim de se verificar qual sistema resulta em menor custo e menor prazo de execução, baseado nos projetos específicos e dados obtidos em uma construtora atuante no mercado da serra gaúcha.

Este trabalho divide-se em 6 capítulos, sendo que o primeiro, contém a apresentação do tema, com discussão de sua importância e justificativa de escolha. O segundo capítulo apresenta o método de pesquisa, descrevendo a questão de pesquisa, objetivos, premissas, limitações e delimitações do estudo e o seu delineamento, com todas as etapas necessárias para o desenvolvimento. No terceiro capítulo encontra-se a pesquisa bibliográfica, na qual se faz a apresentação das características dos sistemas construtivos, das vantagens e desvantagens e informações preliminares sobre custos. O quarto capítulo apresenta o empreendimento-padrão que serve de base para o estudo, os quantitativos de insumos e respectivos custos, o custo total para cada sistema construtivo e seus cronogramas físico-financeiros. Finalmente, os capítulos 5 e 6 são reservados para a análise dos resultados e considerações finais.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo será apresentado o método de pesquisa adotado neste trabalho, com definição da questão de pesquisa, objetivos do trabalho, premissa, delimitações, limitações, delineamento e cronograma de pesquisa.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa adotada no presente trabalho foi: entre os sistemas construtivos mais utilizados na atualidade, alvenaria estrutural e estrutura aporticada de concreto armado com alvenaria de vedação, qual apresenta menor custo e qual, menor prazo de execução, para a construção de um empreendimento habitacional de múltiplos pavimentos?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho consiste na realização de um estudo comparativo entre alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com laje maciça de concreto armado e estrutura aporticada de concreto armado com alvenaria de vedação, com relação aos custos e prazos de execução para a construção de um mesmo empreendimento.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários deste trabalho envolver as análises de custos e prazos dos sistemas construtivos:

- a) alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com laje de concreto armado moldada *in loco*;
- b) estrutura aporticada de concreto armado moldada *in loco* com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos.

2.3 PREMISSA

A escolha e utilização de um sistema construtivo adequado para execução de empreendimentos habitacionais de interesse social de múltiplos pavimentos é de suma importância dadas as necessidades de alta produtividade, racionalidade e baixo custo que estas obras apresentam. Essa escolha impacta diretamente nos custos e no prazo necessário para execução do empreendimento.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à comparação entre dois sistemas construtivos quanto aos custos e prazos para execução de um empreendimento-padrão, sendo os quantitativos e tempos de execução adotados para cada sistema, baseado em dados obtidos de uma empresa construtora e incorporadora de Bento Gonçalves, RS, que executou o empreendimento em alvenaria estrutural e possui experiência em obras de concreto armado.

2.5 LIMITAÇÕES

O estudo limita-se aos seguintes itens:

- a) comparativo somente entre os sistemas construtivos alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com laje maciça de concreto armado moldado *in loco* e estrutura aporticada em concreto armado convencional, composta por pilares, vigas e lajes maciças moldada *in loco*, com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos;
- b) para o comparativo do prazo de execução, será observado em obra a equipe responsável pela execução da alvenaria estrutural e laje maciça de concreto armado, bem como sua respectiva produtividade, pois efetivamente é o sistema em que é construído o empreendimento-padrão. Será considerado que a equipe responsável pela execução do sistema construtivo em concreto armado com alvenaria de vedação possui o mesmo número de profissionais, sendo que a

produtividade será estimada com base nas informações da construtora, que também possui experiência neste sistema construtivo. Essa base de comparação comum será utilizada para verificar se existem diferenças no prazo de execução entre os sistemas;

- c) quanto aos preços dos insumos, serão adotados os praticados na cidade de atuação da construtora que serve de base para o estudo;
- d) serão comparados os custos das fundações necessárias para cada sistema construtivo, considerando o uso de fundações diretas, do tipo sapata, com taxa de resistência do solo de 3 kgf/cm²;
- e) será elaborado o projeto da estrutura em concreto armado através do software TQS.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será desenvolvido em 7 etapas, apresentadas a seguir e representadas na figura 1:

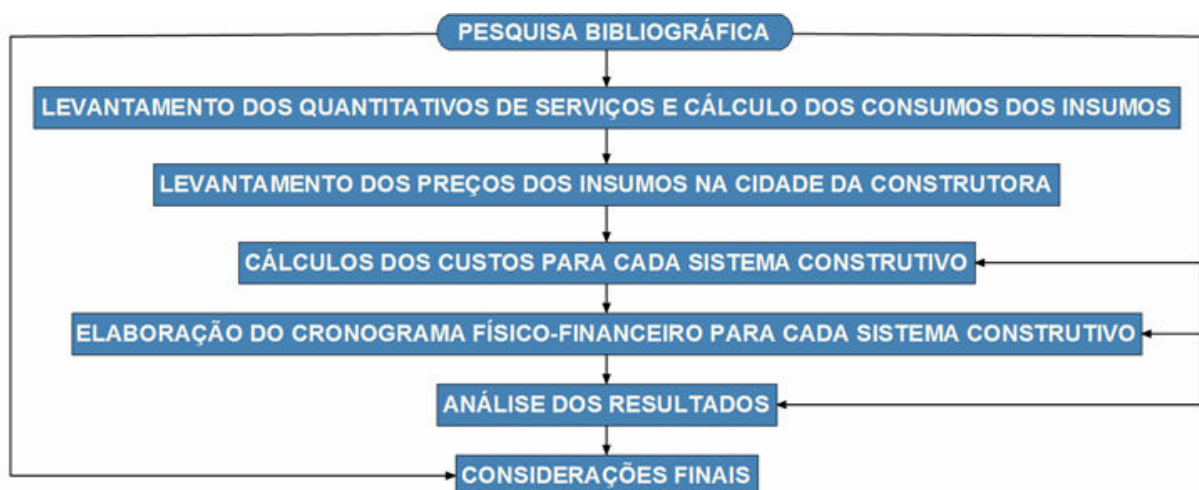


Figura 1: fluxograma de desenvolvimento do trabalho

A primeira etapa consiste na pesquisa bibliográfica, durante a qual será realizada uma breve revisão das características dos sistemas comparados, apontando as vantagens e desvantagens de cada um e apresentando também dados e informações preliminares sobre o comparativo de custos obtidos por outros autores.

Com relação ao comparativo, inicialmente será efetuado o levantamento dos quantitativos de serviços necessários para a execução de cada sistema, através do projeto da alvenaria estrutural e do projeto da estrutura em concreto armado. Posteriormente, será feito o levantamento de consumos de insumos referente ao sistema em alvenaria estrutural, baseado

no projeto específico e observado na construtora que serve de base para o estudo, pois efetivamente é o sistema em que foi executado o empreendimento. Com relação ao concreto armado e alvenaria de vedação, as informações sobre os consumos de insumos serão obtidos da construtora, que também possui experiência na execução deste sistema, referente ao que é utilizado na prática.

Após a obtenção dos quantitativos de serviços, serão levantados os preços dos insumos praticados na cidade de atuação da construtora. Com isso, será possível calcular os custos, limitado aos serviços estudados, para cada sistema construtivo e, assim, verificar qual possui menor custo para a execução do mesmo empreendimento.

Posteriormente será possível elaborar os cronogramas físico-financeiros, nos quais constarão os custos mensais, bem como o tempo necessário para a execução do empreendimento nas situações estudadas. Isso conseqüentemente propicia a análise dos prazos para execução de cada sistema.

Finalmente, na análise dos resultados será comparado o custo total de ambos os sistemas, considerando os diretos, como fundações, estrutura e vedações, obtendo-se assim o sistema construtivo que, através do método adotado, resulta no menor valor total. Também poderá se verificar qual deles possui menor prazo de execução, e assim, indicar o mais adequado para se utilizar na construção de empreendimentos habitacionais de interesse social, com as características do projeto adotado no presente estudo.

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

Neste capítulo será efetuada a descrição dos dois sistemas construtivos comparados, bem como indicações das vantagens e desvantagens de cada um, e informações preliminares sobre custos obtidos por outros autores.

3.1 TÉCNICA, MÉTODO, PROCESSO E SISTEMA CONSTRUTIVO

Julgou-se importante, primeiramente, apresentar as definições dos termos, que frequentemente são utilizados de forma equivocada, devido às dúvidas quanto ao correto significado de cada um. Segundo Sabbatini (1989, p. 23-29), se tem as seguintes definições:

- a) técnica construtiva: conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma edificação;
- b) método construtivo: conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregadas na construção de uma parte (subsistema ou elemento) de uma edificação;
- c) processo construtivo: é um organizado e bem definido modo de se produzir um edifício. Um específico processo construtivo se caracteriza pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e vedações do edifício;
- d) sistema construtivo: é um processo construtivo de elevados níveis de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.

Esta nomenclatura construtiva “[...] obedece a uma hierarquia, de tal forma que o sistema construtivo depende dos processos empregados, e cada um destes dos métodos aplicados, sendo esses identificados pelas técnicas utilizadas em cada atividade da construção.” (SANTOS, 1998, p. 23). Segundo Cavalheiro¹ (1996 apud SANTOS, 1998, p. 23), o termo sistema construtivo pode ser utilizado para macro identificar o tipo de estrutura da edificação. Assim, se tem: sistema construtivo em concreto armado, alvenaria estrutural, aço, etc.

¹ CAVALHEIRO, O. P. **Curso básico de alvenaria estrutural**. Santa Maria: UFSM, 1996.

3.2 SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Primeiramente será exposto um breve histórico com relação ao sistema construtivo e posteriormente se dará a apresentação do mesmo.

3.2.1 Breve Histórico

Pode-se constatar que a alvenaria é um dos sistemas construtivos mais antigos e bastante utilizados desde o início das civilizações, tendo como exemplo as Pirâmides de Guizé construídas em blocos de pedra em aproximadamente 2600 a. C.; o Farol de Alexandria construído em mármore branco por volta de 280 a. C. e o Coliseu, em Roma, construído em alvenaria utilizando o conceito estrutural de arcos, em aproximadamente 70 d. C. (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 2-3).

Um símbolo clássico da alvenaria estrutural moderna é o Edifício Monadnock, construído entre 1889 a 1891, em Chicago, com 16 pavimentos e 65 m de altura. Possui as paredes da base com 1,80 m de espessura, devido ao processo de dimensionamento com base em métodos empíricos predominantes na época. (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 2-3). As elevadas espessuras de paredes restringiram o uso de alvenaria armada em edifícios, até a década de 50, quando se mudaram os procedimentos de cálculo originando a moderna alvenaria estrutural.

No Brasil, o início da utilização da alvenaria estrutural se deu no período colonial, com o emprego de pedra e tijolo de barro cru. Os primeiros avanços ocorrem já no Império, com a utilização de tijolos de barro cozido, proporcionando construções com maiores vãos e resistência à ação das águas (SANTOS, 1998, p. 9). Ramalho e Corrêa (2003, p. 5) apontam que os primeiros edifícios de múltiplos pavimentos no Brasil, surgiram em 1966, em São Paulo, executados com blocos de concreto e com quatro pavimentos. Em seguida foram construídos, edifícios mais altos, com 12 pavimentos, também em São Paulo, e com 16 pavimentos em São José dos Campos.

3.2.2 APRESENTAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A alvenaria estrutural é definida como um sistema construtivo em que as paredes são elementos resistentes capazes de suportarem outras cargas além do seu peso próprio (PENTEADO, 2003, p. 53). Neste sistema, a estrutura é executada concomitantemente com as paredes de vedação, pois estas, como salienta Hendry (1990, p. 1), desempenham várias funções ao mesmo tempo, dentre as quais: estrutural, de divisão de espaços, de isolante térmico e acústico e ainda, de proteção contra o fogo.

Os principais elementos constituintes da estrutura em alvenaria, segundo Ramalho e Corrêa (2003, p. 6) são: bloco, argamassa, graute e aço. O bloco é o componente básico e o principal responsável pela definição das características resistentes da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 7). Na figura 2, são apresentados os modelos de blocos cerâmicos da linha com 7 MPa de resistência característica à compressão, fabricados pela Pauluzzi Blocos Cerâmicos Ltda., normalmente utilizados em edifícios de até 5 pavimentos no Rio Grande do Sul.

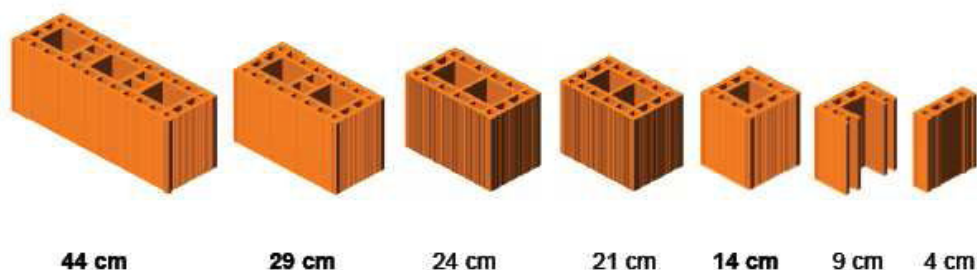


Figura 2: tipos de blocos cerâmicos de 7 MPa
(PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS LTDA., 2010)

A argamassa de assentamento possui as funções básicas de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre os blocos, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações. Usualmente composta de areia, cimento, cal e água, a argamassa deve possuir trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade (RAMALHO; CORRÊA, p. 7-8). Atualmente, grande parte das construtoras utiliza argamassa industrializada, a fim de reduzir as perdas e aumentar a produtividade, visto que ela pode ser armazenada em sacos e misturada no local da aplicação, evitando assim a necessidade de centrais de produção e facilitando o transporte dentro da obra.

O graute é um concreto com agregados de pequena dimensão e relativamente fluido, utilizado para o preenchimento dos vazios dos blocos, quando necessário. Juntamente com armadura, possui a função de solidarizar os blocos, para aumentar a capacidade portante ou combater as tensões de tração que a alvenaria não tem condições de resistir (RAMALHO; CORRÊA, p. 8).

Finalmente, com relação à armadura, as barras de aço utilizadas são as mesmas empregadas nas estruturas de concreto armado, mas neste caso, sempre envolvidas por graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria, já que se considera que o conjunto trabalhe monoliticamente (RAMALHO; CORRÊA, p. 8). Normalmente, nas vergas, contra-vergas e última fiada, quando preenchidas com graute, utiliza-se a treliça metálica, com 8 cm de altura, banzo superior na bitola de 6 mm e banzo inferior e diagonal na bitola de 4,2 mm.

Segundo Duarte² (1999 apud RICHTER, 2007a, p. 51) o sistema em alvenaria estrutural é denominado de laminar (figura 3), já que tanto as paredes estruturais como as lajes atuam como lâminas.

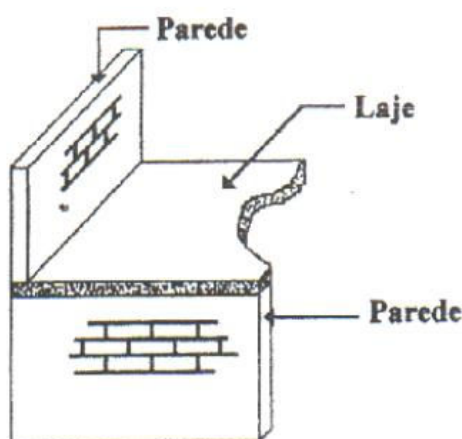


Figura 3: estrutura laminar (RICHTER, 2007b, p. 7)

Com relação à execução deste sistema construtivo, a figura 4 aponta todas as etapas, de forma esquemática, bem como a sequência a ser seguida (RICHTER, 2007a, p. 55). Observa-se a pequena quantidade de etapas e a possibilidade de execução por somente uma equipe. Porém,

² DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre: Associação Nacional da Indústria Cerâmica, 1999.

em casos de empreendimentos com elevado número de unidades, a prática comum adotada pelas construtoras, a fim de aumentar a produtividade, é destacar uma equipe específica para a execução da marcação da primeira fiada.

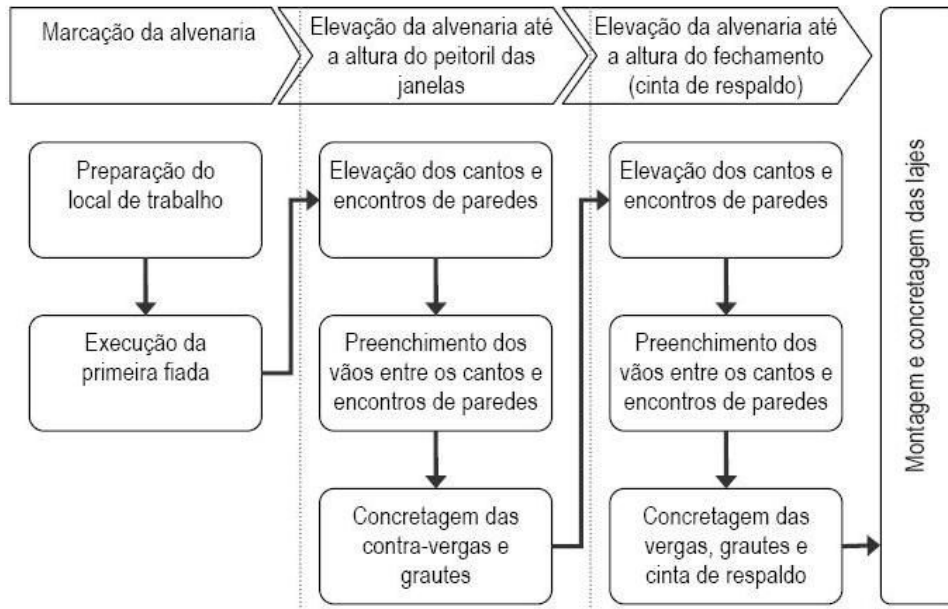


Figura 4: sequência de execução da alvenaria estrutural (RICHTER, 2007a, p. 56)

Através da análise das figuras 5 e 6 pode-se verificar as etapas de elevação dos cantos das paredes, concretagem dos pontos de graute e contravergas, bem como o aspecto da estrutura com blocos cerâmicos. Destaca-se a limpeza e organização da obra.



