

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETO DE ESTRUTURAS

JULIANA MARIA SALESSE

**COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE OS PROCESSOS CONSTRUTIVOS
EM CONCRETO ARMADO E EM ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS
DE CONCRETO – ESTUDO DE CASO EM TOLEDO, PR.**

MONOGRAFIA

TOLEDO
2012

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETO DE ESTRUTURAS

**COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE OS PROCESSOS CONSTRUTIVOS
EM CONCRETO ARMADO E EM ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS
DE CONCRETO – ESTUDO DE CASO EM TOLEDO, PR.**

Monografia do curso de Especialização em Projeto de Estruturas da Universidade Tecnologia Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof^a M. Eng. Lucia Bressiani.

TOLEDO

2012



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Diretoria de Pós-Graduação e Pesquisa



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE OS PROCESSOS CONSTRUTIVOS EM CONCRETO ARMADO E EM ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS DE CONCRETO – ESTUDO DE CASO EM TOLEDO, PR.

por

JULIANA MARIA SALESSE

Esta monografia foi apresentada às quinze horas e trinta minutos do dia quatorze de dezembro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM PROJETO DE ESTRUTURAS, Linha de Pesquisa Engenharia de Estruturas, do Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Msc. Lucia Bressiani
UTFPR
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Ligia Eleodora Francovig Rachid
(Unioeste)

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR)

Visto da Coordenação

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
Coordenador do Curso

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Câmpus Toledo

Rua: Cristo Rei, 19
85902-490 – Toledo – Paraná - Brasil
Fone: (45) 3379-6800 Fax: (45) 3379-6808
www.td.utfpr.edu.br

Ministério da
Educação



RESUMO

Devido à competitividade no setor da construção civil, uma das prioridades das empresas do ramo da construção civil é a redução de custos e prazos na execução de um empreendimento. Este fato evidencia a importância do estudo de alternativas que conciliem preço e qualidade. Por atender a estes requisitos e gerar uma maior racionalização no processo construtivo, a alvenaria estrutural vem sendo amplamente utilizada. Este trabalho apresenta um comparativo, através de um estudo de caso, entre a execução da estrutura de um edifício em alvenaria estrutural e em concreto armado. Para isso foram analisados os projetos estruturais nos dois sistemas construtivos, sendo efetuado o levantamento dos quantitativos de materiais e a composição dos custos para cada um dos principais subsistemas que compõe a estrutura do edifício. Com isso foi possível observar que para o edifício em alvenaria estrutural a economia final é de 20% em relação à mesma obra com edifício em concreto armado. Este valor se aplica para uma obra na cidade de Toledo-PR, e, portanto, não é recomendável a extensão deste resultado para outras regiões. Palavras chave: Alvenaria Estrutural, Concreto Armado, Custo.

ABSTRACT

Because of the competitiveness in the construction industry, a major priority of companies in the field of construction is the reduction of costs in running a project, so the savings generated in the construction process makes possible the transfer of property to customers. This fact highlights the importance of studying alternatives that balance price and quality. Why meet these requirements and generate greater rationalization in the construction process, the structural masonry has been widely used. This work presents a comparative, through a case study of the performance of the structure of a building in structural masonry and reinforced concrete. For this we analyzed the projects in the two structural building systems, a survey was made of the quantitative composition of materials and costs for each of the major subsystems that comprise the building structure. It was then possible to observe that the structural masonry building in the final savings is 20% compared to the same work with reinforced concrete building. This value applies for a job in the city of Toledo-PR, and therefore it is not recommended to extend this result to other regions.

Keywords: Structural Masonry, Concrete, Cost.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2.3 JUSTIFICATIVA	9
3 ALVENARIA ESTRUTURAL	11
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
3.2 DEFINIÇÃO	12
3.3 COMPONENTES	13
3.3.1 Unidades	13
3.3.2 Argamassa	13
3.3.3 Graute	14
3.3.4 Armaduras	14
3.4 ASPECTOS ECONÔMICOS	14
4 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO	16
5. MATERIAIS E MÉTODOS	18
5.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO	18
5.3.1 Coordenação modular	21
5.3.2 Dimensionamento dos blocos	21
5.4 CARREGAMENTO	22
5.5 QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6.1 FUNDAÇÃO	25
6.1.1 Estacas	25
6.1.2 Vigas Baldrame e Blocos de