Figura 5: detalhe da elevação das paredes com blocos cerâmicos estruturais



Figura 6: aspecto final da estrutura com blocos cerâmicos estruturais

Segundo Roman et al. (1999, p. 13) o sistema construtivo de alvenaria armada apresenta a grande vantagem de “[...] incorporar facilmente os conceitos de racionalização, produtividade e qualidade, produzindo, ainda, construções com bom desempenho tecnológico aliado a baixos custos.” (ROMAN et al., 1999, p. 13). A racionalização típica necessária para aplicação desse sistema possibilita: diminuir os custos e desperdício da construção, aumentar a produtividade, melhorar o desempenho e diminuir a incidência de manifestações patológicas (PENTEADO³, 2003 apud ALEXANDRE, 2008, p. 16), características fundamentais para o segmento habitacional de interesse social.

Outra característica importante da alvenaria estrutural é a utilização dos princípios da coordenação modular, que, segundo Mamede⁴ (2006 apud ALEXANDRE, 2008, p. 1), traz grandes vantagens como:

- a) simplificação da elaboração do projeto;
- b) padronização das dimensões, com redução do número de formatos dos componentes de construção;
- c) racionalização e simplificação na execução da obra com facilidade de montagem;
- d) redução de quebra dos materiais, e conseqüentemente, redução de perdas.

³ PENTEADO, A. F. **Gestão da produção do sistema construtivo em alvenaria estrutural**. 2003. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

⁴ MAMEDE, F. C. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. 2001. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Com relação às desvantagens, pode-se destacar: limitações do projeto arquitetônico pela concepção estrutural, que não permite a construção de obras arrojadas e impossibilidade de adaptação de arquitetura para um novo uso (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 11-12). Roman et al. (1999, p. 21) também citam como inconveniente, “[...] a limitada possibilidade de remoção de paredes, havendo necessidade de definir, já no projeto, quais as que podem ser removidas.”.

Quanto aos custos, Roman et al. (1999, p. 21) destacam que:

[...] normalmente é mais econômica do que prédios estruturados, o que ocorre não só por se executarem estrutura e alvenaria numa só etapa, mas também devido à economia no uso de madeiras para formas, redução no uso de concreto e ferragem, menores espessuras de revestimento, maior rapidez na execução. Além disso, a simplificação nas instalações, em que são evitados rasgos nas paredes, ocasiona menor desperdício de material do que o verificado em obras convencionais.

Devido a isso, a alvenaria estrutural apresenta-se como uma alternativa interessante frente ao concreto armado, porém requer a utilização de materiais mais caros e também uma execução mais cuidadosa. Mas este “[...] acréscimo de custo para a produção da alvenaria estrutural compensa com folga a economia que se obtém com a retirada dos pilares e vigas.” (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9).

Duarte⁵ (1999 apud ALEXANDRE, 2008, p. 17) aponta que a alvenaria estrutural pode proporcionar uma economia de até 30% dos custos da obra para a grande maioria dos tipos de edificações, quando comparado com o sistema em concreto armado convencional. Santos (1998, p. 3) vê este sistema construtivo como sendo “[...] ideal para a realidade brasileira, pois necessita de mão de obra de fácil aprendizado, possui elevado potencial de racionalização e não exige grandes investimentos e imobilização de capital para a aquisição de equipamentos.”.

A seguir serão apresentados alguns conceitos básicos, a fim de esclarecer eventuais dúvidas com relação ao sistema construtivo como um todo.

⁵ DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre: Associação Nacional da Indústria Cerâmica, 1999.

3.2.3 CONCEITOS BÁSICOS

Segundo Santos (1998, p. 16-19), tem-se as seguintes definições:

- a) alvenaria estrutural: “É toda a estrutura em alvenaria, predominantemente laminar, dimensionada com procedimentos racionais de cálculo para suportar cargas além do peso próprio.”;
- b) bloco cerâmico estrutural: segundo a NBR 15270-2, é definido como sendo um “componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém.”. Os blocos cerâmicos são classificados de acordo com suas resistências à compressão, sendo que o material básico de sua fabricação é a argila;
- c) parede de vedação: “A parede de alvenaria é denominada parede de vedação quando suporta apenas seu peso próprio, não admitindo no projeto outras cargas. Quando objetiva, também, embutir tubulações hidrossanitárias é chamada hidráulica.”;
- d) parede estrutural: “Toda aquela dimensionada por processos racionais de cálculo, para resistir a cargas além de seu peso próprio.”;
- e) alvenaria estrutural não armada: “Aquela construída com blocos estruturais vazados, assentados com argamassa, e que contém armadura com finalidade construtiva de amarração, não sendo esta última considerada na absorção dos esforços calculados.”;
- f) alvenaria estrutural armada: “Aquela construída com blocos estruturais vazados, assentados com argamassa, na qual alguns vazados são preenchidos continuamente com graute, contendo armaduras envolvidas o suficiente para absorver os esforços calculados, além daquelas com finalidade construtiva ou de amarração.”;
- g) verga: “[...] elemento estrutural colocado sobre vãos de aberturas não maiores que 1,20 m, com a finalidade de transmitir cargas verticais para os trechos adjacentes ao vão.”;
- h) contra-verga: “Elemento estrutural colocado sob o vão da abertura, com a finalidade de absorver eventuais esforços de tração.”.

3.3 SISTEMA CONSTRUTIVO EM ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO

Primeiramente será exposto um breve histórico com relação ao sistema construtivo e posteriormente se dará a apresentação do mesmo.

3.3.1 Breve Histórico

O surgimento do concreto armado se deu somente após o registro da patente do cimento Portland por John Aspdin em 1824. Inicialmente ocorreu a construção de um barco por Lambot, em 1855, e posteriormente Monier, em 1877, executou a construção de vasos, ambos de argamassa armada. O primeiro edifício totalmente estruturado em concreto armado com pilares, vigas e lajes foi inaugurado em 1901: um prédio de 7 andares projetado por François Hennebique (HELENE, 2010).

Quanto ao emprego no Brasil na construção de edifícios, desde os primórdios se tem conquistado marcas e recordes. Pode-se destacar as seguintes construções, segundo Vasconcelos (1985, p. 19):

- a) prédio Martinelli, construído em São Paulo, entre 1925 e 1929, com área construída de 40.000 m² com 106,5 m de altura e 30 pavimentos, sendo o maior do mundo para a época, superado apenas em 1933;
- b) edifício **A Noite**, construído no Rio de Janeiro, em 1928, com 22 pavimentos e 102,8 m de altura a partir do rés-do-chão, e 3,6 m enterrados, sendo projeto de Emílio Baumgart;
- c) edifício Itália, construído em São Paulo, sendo o mais alto edifício em concreto armado do mundo durante alguns meses em 1962, com 150 m de altura a partir do nível da rua, 47 pavimentos e área construída de 52.000 m².

3.3.2 Apresentação do Sistema Construtivo

O concreto armado se caracteriza pela associação do concreto com barras de aço, sendo que o funcionamento conjunto destes materiais só é possível graças à aderência (ARAÚJO, 2003, p. 1). O concreto é um conglomerado composto por cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, sendo atualmente “[...] o segundo material mais consumido pelo homem, superado apenas pela água.” (GRAZIANO, 2005, p. 15).

O aço é empregado nas estruturas de concreto armado devido à baixa resistência à tração do concreto, sendo cerca de 10% da sua resistência à compressão, cumprindo a tarefa de absorver os esforços de tração na estrutura e aumentar a capacidade de carga dos elementos comprimidos (ARAÚJO, 2003, p. 1). É produzido em barras, obtido através do processo de

laminação, sendo que as bitolas, em milímetros, padronizadas pela NBR 7480⁶ são: 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32 e 40 (FUSCO, 1995, p. 3).

No caso do concreto armado convencional, objeto deste estudo, as cargas atuantes no edifício são suportadas por pilares, vigas e lajes e a alvenaria possui basicamente a função de vedação. Este modelo de estrutura é chamado de estrutura linear, e está exemplificado na figura 8 (RICHTER, 2007b, p. 7).

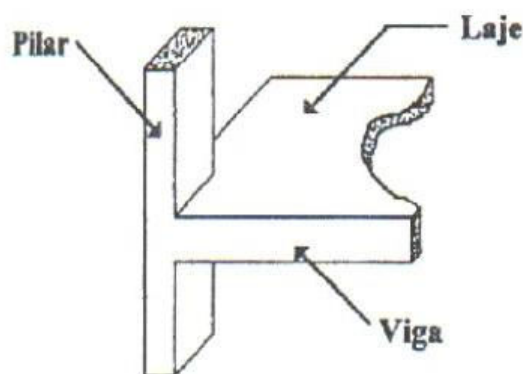


Figura 7: estrutura linear (RICHTER, 2007b, p. 7)

Quanto aos elementos estruturais básicos que compõem a estrutura, segundo a NBR 6118, os pilares são elementos lineares de eixo reto, dispostos na vertical que recebem basicamente esforços de compressão, oriundos do peso próprio da estrutura além de outras cargas. Já as vigas são elementos lineares basicamente dispostos na horizontal, nas quais o esforço preponderante é o de flexão. Por fim a laje ou placa é um elemento estrutural laminar de superfície plana sujeito principalmente a ações normais ao seu plano e normalmente constituem os pisos dos edifícios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003 p. 74-75).

O concreto armado é bastante difundido e utilizado devido à fácil adaptação da estrutura ao projeto arquitetônico, não sendo este dependente daquele e permitindo construções arrojadas com grandes vãos e alturas. Também possibilita a personalização dos espaços internos, sendo atualmente um forte argumento de venda para os empreendimentos habitacionais. Este

⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: barras e fios destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 1996.

sistema é o mais utilizado no Brasil na atualidade, para a construção de prédios residenciais com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos (SILVA, 2003, p. 23).

Além do sistema convencional moldado *in loco*, atualmente existem diversas outras opções para execução da estrutura em concreto armado, dentre os quais pode-se citar: com peças de concreto pré-moldado, utilizando protensão e também com laje nervurada.

Com relação à execução da estrutura convencional de concreto armado, esta segue basicamente a sequência geral proposta por Freire⁷ (2001 apud THOMAZ 2005, p. 535) indicada na figura 8.

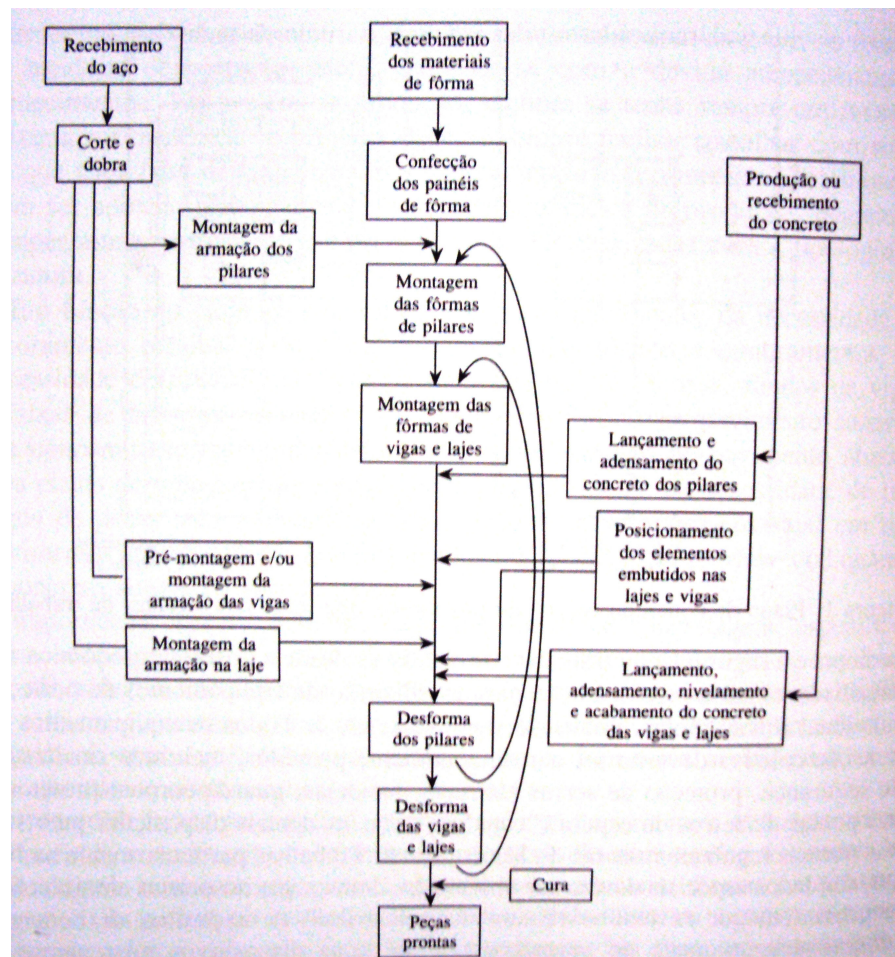


Figura 8: diagrama de produção de estrutura de concreto armado convencional (FREIRE⁸, 2001 apud THOMAZ, 2005, p. 536)

⁷ FREIRE, T. M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações:** caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo. 2001. 325 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

⁸ op. cit.

Percebe-se a grande quantidade de etapas e a necessidade de algumas serem executadas em paralelo, como por exemplo, a montagem das fôrmas e da armadura, que por consequência demandam mais de uma equipe de profissionais. Também observa-se a interligação das etapas e possível ocorrência de interferências nos processos. Nas figuras 9 e 10, pode-se verificar a etapa de execução das fôrmas de madeira e também o aspecto final da estrutura já executada com alguns painéis de alvenaria de vedação.



Figura 9: montagem da fôrma de madeira



Figura 10: aspecto da estrutura em concreto armado convencional

Segundo Batlouni Neto (2005, p. 201):

Dentre todos os subsistemas que formam a construção de um edifício, a estrutura é o de maior valor do ponto de vista econômico. Em estudo feito para edifícios construídos na grande São Paulo, todos eles com estrutura reticulada em concreto armado, Batlouni Neto (2003)⁹ constatou que a porcentagem da estrutura no custo total variou de 14,08% a 22,77%, tendo como valor médio 17,69%.

Para Assahi (2005, p. 411) devido as fôrmas representarem entre 25% e 40% do custo da estrutura de concreto armado, equivalente a 5% a 8% do custo total do empreendimento, este item merece atenção especial, não só pela sua representatividade, mas principalmente, pela sua suscetibilidade. Ressalta também que “[...] na maioria das vezes torna-se o único fator significativo de competitividade na execução de estrutura, uma vez que os itens armação e concreto são pouco variáveis, independentes da metodologia de execução.”.

As fôrmas possuem papel fundamental na qualidade e acabamento final da estrutura. Atualmente observa-se que, devido o seu elevado custo, algumas construtoras às utilizam além da capacidade do material, podendo nestes casos, resultar em estruturas com desníveis e desaprumos, que geram altos custos para a correção e podendo apresentar manifestações patológicas no futuro.

Com relação às vantagens deste sistema construtivo, Araújo (2003, p. 2) afirma que:

O concreto armado possui inúmeras vantagens sobre os demais materiais estruturais, como: economia; facilidade de execução em diversos tipos de fôrmas; resistência ao fogo, aos agentes atmosféricos e ao desgaste mecânico; praticamente não requer manutenção ou conservação; permite facilmente a construção de estruturas hiperestáticas (com reservas de segurança).

Também pode-se destacar a disponibilidade de mão de obra com experiência no mercado, visto que por muito tempo foi o sistema utilizado para as construções de múltiplos pavimentos, principalmente no setor habitacional.

Quanto às desvantagens deste sistema construtivo, pode-se destacar: concentração de cargas pontuais nos pés dos pórticos, que podem impactar nas fundações; dificuldades para execução de reformas e demolições visto a elevada rigidez e a presença de aço no interior das peças estruturais e, também, menor proteção térmica (ARAÚJO, 2003, p. 2). Outro ponto negativo,

⁹ BATLOUNI NETO, J **Projeto de estruturas de concreto armado**: diretrizes para otimização do desempenho e do custo do edifício. 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

e que eleva o custo da estrutura, é o grande consumo de aço, sendo atualmente um insumo caro e com seguidas altas de preço.

Comparativamente ao sistema em alvenaria estrutural, além da confecção da estrutura de concreto armado, é necessário a execução da alvenaria de vedação, a fim de dividir os espaços e proteger a edificação dos agentes externos. Recomenda-se que a alvenaria de vedação seja executada posteriormente à confecção da estrutura de concreto armado, porém atualmente, verifica-se que muitas construtoras estão adotando a prática de executá-la posteriormente aos pilares e anteriormente à laje, a fim de utilizar as paredes como fôrma para o fundo das vigas, para reduzir custos.

Com relação à execução da alvenaria de vedação, Santos (1998, p. 12) aponta como responsáveis pelos resultados de baixa produtividade e alto índice desperdício a utilização de métodos construtivos deficientes, principalmente quanto à fiscalização dos serviços, organização e padronização do processo de produção devido à utilização de técnicas construtivas ultrapassadas. A fim de aumentar a produtividade e qualidade na execução desta etapa, através da qualificação da mão de obra e reduzir o desperdício de material e tempo, Silva (2003, p. 54-55) propõe a elaboração e utilização de projetos específicos para esta etapa, que consequentemente induzem a racionalização de todos os demais subsistemas que lhe fazem interface.

A seguir serão apresentados alguns conceitos básicos, que julgou-se importante a fim de esclarecer eventuais dúvidas com relação à estes itens.

3.3.3 Conceitos Básicos

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 4; 74), tem-se as seguintes definições para os itens que compõe a estrutura de concreto armado:

3.1.1 concreto estrutural: termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural;

[...]

3.1.3 elementos de concreto armado: aqueles cujo comportamento depende da aderência entre concreto e armadura, e os quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência;

[...]

14.4 elementos estruturais: as estruturas podem ser idealizadas como a composição de elementos estruturais básicos, classificados e definidos de acordo com a sua forma geométrica e a sua função estrutural.

14.4.1 elementos lineares: são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras.

3.4 COMPARATIVO RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS ESTUDADOS

Apresentados os sistemas construtivos, quanto as suas características de execução, vantagens e desvantagens, para facilitar a compreensão e destacar de forma mais acentuada as diferenças entre os sistemas, apresenta-se no quadro 1 um resumo comparativo.

SISTEMAS	ALVENARIA ESTRUTURAL	ESTRUTURA APORTICADA DE CONCRETO ARMADO
Principais tipologias, limitações estruturais	edifícios de média altura; vãos de 5 ou 6 metros; projeto modulado; necessidade de integração com outros subsistemas	uso em qualquer tipo de estrutura; grande flexibilidade
Emprego no Brasil	associado à construção de habitações de interesse social	grande aceitação; utilizado em todas as regiões do País
Aspectos relacionados à mão de obra	mão de obra qualificada; pouca disponibilidade	mão de obra tradicional da construção civil; disponibilidade de mão de obra experiente
Vantagens	estrutura executada concomitantemente com as paredes; racionalização; redução do uso de concreto, aço e formas; simplificação nas instalações elétricas e hidrossanitárias; redução da espessura de revestimentos argamassados; industrialização do canteiro; possibilidade de utilização de lajes e escadas pré-moldadas; elevada produtividade;	facilidade de execução em diversos tipos de fôrmas; personalização dos espaços; execução de obras arrojadas com grandes vãos e alturas
Desvantagens	limitações do projeto arquitetônico; impossibilidade de remoção de paredes; pouca disponibilidade de mão de obra qualificada; necessidade constante de treinamento; poucos fornecedores de blocos cerâmicos estruturais	concentração de cargas pontuais nos pés dos pórticos; menor proteção térmica; elevada utilização de aço, concreto e fôrmas

Quadro 1: comparativo resumo entre os sistemas construtivos

4 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO-PADRÃO, QUANTITATIVOS DE INSUMOS E CUSTOS DOS SERVIÇOS

Neste capítulo será realizado a apresentação do empreendimento-padrão bem como o levantamento dos quantitativos de insumos e custos dos serviços referentes aos dois sistemas construtivos estudados.

4.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO-PADRÃO

O empreendimento utilizado como base para o estudo comparativo é composto por 4 blocos de cinco pavimentos, sem elevador, com quatro apartamentos de dois dormitórios por andar. Os apartamentos tipo, com sacada, possuem área real privativa de 48,45 m² e o pavimento tipo possui 210,01 m². A figura 11 apresenta a perspectiva da fachada e as figuras 12 e 13 a implantação e a planta baixa do pavimento tipo.



Figura 11: fachada do empreendimento-padrão

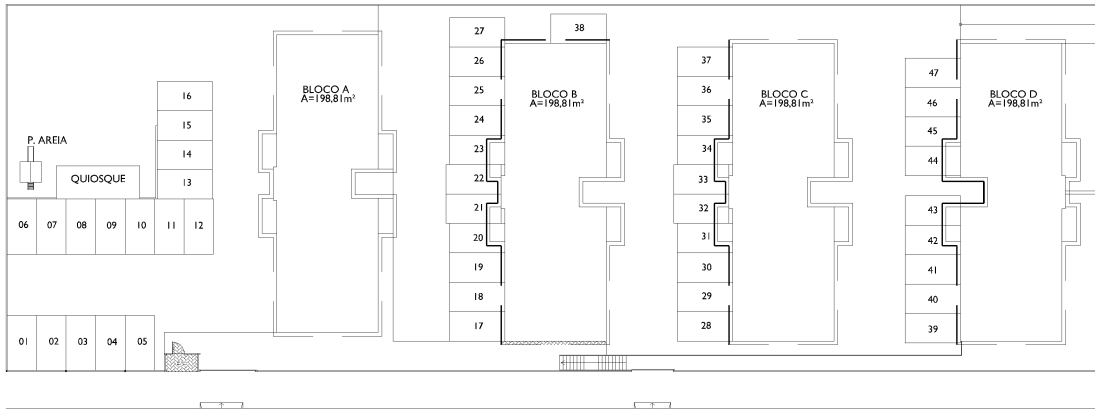


Figura 12: implantação do empreendimento

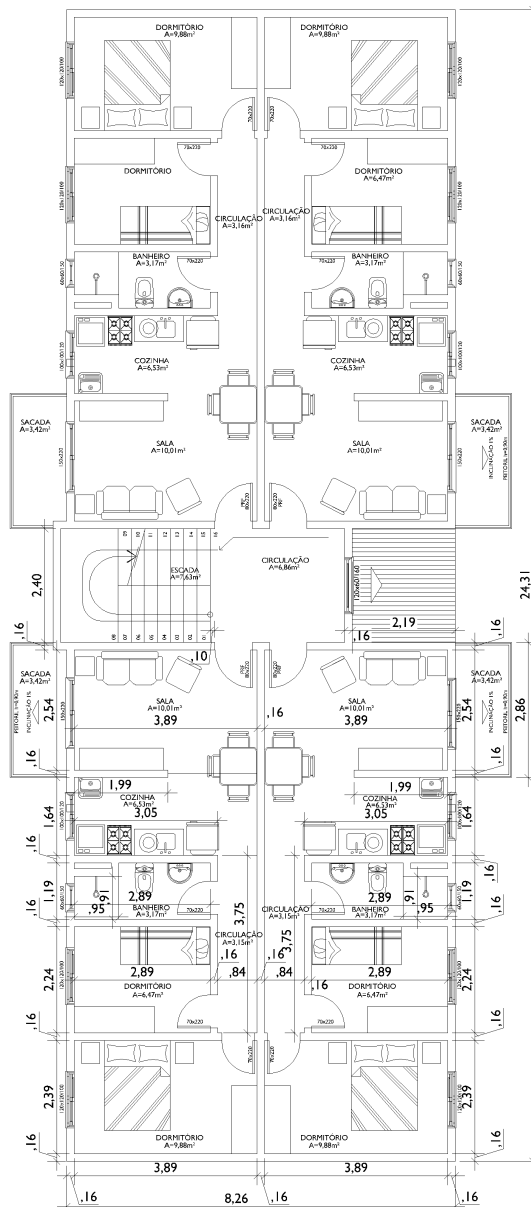


Figura 13: pavimento tipo

4.2 QUANTITATIVOS DE INSUMOS E CUSTOS DOS SERVIÇOS

A seguir será apresentado os resultados dos levantamentos de quantitativos de serviços e insumos necessários para a execução do empreendimento-padrão através dos sistemas construtivos estudados bem como dos respectivos preços aplicados na cidade de atuação da construtora, que serve de base para o trabalho.

4.2.1 Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural

O empreendimento adotado como referência para o estudo é efetivamente construído através do sistema construtivo em alvenaria estrutural, logo os quantitativos foram levantados com base no projeto específico, elaborado por uma empresa terceirizada, e também, segundo os consumos observados em obra.

4.2.1.1 Pavimento Tipo

A seguir serão apresentados os quantitativos de insumos e respectivos custos referentes ao pavimento tipo do empreendimento, composto por 4 apartamentos de dois dormitórios e circulação condominial. Nas figuras 14 e 15 pode-se verificar a planta de elevação das paredes e da primeira fiada em bloco cerâmico do projeto estrutural.

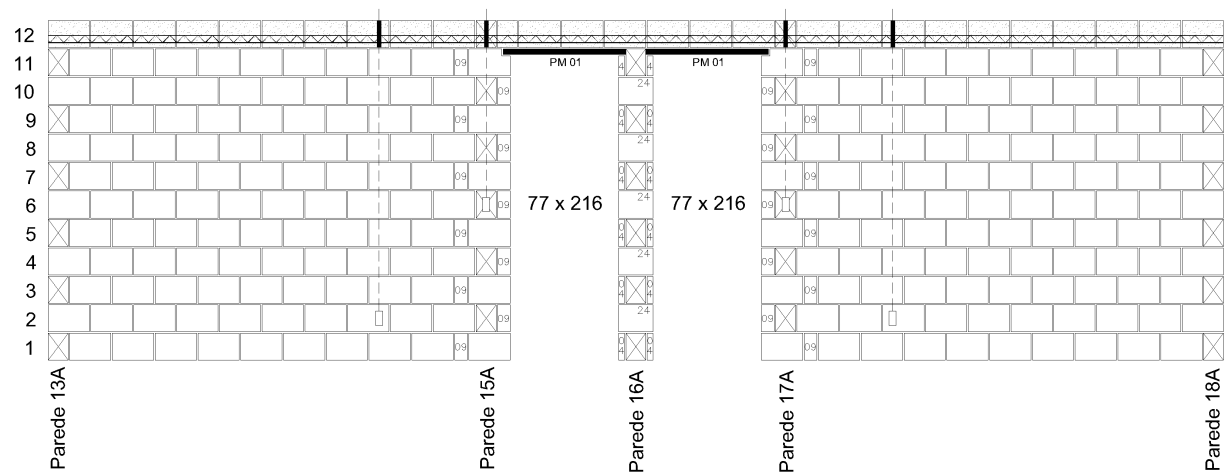


Figura 14: ilustração da planta de elevação das paredes

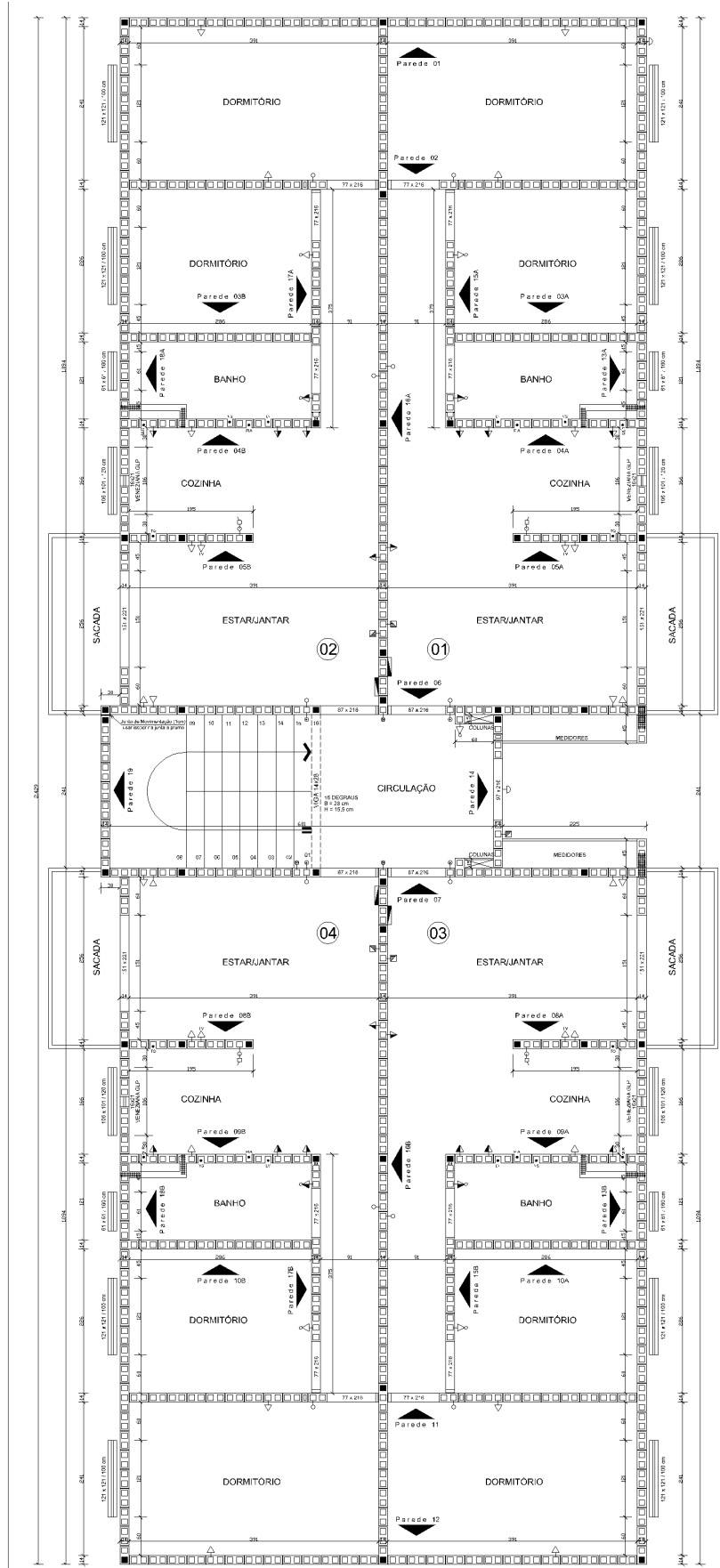


Figura 15: ilustração da primeira fiada de blocos cerâmicos

Inicialmente levantou-se os quantitativos de blocos cerâmicos, obtidos através do quadro resumo constante no projeto específico a fim de se ter todos os tipos de blocos necessários, considerando perda de 5%, para cada pavimento tipo, obtendo-se os seguintes resultados:

Bloco	Dimensão	Quantidade	Preço Unitário	Total
Bloco Padrão	14x19x29	5105	R\$ 1,28	R\$ 6.554,82
Bloco e Meio	14x19x44	499	R\$ 2,02	R\$ 1.008,48
Meio Bloco	14x19x14	116	R\$ 0,97	R\$ 112,17
Bloco Especial	14x19x24	91	R\$ 1,28	R\$ 116,84
Bloco Especial	14x19x19	34	R\$ 1,28	R\$ 43,66
Bloco de Instalação 4x2	14x19x29	78	R\$ 2,34	R\$ 182,36
Bloco Hidráulico Vertical	14x19x29	90	R\$ 2,34	R\$ 210,42
Canaleta "J"	14x(15x19)x30	86	R\$ 1,71	R\$ 146,63
Canaleta "U"	14x19x29	662	R\$ 1,71	R\$ 1.128,71
Meia Canaleta "U"	14x19x15	45	R\$ 1,71	R\$ 76,73
Compensador 04	14x19x04	134	R\$ 0,97	R\$ 129,58
Compensador 09	14x19x09	58	R\$ 0,97	R\$ 56,09
Total		6998		R\$ 9.766,48

Quadro 2: quantitativos de blocos cerâmicos estruturais

O consumo de argamassa industrializada observado na construtora, por pavimento, foi de 170 sacos de 40kg, totalizando 6.800 kg, sendo 18,20 kg/m² de alvenaria, conforme o quadro 3. O consumo de graute por pavimento observado, considerando os pontos verticais, contra-vergas e última fiada, foi de 3,90 m³, apresentado no quadro 4. Com relação ao aço, foi levantado do projeto da alvenaria estrutural o consumo de 180,32 metros lineares de treliça, referente a 148,04 kg, com 8 cm de altura, com banzo superior na bitola 6 mm e banzo inferior e diagonal na bitola de 4,2 mm por pavimento. Para a barra de 10 mm, o consumo para um bloco de 5 pavimentos é de 185 metros lineares, referente a 114,20 kg, cujo detalhamento está no quadro 5.

Argamassa de Assentamento Industrializada - Pav. Tipo				
Argamassa	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Valor Total
Argamassa 4 MPa	sacos de 40 kg	170	R\$ 9,50	R\$ 1.615,00

Quadro 3: consumo de argamassa de assentamento industrializada

Graute Dosado em Central 10 MPa - Pav. Tipo				
Local de Aplicação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Última Fiada	m ³	2,50	R\$ 275,00	R\$ 687,50
Pontos Verticais	m ³	1,15	R\$ 275,00	R\$ 316,25
Contra-Vergas	m ³	0,25	R\$ 275,00	R\$ 68,75
Total		3,90		R\$ 1.072,50

Quadro 4: consumo de graute

Aço - Pav. Tipo					
Tipo	Bitola	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Barra	10mm	m	37	R\$ 1,90	R\$ 70,30
Treliça h=8cm	4,2mm	m	180,32	R\$ 2,87	R\$ 517,52
Total					R\$ 587,82

Quadro 5: consumo de aço para alvenaria estrutural

Também quantificou-se o isopor e manta asfáltica necessários para efetuar a camada que impede a aderência da laje na alvenaria e permite a livre movimentação da laje de forro a fim de evitar fissuras horizontais nas paredes do último pavimento, conforme detalhamento da figura 16. O consumo de isopor de 1 cm de espessura é de 61,44 m² e manta asfáltica com película de alumínio em uma das faces, de 22,63 m².



Figura 16: detalhe da separação entre a alvenaria e a laje de forro

Isopor e Manta Asfáltica - Bloco				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Manta Asfáltica	m ²	22,63	R\$ 10,50	R\$ 237,62
Isopor	m ²	61,44	R\$ 4,00	R\$ 245,76
Total				R\$ 483,38

Quadro 6: consumo de isopor e manta asfáltica

Cada pavimento tipo possui 161,66 metros lineares de paredes com pé-direito de 2,40m, totalizando 388 m² de alvenaria estrutural, incluindo os vãos de aberturas, como portas e

janelas, que representam 14,54 m², para o cálculo do custo da mão de obra. A equipe responsável pela execução deste serviço era composta por 5 pedreiros e 2 serventes, sendo que o tempo médio observado para a conclusão de um pavimento é de 5 dias, tendo assim a produtividade de 15,52 m²/homem/dia. Na construtora, este serviço é terceirizado e pago por m² executado, sendo este o valor de R\$ 20,00, conforme quadro 7.

Mão de Obra - Pav. Tipo				
	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Total
Mão de Obra	m ²	388	R\$ 20,00	R\$ 7.760,00

Quadro 7: mão de obra da alvenaria estrutural

Levantados todos os insumos e respectivos preços, pôde-se calcular o custo total deste sistema construtivo por pavimento, resultando em R\$ 20.898,48, referente a R\$ 53,86 por metro quadrado, bem como verificar o peso de cada insumo no custo total, conforme demonstrado no quadro 8.

Resumo - Pav. Tipo (388 m²)			
Insumo	Custo Total	Custo / m²	%
Bloco Cerâmico	R\$ 9.766,48	R\$ 25,17	46,73
Argamassa	R\$ 1.615,00	R\$ 4,16	7,73
Aço	R\$ 587,82	R\$ 1,51	2,81
Graute	R\$ 1.072,50	R\$ 2,76	5,13
Isopor e Manta Asfáltica	R\$ 96,68	R\$ 0,25	0,46
Mão de Obra	R\$ 7.760,00	R\$ 20,00	37,13
Total	R\$ 20.898,48	R\$ 53,86	

Quadro 8: custos da alvenaria estrutural para o pavimento tipo

Quanto a laje de concreto armado, através do projeto específico existente em conjunto com as informações fornecidas pela construtora e observado em obra, pôde-se levantar os quantitativos detalhados de insumos necessários para sua execução. Com relação a mão de obra, observou-se que era executada posteriormente à alvenaria estrutural por uma segunda equipe formada por 5 carpinteiros/pedreiros e 2 serventes, no período de 5 dias, sendo que o custo aplicado por empreiteira é de R\$ 300,00 por m³ de concreto executado.

Para a fôrma da laje observou-se que a estrutura era composta por caibros de 5x7 cm dispostos a cada 80 cm. Sobre estes, caibros de 5x7 cm a cada 25 cm de distância na transversal, e finalmente sobre os caibros a chapa compensada de 14 mm de espessura, conforme ilustrado nas figuras 17 e 18. No quadro 9 consta todos os insumos necessários, o

quantitativo e o respectivo preço unitário bem como o valor total referente a este serviço para o pavimento tipo.



Figura 17: fôrma para laje

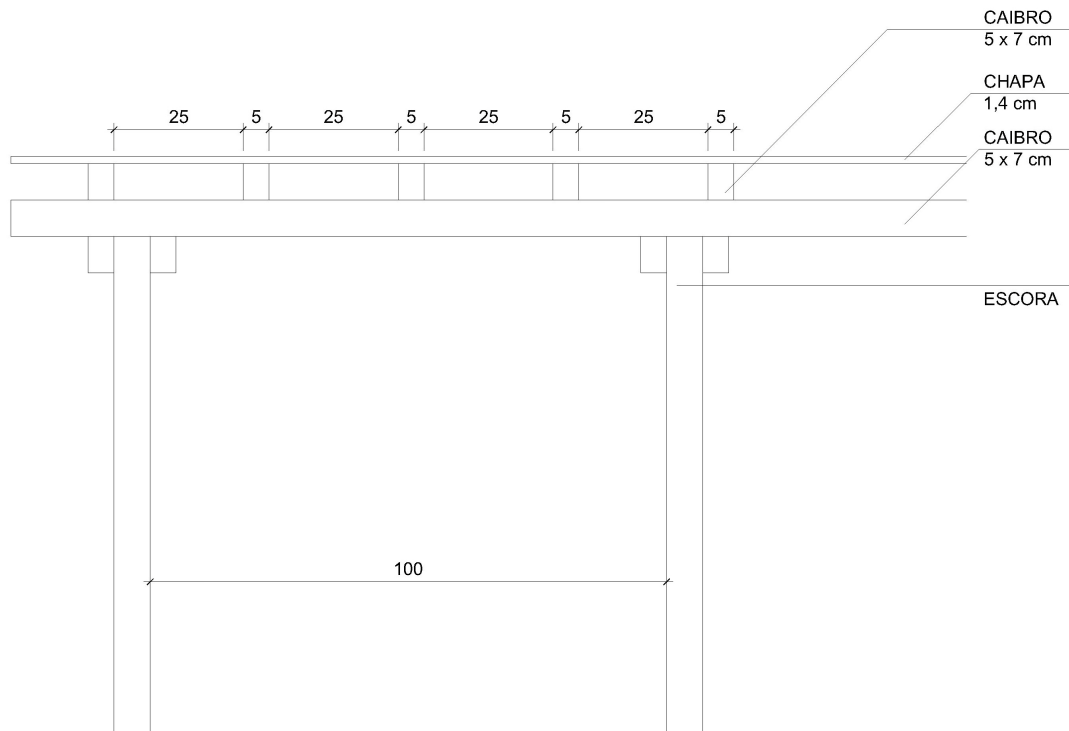


Figura 18: detalhamento da fôrma para lajes

Fôrma para Laje - 10 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Caibro 5x7cm (1ª camada a cada 80cm)	m	220,60	R\$ 2,31	R\$ 509,59
Caibro 5x7cm (2ª camada a cada 25cm)	m	578,9	R\$ 2,31	R\$ 1.337,26
Chapa Plástica 1,4cm	m ²	180,00	R\$ 17,35	R\$ 3.123,00
Escoras de eucalipto	uni	200,00	R\$ 2,20	R\$ 440,00
Pregos	kg	36,00	R\$ 4,80	R\$ 172,80
Total				R\$ 5.582,65

Quadro 9: fôrma para lajes do pavimento tipo

Quanto ao aço, obteve-se o consumo de 785 kg por laje, entre armadura positiva, negativa e vigas das sacadas, sendo 43,61 kg/m³. O resumo dos quantitativos e respectivos custos está apresentado no quadro 10.

Aço Laje - Pav Tipo					
Insumo	Tipo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 6.3mm	Positiva	kg	495,00	R\$ 3,67	R\$ 1.816,65
Aço 10.0mm	Positiva	kg	12,00	R\$ 3,03	R\$ 36,36
Subtotal			507,00		R\$ 1.853,01
Aço 6.3mm	Negativa	kg	228,00	R\$ 3,67	R\$ 836,76
Aço 8.0mm	Negativa	kg	11,00	R\$ 3,39	R\$ 37,29
Subtotal			239,00		R\$ 874,05
Aço 6.3mm	Vigas sacadas	kg	9,00	R\$ 3,67	R\$ 33,03
Aço 8.0mm	Vigas sacadas	kg	3,00	R\$ 3,39	R\$ 10,17
Aço 10.0mm	Vigas sacadas	kg	6,00	R\$ 3,03	R\$ 18,18
Aço 12.5mm	Vigas sacadas	kg	21,00	R\$ 2,88	R\$ 60,48
Subtotal			39,00		R\$ 122,48
Arame Recozido		kg	8,00	R\$ 5,00	R\$ 40,00
Total			785,00		R\$ 2.888,92

Quadro 10: aço para lajes do pavimento tipo

A laje possui espessura de 9 cm, sendo que o consumo total de concreto é de 18 m³. Aliado aos resultados anteriores, pôde-se calcular o custo total da laje para o pavimento tipo, demonstrado no quadro 11, considerando 10% do custo total da fôrma devido ao seu reaproveitamento, obtendo-se o valor de R\$ 13.671,18, sendo R\$ 759,51/m³.

Resumo Custos Laje - Pav. Tipo					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²	180,00		R\$ 558,26	4,08
Aço	kg	785,00		R\$ 2.888,92	21,13
Concreto f _{ck} 25 MPa	m ³	18,00	R\$ 268,00	R\$ 4.824,00	35,29
Mão de Obra	m ³	18,00	R\$ 300,00	R\$ 5.400,00	39,50
Total				R\$ 13.671,18	

Quadro 11: custo total da laje do pavimento tipo para o sistema em alvenaria estrutural

Finalmente, baseado em nos resultados obtidos, foi possível calcular o custo total para execução completa do pavimento tipo, considerando a alvenaria estrutural, que possui a função de estrutura e também de vedação, e a laje de concreto armado moldada *in loco*, obtendo-se o valor total de R\$ 34.569,66, conforme o quadro 12.

Resumo de Custos - Pav. Tipo	
Alvenaria Estrutural	R\$ 20.898,48
Laje de Concreto Armado	R\$ 13.671,18
Total	R\$ 34.569,66

Quadro 12: custo do pavimento tipo para alvenaria estrutural com laje de concreto armado moldada *in loco*

4.2.1.2 Fundações

Serão demonstrados os quantitativos e custos referentes às fundações para o sistema construtivo em alvenaria estrutural, usadas no empreendimento real, sendo diretas, do tipo sapata, com taxa de resistência do solo de 3 kg/cm². A figura 19 apresenta a planta de locação, com 26 sapatas e as respectivas dimensões.

Quanto às fôrmas, considerou-se sendo compostas por guias de madeira de 20 cm com 4 reaproveitamentos, devidos as sapatas possuem 40cm de altura, e para fixação e alinhamento das caixas, sarrafos de 2,5x7cm, conforme demonstrado no quadro 13.

Fôrma para Sapatas - 4 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
sarrafo 2,5x7cm	m	170	R\$ 2,31	R\$ 392,70
Guia 2,5x20cm	m	325	R\$ 2,85	R\$ 926,25
Pregos	kg	15	R\$ 5,00	R\$ 75,00
Total				R\$ 1.393,95

Quadro 13: fôrma para sapatas

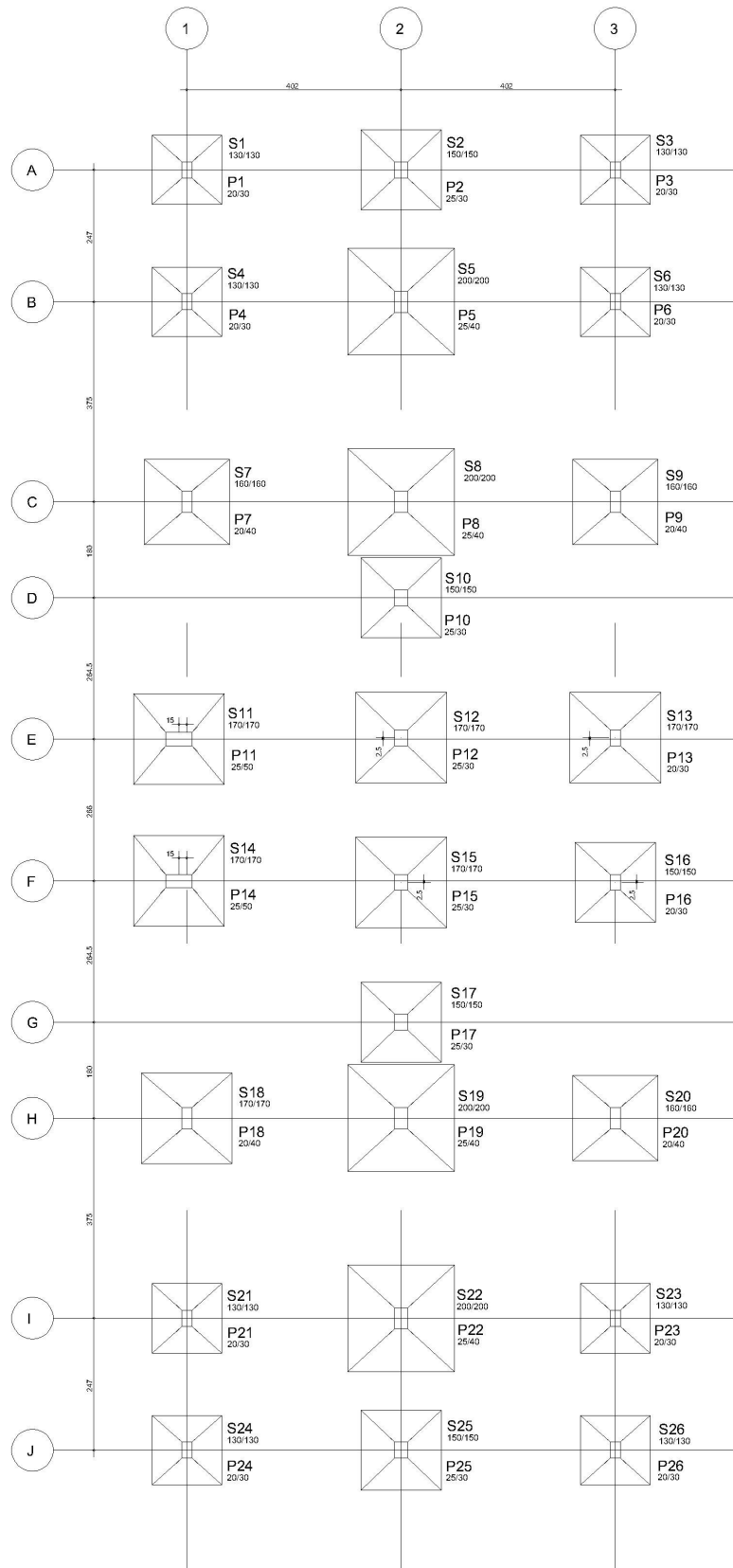


Figura 19: fôrma das sapatas para alvenaria estrutural

Quanto ao aço, levantou-se o consumo de 1.241 kg, referente a $47,73 \text{ kg/m}^3$, cujos respectivos custos estão indicados no quadro 14.

Aço das Sapatas - Bloco				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 12.5mm	kg	1241,00	R\$ 2,88	R\$ 3.574,08
Arame Recozido	kg	13,00	R\$ 5,00	R\$ 65,00
Total		1241,00		R\$ 3.639,08

Quadro 14: aço das sapatas para alvenaria estrutural

Com o volume total de concreto quantificado em 26 m^3 com f_{ck} de 25 MPa, possibilitou-se o cálculo do custo total das sapatas por bloco, apresentado no quadro 15.

Resumo Custos Sapatas - Bloco					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m^2	141,26		R\$ 348,49	1,86
Aço	kg	1241,00		R\$ 3.639,08	19,40
Concreto f_{ck} 25 MPa	m^3	26,00	R\$ 268,00	R\$ 6.968,00	37,15
Mão de Obra	m^3	26,00	R\$ 300,00	R\$ 7.800,00	41,59
Total				R\$ 18.755,57	

Quadro 15: custo total das sapatas para alvenaria estrutural

Com relação aos pilares, que ligam as sapatas às vigas de baldrame, possuem o comprimento médio de 4,5 m. Para a fôrma, considerou-se sendo composta por guias de 20 e 30 cm e na horizontal, para o travamento sarrafos de $2,5 \times 7$ cm a cada 40 cm de altura, sendo que os quantitativos e custos estão demonstrados no quadro 16. Quanto ao aço, quantificou-se o total de 1.134kg, referente a 126 kg/m^3 de concreto, apresentados no quadro 17. Isso possibilitou o cálculo do custo total dos pilares de fundação por bloco residencial, conforme disposto no quadro 18.

Fôrma para Pilares - 4 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
sarrafo $2,5 \times 7$ cm	m	50	R\$ 2,31	R\$ 115,50
Guia $2,5 \times 30$ cm	m	215	R\$ 4,32	R\$ 928,80
Guia $2,5 \times 20$ cm	m	215	R\$ 2,85	R\$ 612,75
Pregos	kg	8	R\$ 5,00	R\$ 40,00
Total				R\$ 1.697,05

Quadro 16: fôrma para pilares da fundação

Aço Pilares de Fundação – Bloco				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 6.3mm	kg	261,00	R\$ 3,67	R\$ 957,87
Aço 10.0mm	kg	67,00	R\$ 3,03	R\$ 203,01
Aço 12.5mm	kg	806,00	R\$ 2,88	R\$ 2.321,28
Arame Recozido	kg	10,00	R\$ 5,00	R\$ 50,00
Total		1134,00		R\$ 3.532,16

Quadro 17: aço dos pilares de fundação

Resumo Custos Pilares Fundação - Bloco					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²			R\$ 424,26	4,68
Aço	kg			R\$ 3.532,16	38,95
Concreto f_{ck} 25 MPa	m ³	9,00	R\$ 268,00	R\$ 2.412,00	26,60
Mão de Obra	m ³	9,00	R\$ 300,00	R\$ 2.700,00	29,77
Total				R\$ 9.068,42	

Quadro 18: custo total dos pilares de fundação

Nas vigas de baldrame, as quais recebem toda a carga da alvenaria estrutural, as seções predominantes são 20x60 cm e 25x60 cm, conforme demonstrado na planta de fôrma através da figura 20. Para a fôrma de madeira, considerou-se sendo composta por tábuas de 2,5x25 e 30 cm de largura, fixadas através de sarrafos de 2,5x7cm na vertical a cada 30cm, sendo que os quantitativos estão explícitos no quadro 19. Com relação ao aço, devido a elevada carga suportada pelas vigas, o consumo quantificado é relativamente alto, sendo 3.599 kg, referente a 167,39 kg/m³, dividido em várias bitolas apresentadas no quadro 20. Quanto ao concreto, o volume total levantado é 21,50 m³. Através destes quantitativos, possibilitou-se o cálculo do custo das vigas de baldrame para um bloco residencial, apresentado no quadro 21.

Fôrma para Vigas - 4 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
sarrafo 2,5x7cm	m	800	R\$ 2,31	R\$ 1.848,00
Guia 2,5x30cm	m	600	R\$ 4,32	R\$ 2.592,00
Guia 2,5x25cm	m	150	R\$ 3,60	R\$ 540,00
Pregos	kg	8	R\$ 5,00	R\$ 40,00
Total				R\$ 5.020,00

Quadro 19: fôrma para vigas de baldrame

Aço Vigas de Fundação - Bloco				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 5.0mm	kg	28,00	R\$ 2,86	R\$ 80,08
Aço 6.3mm	kg	680,00	R\$ 3,67	R\$ 2.495,60
Aço 8.0mm	kg	265,00	R\$ 3,39	R\$ 898,35
Aço 10.0mm	kg	245,00	R\$ 3,03	R\$ 742,35
Aço 12.5mm	kg	520,00	R\$ 2,88	R\$ 1.497,60
Aço 16.0mm	kg	926,00	R\$ 2,88	R\$ 2.666,88
Aço 20.0mm	kg	935,00	R\$ 2,88	R\$ 2.692,80
Arame Recozido	kg	36,00	R\$ 5,00	R\$ 180,00
Total		3599,00		R\$ 11.253,66

Quadro 20: aço para vigas de baldrame

Resumo Custos Vigas de Fundação - Bloco					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²	141,26		R\$ 1.255,00	5,08
Aço	kg	2,88		R\$ 11.253,66	45,52
Concreto f _{ck} 25 MPa	m ³	21,50	R\$ 268,00	R\$ 5.762,00	23,31
Mão de Obra	m ³	21,50	R\$ 300,00	R\$ 6.450,00	26,09
Total				R\$ 24.720,66	

Quadro 21: custo total das vigas de baldrame

O quadro 22 apresenta o custo total da fundação composta por sapatas, pilares e viga de baldrame para o sistema construtivo em alvenaria estrutural, equivalente a R\$ 886,21/m³ de concreto.

Resumo de Custos das Fundações – Bloco	
Sapatas	R\$ 18.755,57
Pilares	R\$ 9.068,42
Vigas de Baldrame	R\$ 24.720,66
Total	R\$ 52.544,65

Quadro 22: custo total das fundações para alvenaria estrutural

4.2.1.3 Custo Total da Estrutura

Levantados todos os quantitativos de insumos e respectivos custos dos serviços referente ao sistema construtivo em alvenaria estrutural, pôde-se calcular o custo total para um bloco residencial, tendo-se o valor de R\$ 239.064,14, considerando fundações, viga de baldrame, 5 pavimentos tipo em alvenaria estrutural com laje de concreto armado moldada *in loco*, conforme o quadro 23, bem como para o empreendimento composto por 4 blocos, obtendo-se o valor total de R\$ 956.256,58, conforme o quadro 24.

Custo Total da Estrutura - Bloco	
Fundações	R\$ 52.544,65
Alvenaria Estrutural (5x)	R\$ 104.492,39
Laje de Concreto Armado (6x)	R\$ 82.027,11
Total	R\$ 239.064,14

Quadro 23: custo total do sistema construtivo em alvenaria estrutural por bloco residencial

Custo Total da Estrutura do Empreendimento	
Fundações	R\$ 210.178,60
Alvenaria Estrutural	R\$ 417.969,55
Laje de Concreto Armado	R\$ 328.108,43
Total	R\$ 956.256,58

Quadro 24: custo total do sistema construtivo em alvenaria estrutural para o empreendimento

4.2.2 Sistema Construtivo em Estrutura Aperticada de Concreto Armado com Alvenaria de Vedação

Devido a execução do empreendimento estudado pelo sistema em alvenaria estrutural, foi necessário a elaboração do projeto da estrutura em concreto armado. Este foi desenvolvido através do software TQS, seguindo as diretrizes da NBR 6118/2003 a fim de se ter resultados coerentes e satisfatórios.

4.2.2.1 Pavimento Tipo

A seguir será apresentado os quantitativos de insumos e custos dos serviços referentes ao pavimento tipo do empreendimento, composto por 4 apartamentos de dois dormitórios e circulação condominial, para o sistema construtivo com estrutura de concreto armado

convencional e alvenaria de vedação de blocos cerâmicos. Segue abaixo, através da figura 21, o modelo estrutural resultante do cálculo da estrutura.

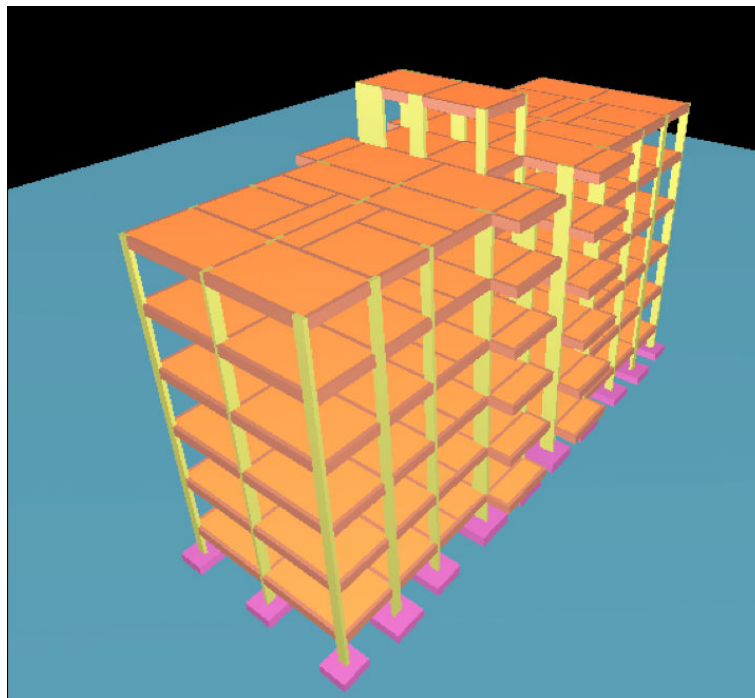


Figura 21: modelo da estrutura em concreto armado

Quanto à mão de obra, definiu-se neste estudo, que a equipe para a produção da estrutura em concreto armado, composta por pilares, vigas e laje moldados *in loco*, e alvenaria de vedação possui o mesmo número de componentes, como pedreiros e serventes, que a equipe para a produção da alvenaria estrutural e laje de concreto armado, a fim de se verificar possíveis alterações no prazo para a execução dos sistemas. A produtividade desta equipe para a execução da estrutura em concreto armado e alvenaria de vedação foi baseada nas informações obtidas na empresa, que possui larga experiência neste sistema.

Com relação ao projeto estrutural, o f_{ck} adotado no projeto é 25 MPa para pilares, vigas e lajes. Definiu-se a largura de 15 cm para os pilares, para que os mesmos fiquem embutidos na alvenaria, o que resulta em uma taxa maior de armadura, visto que é necessário multiplicar as ações consideradas no dimensionamento por um coeficiente adicional que majora os esforços solicitantes finais de cálculo, já que a largura é menor que 19cm, conforme recomendado pela NBR 6118. O lançamento de pilares resultou em 32 unidades, sendo que a posição e as dimensões podem ser verificadas na figura 22.

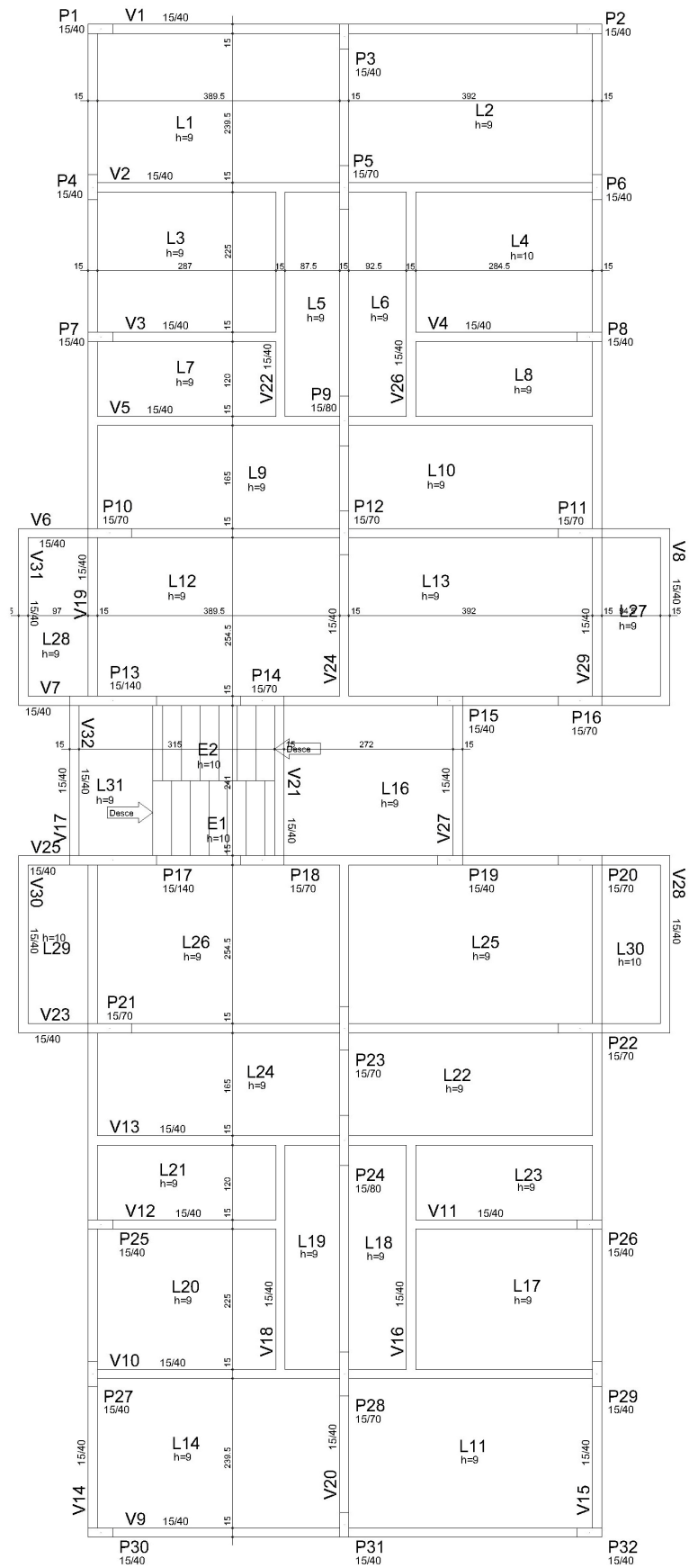


Figura 22: fôrma do pavimento tipo

Quanto às fôrmas, adotou-se como padrão a chapa compensada plastificada com 14 mm de espessura que possui capacidade de 10 reaproveitamentos, para pilares, vigas e laje, adequando a necessidade de 2 jogos de fôrmas devido o plano de execução. Para a fôrma dos pilares, considerou-se que a mesma é composta por 2 sarrafos de 2,5x7 cm fixados nas laterais das chapas longitudinalmente e sobre os sarrafos, na lateral maior, transversalmente, caibros de 5x7 cm. Na lateral de menor dimensão, para dar o travamento sobre os caibros, sarrafos de 2,5x7cm conforme ilustrado na figura 23. Finalmente para o contraventamento, guias de 2,5x15cm. O resumo dos quantitativos está apresentado no quadro 25.

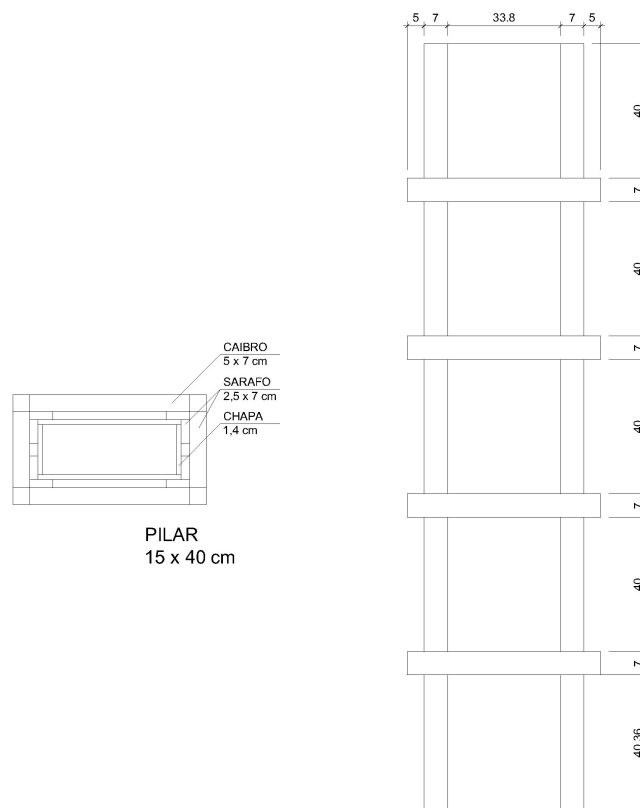


Figura 23: modelo de fôrma para pilares

Fôrma para Pilares - 10 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Caibro 5x7cm	m	270	R\$ 2,31	R\$ 623,70
sarrafo 2,5x7cm	m	724	R\$ 2,31	R\$ 1.672,44
Chapa Plastificada 1,4cm de espessura	m ²	120	R\$ 17,35	R\$ 2.082,00
Guia 2,5x15cm para contraventamento	m	240	R\$ 2,16	R\$ 518,40
Pregos	kg	25	R\$ 5,00	R\$ 125,00
Total				R\$ 5.021,54

Quadro 25: fôrma para pilares

O consumo total de aço resultante do cálculo estrutural para os 5 pavimentos foi de 4.516,15 kg, sendo 126,32 kg/m³. Para o estudo adotou-se a média a fim facilitar e possibilitar o cálculo do custo por pavimento, visto que a quantidade de aço é maior nos primeiros pavimentos pois recebem mais carga. O quadro 26 apresenta o resumo de aço para os pilares, dividido por bitola.

Aço Pilares - Pav Tipo				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 5.0mm	kg	101,67	R\$ 2,86	R\$ 290,77
Aço 6.3mm	kg	73,83	R\$ 3,67	R\$ 270,94
Aço 8.0mm	kg	58,73	R\$ 3,39	R\$ 199,11
Aço 10.0mm	kg	328,23	R\$ 3,03	R\$ 994,55
Aço 12.5mm	kg	90,95	R\$ 2,88	R\$ 261,93
Aço 16.0mm	kg	97,89	R\$ 2,88	R\$ 281,93
Aço 20.0mm	kg	151,93	R\$ 2,88	R\$ 437,57
Arame Recozido	kg	9,00	R\$ 5,00	R\$ 45,00
Total		903,23		R\$ 2.781,79

Quadro 26: aço para pilares por pavimento

O volume de concreto para os pilares é de 7,15m³, e o respectivo custo de R\$ 268,00 por m³, considerando fornecimento por concreteira com bombeamento. Com relação à mão de obra, o custo aplicado por empreiteira é de R\$ 300,00 por m³ de concreto executado. Com isso, pôde-se calcular o custo total para os pilares por pavimento tipo, demonstrado no quadro 26.

Resumo Custos Pilares Pav. Tipo – 10 Reaproveitamentos					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²	120,00		R\$ 502,15	6,84
Aço	kg	903,23		R\$ 2.781,79	37,87
Concreto f _{ck} 25 MPa	m ³	7,15	R\$ 268,00	R\$ 1.916,20	26,09
Mão de Obra	m ³	7,15	R\$ 300,00	R\$ 2.145,00	29,20
Total				R\$ 7.345,14	

Quadro 27: custo total dos pilares por pavimento

Para as vigas, também adotou-se a largura padrão de 15 cm, pois considera-se que as mesmas serão apoiadas diretamente na alvenaria de vedação eliminando assim a necessidade da fôrma de fundo e aproximando o sistema construtivo da alvenaria estrutural. Cabe salientar que esta pratica não é a recomendada, e sim executar primeiramente os pilares, vigas e laje e posteriormente a alvenaria de vedação, porém atualmente verifica-se grande quantidade de empresas adotando esta forma executiva.

O cálculo estrutural resultou em vigas de 15x40cm. A fôrma é composta por chapa compensada com 2 sarrafos de 2,5x7 cm em todo o comprimento na horizontal por lateral, e

na vertical os mesmos sarrafos a cada 30 cm de distância, conforme ilustrado na figura 24. O quadro 28 apresenta os quantitativos referentes a este serviço.

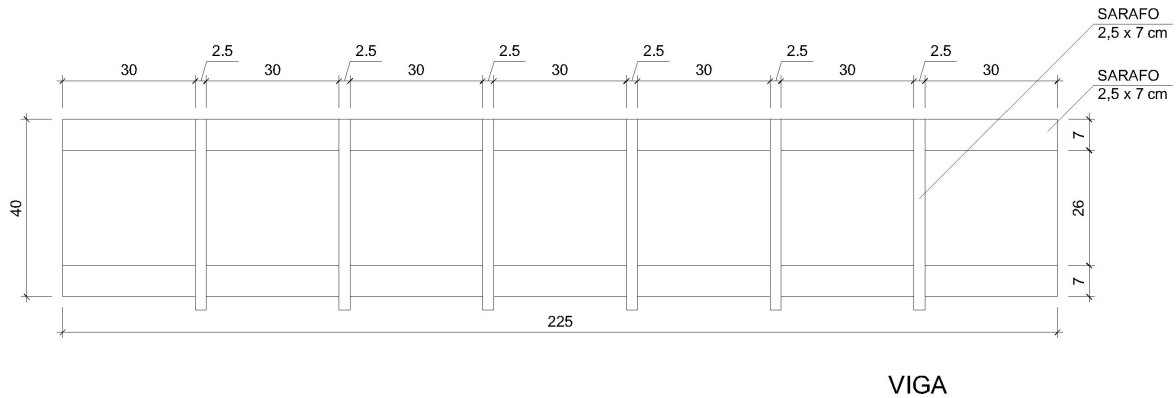


Figura 24: modelo de fôrma para vigas

Fôrma para Vigas - 12 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
sarrafo 2,5x7cm	m	1214,00	R\$ 2,31	R\$ 2.804,34
Chapa Plastificada 1,4cm de espessura	m ²	141,26	R\$ 17,35	R\$ 2.450,86
Pregos	kg	28,00	R\$ 5,00	R\$ 140,00
Total				R\$ 5.395,20

Quadro 28: fôrma para vigas

Com relação ao aço, obteve-se a quantidade total de 1.246,67 kg para as vigas do pavimento tipo com a seção de 15x40cm, sendo 117,61 kg/m³. O quadro 29 apresenta o resumo de aço para os pilares, dividido por bitola.

Aço Vigas - Pav Tipo				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 5.0mm	kg	163,33	R\$ 2,86	R\$ 467,13
Aço 6.3mm	kg	108,33	R\$ 3,67	R\$ 397,58
Aço 8.0mm	kg	11,67	R\$ 3,39	R\$ 39,55
Aço 10.0mm	kg	566,67	R\$ 3,03	R\$ 1.717,00
Aço 12.5mm	kg	163,33	R\$ 2,88	R\$ 470,40
Aço 16.0mm	kg	141,67	R\$ 2,88	R\$ 408,00
Aço 20.0mm	kg	91,67	R\$ 2,88	R\$ 264,00
Arame Recozido	kg	13,00	R\$ 5,00	R\$ 65,00
Total		1246,67		R\$ 3.828,67

Quadro 29: aço para vigas por pavimento

Tais resultados, aliado ao consumo de 10,6 m³ de concreto, possibilitaram o cálculo do custo total das vigas por pavimento, apresentado no quadro 30, considerando 8,3% do custo da

fôrma devido seu reaproveitamento, devido a execução de 5 pavimentos tipo e a viga de baldrame, para dois blocos residenciais.

Resumo Custos Vigas - Pav. Tipo					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²	141,26		R\$ 449,60	4,37
Aço	kg	1246,67		R\$ 3.828,67	37,17
Concreto f_{ck} 25 MPa	m ³	10,60	R\$ 268,00	R\$ 2.840,80	27,58
Mão de Obra	m ³	10,60	R\$ 300,00	R\$ 3.180,00	30,88
Total				R\$ 10.299,07	

Quadro 30: custo total das vigas por pavimento

Para a fôrma da laje considerou-se a mesma estrutura utilizada para o sistema em alvenaria estrutural, composta por caibros de 5x7 cm dispostos a cada 80 cm. Sobre estes, caibros de 5x7 cm a cada 25 cm de distância na transversal, e finalmente sobre os caibros a chapa compensada. Por consequência, os custos são iguais aos apresentados anteriormente, postos novamente no quadro 31.

Fôrma para Laje - 10 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Caibro 5x7cm (1ª camada a cada 80cm)	m	220,60	R\$ 2,31	R\$ 509,59
Caibro 5x7cm (2ª camada a cada 25cm)	m	578,9	R\$ 2,31	R\$ 1.337,26
Chapa Plastificada 1,4cm	m ²	180,00	R\$ 17,35	R\$ 3.123,00
Escoras de eucalipto	uni	200,00	R\$ 2,20	R\$ 440,00
Pregos	kg	36,00	R\$ 4,80	R\$ 172,80
Total				R\$ 5.582,65

Quadro 31: custo da fôrma das lajes para 10 reaproveitamentos

Quanto ao aço, levantou-se o consumo de 715 kg, entre armadura positiva e negativa, sendo 42 kg/m³. O resumo dos quantitativos e respectivos custos está apresentado no quadro 32.

Aço Laje - Pav Tipo					
Insumo	Tipo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 6.3mm	Positiva	kg	465,00	R\$ 3,67	R\$ 1.706,55
Aço 6.3mm	Negativa	kg	250,00	R\$ 3,67	R\$ 917,50
Arame Recozido		kg	7,15	R\$ 5,00	R\$ 35,75
Total			715,00		R\$ 2.659,80

Quadro 32: aço para lajes por pavimento

Considerou-se a mesma espessura de 9 cm, resultando em 18 m³ de concreto por laje. Assim, pode-se calcular o custo total deste item, resultando em R\$ 13.442,06, conforme o quadro 33.

Resumo Custos Laje – Pav Tipo					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²	180,00		R\$ 558,26	4,15
Aço	kg			R\$ 2.659,80	19,79
Concreto f _{ck} 25 MPa	m ³	18,00	R\$ 268,00	R\$ 4.824,00	35,89
Mão de Obra	m ³	18,00	R\$ 300,00	R\$ 5.400,00	40,17
Total				R\$ 13.442,06	

Quadro 33: custo total das lajes por pavimento

O volume total de concreto para pilares, vigas e lajes quantificado foi de 35,75 m³, resultando na espessura média de 17 cm/m² de pavimento. O consumo total de aço resultante é 2.864,9 kg, sendo 80,14 kg/m³, por pavimento. No quadro 33, demonstra-se o resumo geral de custos da estrutura em concreto armado.

Resumo Estrutura – Pav Tipo						
	Aço	Fôrma	Concreto	Mão de Obra	Total	%
Pilares	R\$ 2.781,79	R\$ 502,15	R\$ 1.916,20	R\$ 2.145,00	R\$ 7.345,14	23,63
Vigas	R\$ 3.828,67	R\$ 449,60	R\$ 2.840,80	R\$ 3.180,00	R\$ 10.299,07	33,13
Laje	R\$ 2.659,80	R\$ 558,26	R\$ 4.824,00	R\$ 5.400,00	R\$ 13.442,06	43,24
Total	R\$ 9.270,26	R\$ 1.510,02	R\$ 9.581,00	R\$ 10.725,00	R\$ 31.086,28	
%	29,82	4,86	30,82	34,50		

Quadro 34: custo total da estrutura em concreto armado do pavimento

Com relação a alvenaria de vedação, utilizou-se um bloco cerâmico com a mesma espessura do bloco estrutural, com 14 cm de largura, 19 cm de comprimento e 10 cm de altura. Também considerou-se a utilização de argamassa industrializada e tela soldada com fio de 1,65mm de espessura e malha de 15x15mm galvanizada a cada 40cm de altura, para amarração da alvenaria na estrutura de concreto armado, a fim de evitar fissuras nas interfaces. São 271 m² efetivos de alvenaria de vedação, descontando pilares e aberturas, porém para o cálculo da mão de obra foi considerado 324 m², não aplicando os descontos, sendo essa prática comum no setor devido a necessidade de junto aos pilares ter que fixar as telas, gerando perda de produtividade. Para o bloco cerâmico e argamassa considerou-se perda de 5%. O resultado do levantamento de quantitativos e os respectivos preços dos insumos estão explícitos no quadro 35, bem como o custo total por pavimento de R\$12.480,92, equivalendo a R\$ 38,52/m².

Alvenaria de Vedação - Pav. Tipo					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Bloco Cerâmico (10x14x19 cm)	uni	14.300	R\$ 0,39	R\$ 5.577,00	44,68
Argamassa industrializada	sc 40kg	251	R\$ 7,92	R\$ 1.987,92	15,93
Tela p/ amarração (14x50cm)	uni	380	R\$ 1,00	R\$ 380,00	3,04
Mão de Obra	m ²	324	R\$ 14,00	R\$ 4.536,00	36,34
Total				R\$ 12.480,92	

Quadro 35: custo da alvenaria de vedação por pavimento

Levantados todos os quantitativos referente a estrutura em concreto armado e a alvenaria de vedação, pôde-se calcular o custo total do sistema construtivo por pavimento, sendo este R\$ 43.657,12, apresentado no quadro 36.

Custo Total - Pav. Tipo		
	Custo	%
Pilares	R\$ 7.345,14	16,82
Vigas	R\$ 10.388,99	23,80
Laje	R\$ 13.442,06	30,79
Alvenaria de Vedação	R\$ 12.480,92	28,59
Total	R\$ 43.657,12	

Quadro 36: custo total da estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação por pavimento

4.2.2.2 Fundações

A seguir demonstra-se os quantitativos e custos referentes às fundações para o sistema construtivo em estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação, considerando-as diretas, do tipo sapata, com taxa de resistência do solo de 3 kg/cm^2 , seguindo os mesmos parâmetros adotados para a alvenaria estrutural. Tais quantitativos foram levantados do projeto estrutural elaborado, subsidiado pelas informações da construtora. A figura 25 apresenta a planta de locação, com 32 sapatas e as respectivas dimensões.

Quanto às fôrmas, considerou-se sendo compostas por guias de madeira de 20 cm com 4 reaproveitamentos, devidos as sapatas possuem 40cm de altura, e para fixação e alinhamento das caixas, sarrafos de 2,5x7cm, conforme demonstrado no quadro 37.

Fôrma para Sapatas - 4 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Sarrafo 2,5x7cm	m	200	R\$ 2,31	R\$ 462,00
Guia 2,5x20cm	m	460	R\$ 2,85	R\$ 1.311,00
Pregos	kg	5	R\$ 5,00	R\$ 25,00
Total				R\$ 1.798,00

Quadro 37: fôrma para sapatas para estrutura em concreto armado

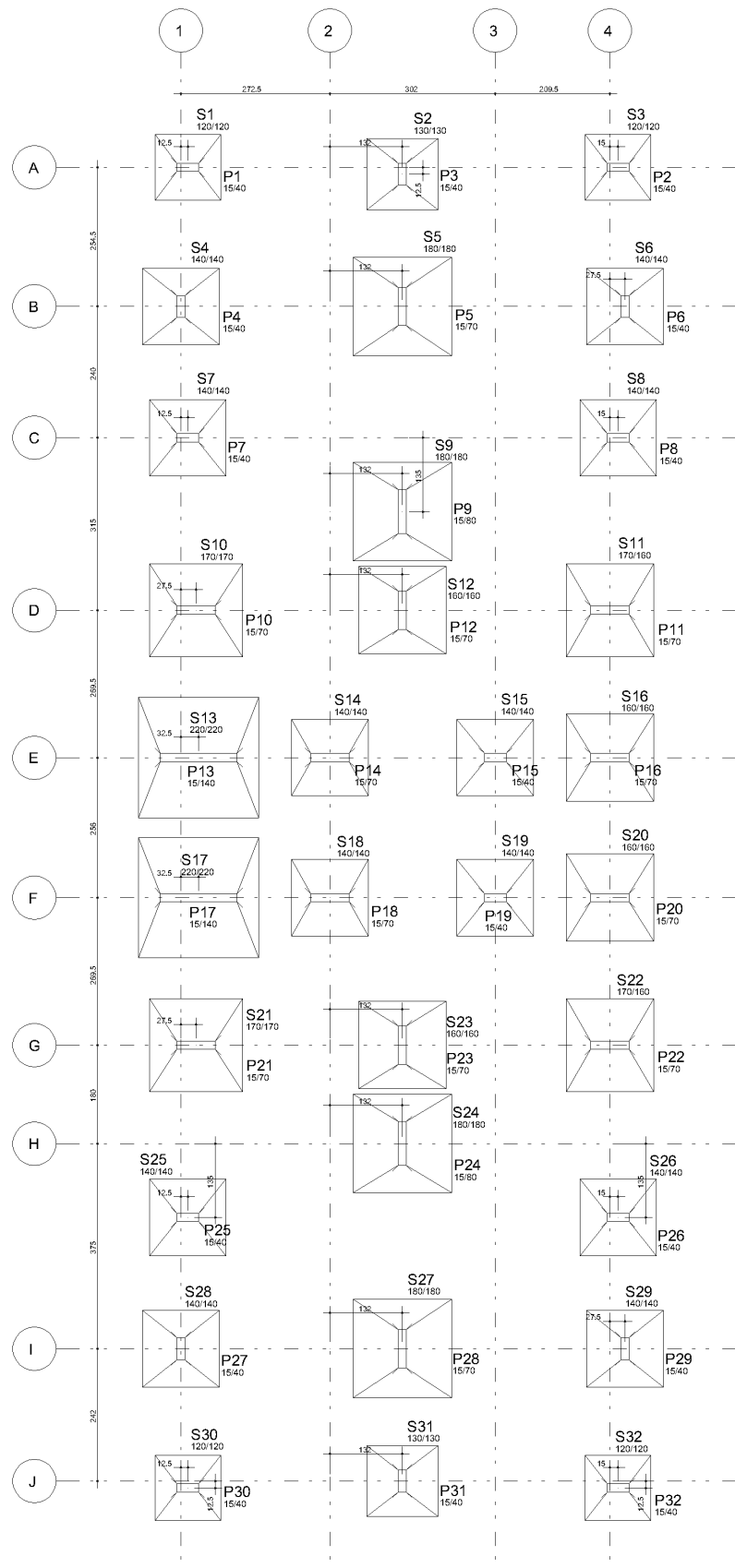


Figura 25: fôrma das sapatas para estrutura em concreto armado

Quanto ao aço, levantou-se o consumo de 1.925 kg, equivalente a 62 kg/m³, cujos respectivos custos estão colocados no quadro 37.

Aço das Sapatas - Bloco				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 12.5mm	kg	1925,00	R\$ 2,88	R\$ 5.544,00
Arame Recozido	kg	20,00	R\$ 5,00	R\$ 100,00
Total		1925,00		R\$ 5.644,00

Quadro 38: aço das sapatas para estrutura em concreto armado

Com o volume total de concreto quantificado de 31 m³ com f_{ck} de 25 MPa, possibilitou-se o cálculo do custo total das fundações diretas do tipo sapatas, apresentado no quadro 38.

Resumo Custos Sapatas - Bloco					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²			R\$ 449,50	1,90
Aço	kg	1925,00		R\$ 5.644,00	23,81
Concreto f_{ck} 25 MPa	m ³	31,00	R\$ 268,00	R\$ 8.308,00	35,05
Mão de Obra	m ³	31,00	R\$ 300,00	R\$ 9.300,00	39,24
Total				R\$ 23.701,50	

Quadro 39: custo total das sapatas para o sistema em concreto armado

Com relação aos pilares, que ligam as sapatas às vigas, considerou-se o comprimento médio de 4,5 m. Para a fôrma, adotou-se o mesmo padrão utilizado para as fundações do sistema em alvenaria estrutural, sendo que os quantitativos e custos estão demonstrados no quadro 40. Quanto ao aço, quantificou-se o total de 3.469 kg, referente a 247,80 kg/m³ de concreto, apresentados no quadro 41. Isso possibilitou o cálculo do custo total dos pilares de fundação por bloco residencial, conforme disposto no quadro 42.

Fôrma para Pilares - 4 Reaproveitamentos				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
sarrafo 2,5x7cm	m	650	R\$ 2,31	R\$ 1.501,50
Guia 2,5x15cm	m	290	R\$ 2,16	R\$ 626,40
Guia 2,5x20cm	m	864	R\$ 2,85	R\$ 2.462,40
Pregos	kg	10	R\$ 5,00	R\$ 50,00
Total				R\$ 4.640,30

Quadro 40: fôrma para pilares de fundação

Aço Pilares Fundações - Bloco				
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total
Aço 5.0mm	kg	125,00	R\$ 2,86	R\$ 357,50
Aço 6.3mm	kg	400,00	R\$ 3,67	R\$ 1.468,00
Aço 10.0mm	kg	97,00	R\$ 3,03	R\$ 293,91
Aço 12.5mm	kg	110,00	R\$ 2,88	R\$ 316,80
Aço 16.0mm	kg	317,00	R\$ 2,88	R\$ 912,96
Aço 20.0mm	kg	2420,00	R\$ 2,88	R\$ 6.969,60
Arame Recozido	kg	13,00	R\$ 5,00	R\$ 65,00
Total		3.469,00		R\$ 10.383,77

Quadro 41: aço dos pilares de fundação

Resumo Custos Pilares Fundação - Bloco					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²			R\$ 1.160,08	5,95
Aço	kg	3.469		R\$ 10.383,77	53,26
Concreto f_{ck} 25 MPa	m ³	14,00	R\$ 268,00	R\$ 3.752,00	19,25
Mão de Obra	m ³	14,00	R\$ 300,00	R\$ 4.200,00	21,54
Total				R\$ 19.495,85	

Quadro 42: custo total dos pilares de fundação para o sistema em concreto armado

Quanto as vigas de baldrame, os quantitativos e custos são os mesmos do pavimento tipo, apresentados no quadro 43.

Resumo Custos Viga Fundação - Bloco					
Insumo	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Total	%
Fôrma de Madeira	m ²			R\$ 449,60	2,31
Aço	kg			R\$ 3.828,67	19,64
Concreto f_{ck} 25 MPa	m ³	10,60	R\$ 268,00	R\$ 2.840,80	14,57
Mão de Obra	m ³	10,60	R\$ 300,00	R\$ 3.180,00	16,31
Total				R\$ 10.299,07	

Quadro 43: custo total das vigas de baldrame para o sistema em concreto armado

O quadro 44 apresenta o custo total da fundação composta por sapatas, pilares e viga de baldrame para o sistema construtivo em concreto armado, sendo R\$ 53.496,41 equivalente a R\$ 962,16/m³ de concreto.

Resumo de Custos da Fundação - Bloco	
Fundação	R\$ 23.701,50
Pilares	R\$ 19.495,85
Vigas	R\$ 10.299,07
Total	R\$ 53.496,41

Quadro 44: custo total das fundações para o sistema em concreto armado

4.2.2.3 Custo Total da Estrutura

Levantados todos os quantitativos de insumos e obtido os custos dos serviços referente ao sistema construtivo em concreto armado, pôde-se calcular o custo total para um bloco residencial de 5 pavimentos tipo, tendo-se o valor de R\$ 284.774,46 considerando fundações, estrutura composta por pilares, vigas e lajes de concreto armado moldado *in loco* com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos, conforme o quadro 45, bem como para todo o empreendimento, tendo-se o valor total de R\$ 1.139.097,82, apresentado no quadro 46.

Custo Total da Estrutura - Bloco	
Fundações	R\$ 53.496,41
Estrutura de Concreto Armado	R\$ 168.873,44
Alvenaria de Vedação	R\$ 62.404,60
Total	R\$ 284.774,46

Quadro 45: custo total do sistema construtivo em concreto armado para um bloco residencial de 5 pavimentos.

Custo Total do Empreendimento	
Fundações	R\$ 213.985,65
Estrutura de Concreto Armado	R\$ 675.493,78
Alvenaria de Vedação	R\$ 249.618,40
Total	R\$ 1.139.097,82

Quadro 46: custo total do sistema construtivo em concreto armado com alvenaria de vedação para o empreendimento.

4.3 CUSTO GLOBAL DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento-padrão, com 5 pavimentos tipo, possui 4.200m² de área real total e, tomando o custo unitário básico para projetos de interesse social, CUB-PIS, calculado pelo SINDUSCON-RS, cujo valor para o mês de outubro de 2010 foi de R\$ 592,12, resulta em um custo global estimado de R\$ 2.486.904,00, assim possibilitando se obter resultados importantes quanto ao peso dos sistemas construtivos no custo global do empreendimento, conforme demonstrado através do quadro 47.

Custo Global do Empreendimento pelo CUB-PIS/RS			
	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado	Diferença
Custo Fundações, Estrutura e Vedações	R\$ 956.256,58	R\$ 1.139.097,82	R\$ 182.841,25
Custo/m ²	R\$ 227,68	R\$ 271,21	R\$ 43,53
Custo Global pelo CUB-PIS (out/10)	R\$ 2.486.904,00	R\$ 2.486.904,00	
% do Custo Global	38,45	45,80	7,35

Quadro 47: custo global estimado para o empreendimento-padrão

4.4 CRONOGRAMAS FISICO-FINANCEIROS

A seguir serão apresentados os cronogramas físico-financeiros para os sistemas construtivos estudados referentes a execução do empreendimento-padrão.

4.4.1 Cronograma Físico-Financeiro para Alvenaria Estrutural

Observou-se que a equipe-padrão responsável pela execução da alvenaria estrutural possuía 5 pedreiros e 2 serventes, sendo que o tempo médio necessário para tal serviço foi de 5 dias. Uma segunda equipe, composta por 5 carpinteiros/pedreiros e 2 serventes, era responsável pela execução da laje de concreto armado. Verificou-se uma sincronia entre as equipes sendo que ambos os serviços eram executados em uma semana, e inicialmente concentrando os serviços em dois blocos, a fim de concluir a estrutura rapidamente e assim liberar os serviços internos, como revestimentos e acabamentos.

A seguir, através do quadro 48, apresenta-se o cronograma físico-financeiro onde consta o prazo total para a execução do empreendimento, bem como o dispêndio semanal, mensal e total, excetuando-se o custo e o tempo de execução das fundações e da laje do térreo. Verifica-se que o prazo total para construção do empreendimento é de 21 semanas e o dispêndio é constante durante os meses.

BLOCO / PAV		MÊS 1				MÊS 2				MÊS 3				MÊS 4				MÊS 5				MÊS 6			
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24
BLOCO D	Pav. 5																								
	Pav. 4																								
	Pav. 3																								
	Pav. 2																								
	Pav. 1																								
BLOCO C	Pav. 5																								
	Pav. 4																								
	Pav. 3																								
	Pav. 2																								
	Pav. 1																								
BLOCO B	Pav. 5																								
	Pav. 4																								
	Pav. 3																								
	Pav. 2																								
	Pav. 1																								
BLOCO A	Pav. 5																								
	Pav. 4																								
	Pav. 3																								
	Pav. 2																								
	Pav. 1																								
Total / Semana	R\$ 20.898,48	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	R\$ 34.569,66	
Total / Mês	R\$ 691.393,24	R\$	R\$	124.607,46	R\$	R\$	R\$	138.278,65	R\$	R\$	R\$	R\$	138.278,65	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	

LEGENDA  ALVENARIA ESTRUTURAL
 LAJE DE CONCRETO ARMADO

EQUIPE ALVENARIA ESTRUTURAL = 5 PEDREIROS + 2 SERVENTES

EQUIPE LAJE DE CONCRETO ARMADO = 5 PEDREIROS + 2 SERVENTES

Quadro 48: cronograma físico-financeiro para alvenaria estrutural

4.4.2 Cronograma Físico-Financeiro para Estrutura Apertada de Concreto Armado com Alvenaria de Vedação

Considerou-se, neste estudo, que a equipe para a execução da alvenaria estrutural e laje de concreto armado possui o mesmo número de componentes que a equipe para a execução da estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação, a fim de verificar-se possíveis diferenças no prazo de execução dos serviços entre os dois sistemas. Logo, esta equipe compõe-se por 10 pedreiros/carpinteiros e 4 serventes, a qual foi dividida em duas, uma responsável pela execução dos pilares e alvenaria de vedação, com 6 pedreiros/carpinteiros e 2 serventes e outra responsável pela execução das vigas e laje, composta por 4 pedreiros/carpinteiros e 2 serventes. Tal dimensionamento foi necessário para que os serviços sejam executados com mesmo tempo e assim possibilitar trabalhos paralelos, de forma a aumentar a produtividade e diminuir o prazo total para a execução, bem como evitar a ociosidade das equipes.

Também definiu-se que a alvenaria de vedação é executada anteriormente à laje, servindo as paredes como fôrma para o fundo da viga, e também com o objetivo de aproximar a forma construtiva ao da alvenaria estrutural. Inicialmente, são executados os pilares em duas etapas, sendo meio pavimento por vez, a fim de rapidamente liberar espaço para a execução da alvenaria. Segundo informações da construtora, o tempo necessário para a execução dos pilares e alvenaria de vedação, nestas condições, é de 7 dias.

Posteriormente é executada a laje de concreto armado, que devido a presença de vigas e a equipe dimensionada com 4 pedreiros/carpinteiros, sendo 1 a menos se comparado à alvenaria estrutural, segundo a construtora, são necessários 7 dias para sua execução. Sendo assim, o tempo total para a execução de um pavimento é de 14 dias, conforme apresentado no cronograma físico-financeiro através do quadro 49. Observa-se que o prazo total para a execução do empreendimento, composto por 4 blocos é de 29 semanas e 2 dias, referente a 7 meses e meio, excetuando-se o tempo de execução das fundações e da laje do térreo.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão analisados os resultados obtidos dos levantamentos de quantitativos de serviços, insumos e custos para a execução das fundações, estrutura e paredes de vedação do empreendimento-padrão para os sistemas construtivos estudados.

5.1 FUNDAÇÕES

Com relação às fundações, sendo no presente estudo, diretas do tipo sapatas, obteve-se o custo total, por bloco, de R\$ 52.544,65 para o sistema em alvenaria estrutural. Observa-se o elevado custo das vigas de baldrame, representando 47% do custo total, pois essas recebem a carga de todos os pavimentos de alvenaria, sendo aproximadamente 6 tf/m. Para a estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação obteve-se o custo total de R\$ 53.496,41, com destaque para os pilares, que apresentam elevada taxa de armadura, de 247,80 kg/m³, consequência do diferente comportamento estrutural entre os sistemas, sendo que a alvenaria estrutural proporciona maior rigidez na estrutura e resulta em menores momentos nas fundações. Mas com relação ao custo total, os resultados estão muito próximos indicando que não existe diferença significativa entre as fundações para ambos os sistemas, e sim somente entre os itens que às compõem, devido ao diferente comportamento estrutural, conforme apresentado no quadro 50 e ilustrado na figura 26.

Comparativo das Fundações - Bloco		
	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado com Alvenaria de Vedação
Sapatas	R\$ 18.755,57	R\$ 23.701,50
Pilares	R\$ 9.068,42	R\$ 19.495,85
Vigas de Baldrame	R\$ 24.720,66	R\$ 10.299,07
Total	R\$ 52.544,65	R\$ 53.496,41

Quadro 50: comparativo das fundações

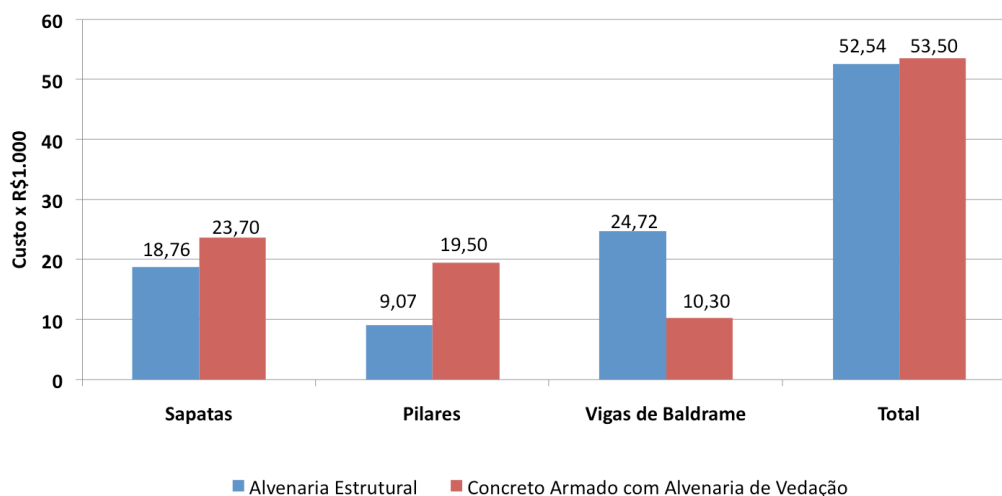


Figura 26: comparativo das fundações

5.2 ESTRUTURA E VEDAÇÕES

Quanto aos custos dos sistemas construtivos, obteve-se, para a alvenaria estrutural, por pavimento tipo, com 388 m², um custo de execução total de R\$ 20.898,48, sendo R\$ 53,86/m². Observa-se a elevada participação do bloco cerâmico, referente a 46,7% do total, sendo este o principal item que compõe a estrutura. Verifica-se, ainda, o baixo consumo de aço e graute, 2,81% e 5,13% respectivamente, quando se emprega este sistema. Para a estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação, obteve-se o custo total por pavimento de R\$ 30.125,1, sendo que o bloco cerâmico representa 18,51%, o aço 21,94% e o concreto 15,79%. Em ambos os casos, não estão considerados os custos da laje a fim de explicitar as diferenças nos consumos de aço, fôrma e concreto entre os sistemas construtivos, conforme o mostrado no quadro 51 e ilustrado na figura 27, com diferente escala da figura 26.

Comparativo de Custos Pav. Tipo		
Insumo	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado com Alvenaria de Vedação
Bloco Cerâmico	R\$ 9.766,48	R\$ 5.577,00
Argamassa	R\$ 1.615,00	R\$ 1.987,92
Aço	R\$ 587,82	R\$ 6.610,46
Fôrma		R\$ 951,75
Graute / Concreto	R\$ 1.072,50	R\$ 4.757,00
Isopor e Manta	R\$ 96,68	
Tela p/ Amarração		R\$ 380,00
Mão de Obra	R\$ 7.760,00	R\$ 9.861,00
Total	R\$ 20.898,48	R\$ 30.125,13

Quadro 51: comparativo de custos para o pavimento tipo sem a laje

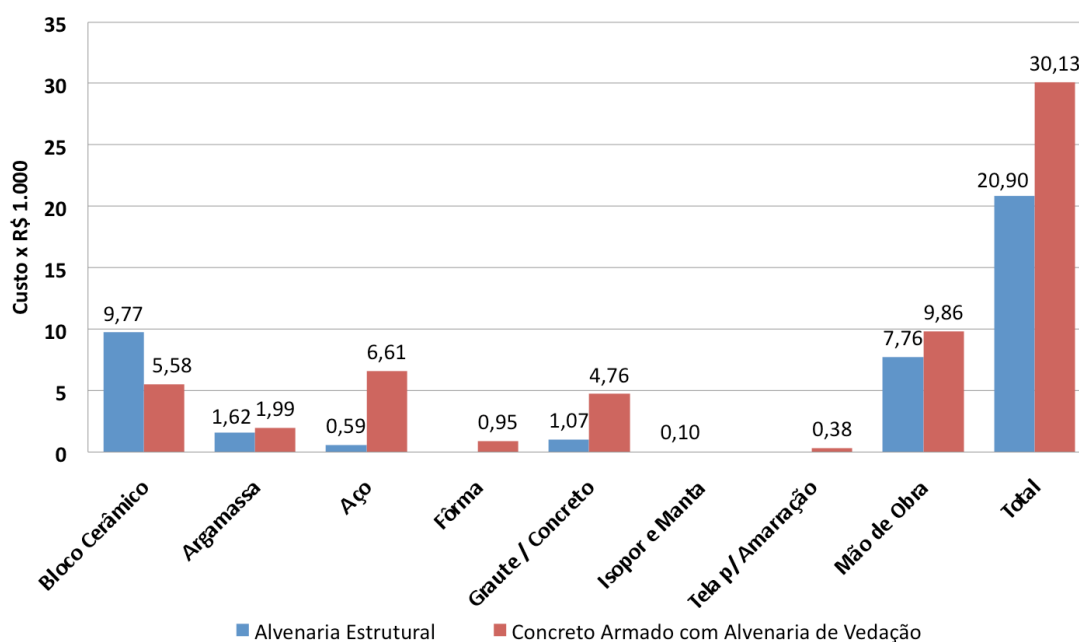


Figura 27: comparativo do pavimento tipo

Através do quadro 52 pode-se verificar que, apesar da alvenaria estrutural ser mais cara que a alvenaria de vedação, principalmente pelo custo do bloco cerâmico, os pilares e vigas da estrutura em concreto armado aumentam consideravelmente o custo e tornam o sistema mais caro, sendo que a diferença por pavimento tipo, considerando a laje, é de R\$ 8.997,54, representando um acréscimo de 26% no valor correspondente à alvenaria estrutural. Tais resultados comprovam a afirmação de Ramalho e Corrêa (2003, p. 9), referente à economia obtida com o uso da alvenaria estrutural, pela substituição dos pilares e vigas por paredes estruturais.

Comparativo Pavimento Tipo		
	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado com Alvenaria de Vedação
Alvenaria	R\$ 20.898,48	R\$ 12.480,92
Pilares		R\$ 7.345,14
Vigas		R\$ 10.299,07
Laje	R\$ 13.671,18	R\$ 13.442,06
Total	R\$ 34.569,66	R\$ 43.567,20

Quadro 52: comparativo de custos para o pavimento tipo com a laje

Já com relação ao custo total da estrutura do empreendimento-padrão composto por 4 blocos residenciais de 5 pavimentos com 4 apartamentos de 2 dormitórios por andar, a diferença final resultou em R\$ 182.841,25, conforme indicado no quadro 53. Assim, o sistema construtivo alvenaria estrutural foi **19,12%** mais vantajoso que o concreto armado com alvenaria de

vedação, considerando as fundações, estrutura e paredes de vedação, sendo um valor considerável por se tratar de um empreendimento habitacional de interesse social, onde a margem de lucro é baixa. Esse resultado coincide com o apontado por Duarte¹⁰ (1999 apud ALEXANDRE 2008, p. 17), que estimou que tal sistema proporciona economia de até 30% comparado ao concreto armado convencional, lembrando ainda que existem itens como instalações e revestimentos, que não foram considerados no presente estudo.

As instalações elétricas e hidráulicas são simplificadas, pois as tubulações são colocadas no interior dos bloco, eliminando rasgos nas paredes e, conseqüentemente resíduos, propiciando uma obra limpa e organizada. Outra vantagem é a redução na espessura de revestimentos argamassados, devido as paredes serem executadas com maior rigor e controle que resulta em menores custos, patologias e redução do prazo de execução dos serviços.

Custo Total dos Sistemas Construtivos para o Empreendimento-Padrão			
	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado	Diferença
Fundações	R\$ 210.178,60	R\$ 213.985,65	R\$ 3.807,05
Alvenaria	R\$ 417.969,55	R\$ 249.618,40	-R\$ 168.351,15
Concreto Armado	R\$ 328.108,43	R\$ 675.493,78	R\$ 347.385,35
Total	R\$ 956.256,58	R\$ 1.139.097,82	R\$ 182.841,25

Quadro 53: comparativo do custo total dos sistemas construtivos

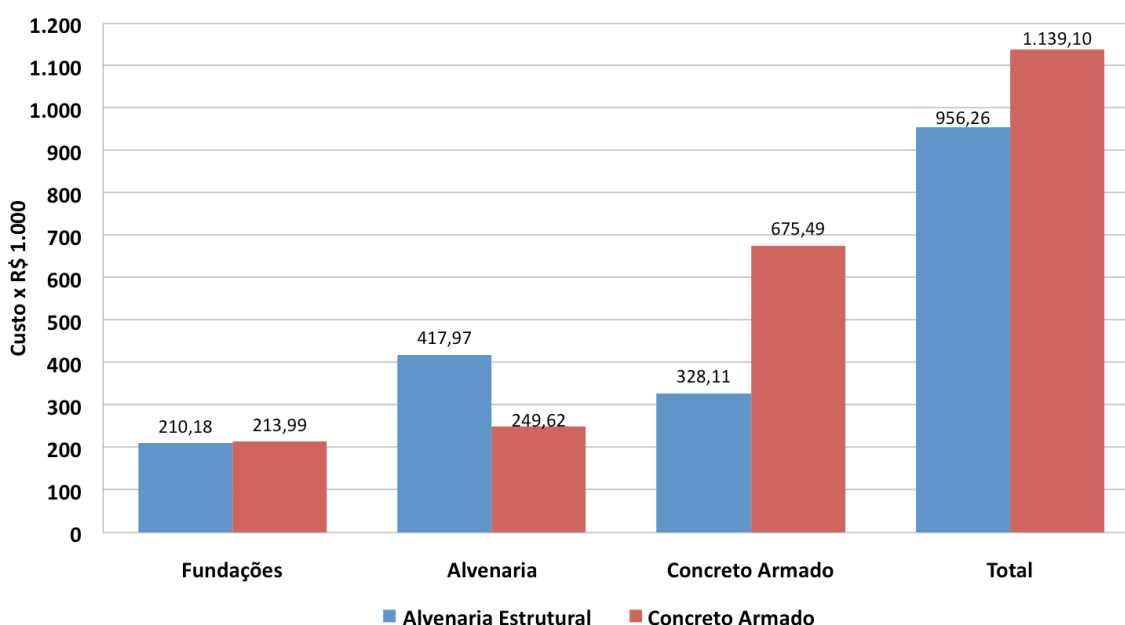


Figura 28: comparativo do custo total dos sistemas construtivos

¹⁰ DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre: Associação Nacional da Indústria Cerâmica, 1999.

5.3 CUSTO GLOBAL DO EMPREENDIMENTO

Para um custo global estimado, pelo CUB-PIS, de R\$ 2.486.904,00, verifica-se a diferença de **7,35%** entre os sistemas construtivos em favor da alvenaria estrutural. Esse resultado é significativo para 4 blocos residenciais, porém se torna mais impactante quando se trata de grandes condomínios, como por exemplo, com 20 ou mais blocos, muito comum nas regiões metropolitanas dos estados, onde a demanda habitacional é mais elevada. Tal porcentagem corresponde, em geral, a itens importantes da obra como instalações elétricas e hidráulicas, aberturas externas de alumínio e revestimentos internos argamassados, obtendo-se assim, um ganho financeiro considerável na utilização deste sistema.

Observa-se que a alvenaria estrutural representa 16,81% e a alvenaria de vedação, 10,04% do custo global, porém o acréscimo da estrutura de concreto armado aumenta consideravelmente o custo deste sistema. Nos quadros 54 e 55, estão apresentados detalhadamente o percentual que representa os itens que compõem os sistemas construtivos e, através da figura 29, o comparativo entre ambos.

Alvenaria Estrutural		
	Custo	% do Custo Global
Fundações	R\$ 210.178,60	8,45
Alvenaria Estrutural	R\$ 417.969,55	16,81
Estrutura de Concreto (lajes)	R\$ 328.108,43	13,19
Total	R\$ 956.256,58	38,45

Quadro 54: percentual da alvenaria estrutural sobre o custo global do empreendimento

Estrutura Aporticada em concreto Armado		
	Custo	% do Custo Global
Fundações	R\$ 213.985,65	8,60
Alvenaria de Vedação	R\$ 249.618,40	10,04
Estrutura de Concreto	R\$ 675.493,78	27,16
Total	R\$ 1.139.097,82	45,80

Quadro 55: percentual da estrutura em concreto armado com alvenaria de vedação sobre o custo global do empreendimento

Também constatou-se que, efetivamente, a estrutura é o item de maior custo para um edifício, no caso do concreto armado representando 27,16% do custo global, sendo mais elevado que a média de 17,69% obtido por Batlouni Neto (2005, p. 2001) no seu estudo com edifícios de São Paulo em 2003. Isso se deve, principalmente, ao aumento dos insumos nos últimos anos,

com destaque para o aço, que representa 30% dos custos da estrutura e, também, pela forma de contratação da mão de obra.

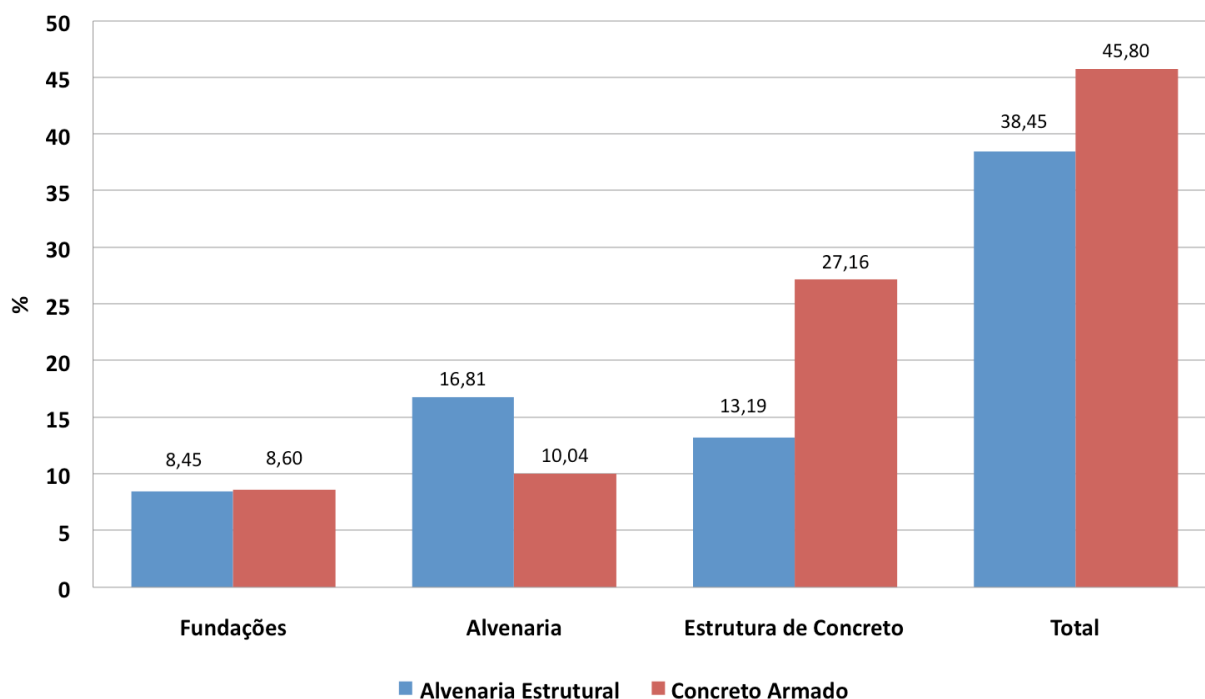


Figura 29: comparativo sobre o custo global do empreendimento

5.4 PRAZO DE EXECUÇÃO

Quanto ao prazo de execução, através dos cronogramas físico-financeiros pôde-se observar que, para as condições de contorno adotadas, o sistema construtivo em alvenaria estrutural é executado em 21 semanas e o sistema em concreto armado em 29 semanas e 2 dias, resultando em uma diferença de mais de 8 semanas, ou seja, 2 meses em favor da alvenaria estrutural, demonstrando a vantagem deste sistema também neste aspecto para o empreendimento estudado. Esta redução no prazo de construção é significativa e traz benefícios para a construtora, pois possibilita a execução de um maior número de unidades num mesmo período, podendo deslocar anteriormente as equipes para outros canteiros e assim aumentar seus lucros. Existe vantagem também para o cliente, que acaba recebendo antes seu imóvel, visto que o público-alvo, na maioria das vezes, habita locais de vulnerabilidade social ou mesmo paga aluguel, sendo que o recebimento das chaves é um momento muito aguardado pelas famílias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou comparar dois sistemas construtivos largamente utilizados na atualidade a fim de verificar qual apresenta menores custos e menores prazos para a execução de um empreendimento habitacional de interesse social composto por 4 blocos residenciais de 5 pavimentos. Foram levantados os quantitativos de serviços e insumos bem como respectivos preços aplicados na cidade de atuação da construtora, que possui experiência em ambos os sistemas e serviu de base para o comparativo.

A Alvenaria Estrutural apresenta características importantes, tais como elevado potencial de racionalização e industrialização, tornando o canteiro de obras uma linha de montagem, com alto nível de planejamento, sendo nesse caso a construção totalmente conduzida por projetos integrados entre si. Também destaca-se a simplificação das instalações elétricas e hidráulicas, bem como a redução na espessura de revestimentos argamassados, que resulta em menores custos, patologias e redução do prazo de execução dos serviços.

Quanto às desvantagens da alvenaria estrutural, como por exemplo limitações do projeto arquitetônico e impossibilidade de remoção de paredes, pode-se concluir que na aplicação em habitação de interesse social, estas são minimizadas e não implicam em nenhuma perda comercial. Normalmente o projeto é objeto de repetição nos empreendimentos tipo HIS, sendo elaborado com base na modulação do bloco estrutural para redução de custos. Além disso, estes imóveis são planejados e desenvolvidos para atender às necessidades do público de baixa renda, que apresenta menor poder de barganha.

Com relação à mão de obra, atualmente, devido à elevada oferta de financiamentos, que impulsionou o lançamento de muitos empreendimentos, há uma escassez de profissionais qualificados, o que leva as empresas a contratar pessoas sem experiência. Com isso se faz necessário investir constantemente em treinamentos e capacitação da mão de obra, visto as peculiaridades e características do sistema, uma vez que as paredes possuem toda a responsabilidade estrutural do edifício e devem ser executadas com rigor e qualidade.

O concreto armado apresenta a vantagem de disponibilidade de mão de obra com experiência no mercado, por se tratar de um sistema construtivo largamente empregado há bastante tempo,

e que tem flexibilidade de projeto arquitetônico, permitindo a construção de obras arrojadas com grandes vãos e alturas. Possibilita também a personalização dos espaços internos, sendo esse um forte argumento de vendas, principalmente para empreendimentos destinados às classes A e B, porém pouco significativo para habitação de interesse social, pois acarreta na perda da repetição e, conseqüentemente, eleva os custos e aumenta o prazo de construção. O grande inconveniente do concreto armado é o elevado consumo de aço e fôrmas, que aumenta consideravelmente o custo deste sistema construtivo, inviabilizando a sua utilização em empreendimentos de baixo custo e curto prazo de execução.

Para o empreendimento em questão, considerando fundações, estrutura e vedações, a alvenaria estrutural se apresentou 19,12% mais vantajosa, referente a uma diferença de R\$ 182.841,25, sendo um percentual elevado que impacta diretamente no resultado financeiro, bem como na redução significativa dos custos de construção. Pode-se estimar uma amplificação deste resultado se considerados itens como revestimentos argamassados e instalações, podendo chegar aos 30% apontados por Duarte¹¹ (1999 apud ALEXANDRE 2008, p. 17).

Esta diferença de custos verificada entre os sistemas construtivos representa 7,35% sobre o custo global do empreendimento, de R\$ 2.486.904,00, estimado pelo CUB-PIS, sendo significativa para obras de interesse social. Tal porcentagem corresponde, em geral, a itens importantes da obra como instalações elétricas e hidráulicas e aberturas externas de alumínio, obtendo-se assim um ganho considerável na utilização da alvenaria estrutural no âmbito financeiro.

Aliado ao menor custo, a alvenaria estrutural também apresentou o menor prazo, sendo 2 meses mais rápida para a construção do mesmo empreendimento nas condições consideradas, representando assim, redução de 38% no tempo para execução da estrutura e vedações. Isso implica em uma redução ainda maior no prazo total, pois permite que anteriormente se execute os serviços internos como revestimentos e instalações. A antecipação do cronograma da obra traz benefícios para a empresa, que entrega antes o empreendimento e possibilita construir mais unidades no mesmo período e, também, para o cliente que recebe antes seu imóvel.

¹¹ DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre: Associação Nacional da Indústria Cerâmica, 1999.

Através deste estudo comparativo, efetivamente, comprovou-se que para empreendimentos com as mesmas características que o adotado neste trabalho, a alvenaria estrutural é uma alternativa atraente que possibilita a redução dos custos e prazos de construção, principalmente por se executar concomitantemente as etapas de estrutura e divisória de espaços. Pode-se compreender desta forma o interesse recente no sistema e a tendência que ele domine o cenário da construção habitacional de interesse social, pois alia rapidez com baixo custo, o que é fundamental para viabilizar tais empreendimentos e, por consequência, colabora diretamente na diminuição do elevado déficit habitacional do País.

Sugere-se novos estudos com outras plantas e tipologias de edifícios, como por exemplo, com mais pavimentos, a fim de verificar se as diferenças constatadas no presente comparativo se mantém, bem como se existe um limite para as vantagens da alvenaria estrutural em relação à estrutura em concreto armado.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, I. F. **Manifestações patológicas em empreendimentos habitacionais de baixa renda executados em alvenaria estrutural**: uma análise de relação de causa e efeito. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**: de acordo com a nova NBR 6118. 2 ed.. Rio Grande: Dunas, 2003.
- ASSAHI, P. N. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. In: ISAIA, G. C. (editor). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo, IBRACON, 2005, p. 407-437.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- BATLOUNI NETO, J. Diretrizes do projeto de estrutura para garantia do desempenho e custo. In: ISAIA, G. C. (Ed). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo, IBRACON, 2005, p. 201-231.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. Déficit habitacional no Brasil. Brasília 2009. Disponível em: <<http://www.fjp.gov.br/index.php/servicos/81-servicos-cei/70-deficit-habitacional-no-brasil>>. Acesso em 14 jul. 2010.
- FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1995.
- GRAZIANO, F. P. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.
- HELENE, P. Vida útil de 106 anos! Muito bem vividos. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/news/index_vida.htm>. Acesso em: 14 jul. 2010.
- HENDRY, A. W. **Structural Masonry**. London: Macmillan, 1990.
- PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS LTDA. Produtos. Disponível em: <<http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php?id=be14>>. Acesso em: 1 jun. 2010.
- PENTEADO, A. F. **Gestão da produção do sistema construtivo em alvenaria estrutural**. 2003. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.
- RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda**: uma análise da confiabilidade e da conformidade. 2007a. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RICHTER, C. **Alvenaria estrutural**: processo construtivo racionalizado. São Leopoldo: Universidade Federal do Rio dos Sinos, 2007b. Apostila do Curso de Extensão na Área de Ciências Exatas e Tecnológicas. Disponível em: <http://www.pauluzzi.com.br/restrito_artigosdl.php¹²>. Acesso em: 1 jun. 2010.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 321 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural**: contribuição ao uso. 1998. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenaria de vedação**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

THOMAZ, E. Execução, controle e desempenho das estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo, IBRACON, 2005, p. 527-581.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil**: recordes, realizações, história. São Paulo: Copiare, 1985.

¹² Para o acesso ao arquivo é necessário efetuar o cadastro no site, através do endereço:

< <http://www.pauluzzi.com.br/restrito.php>>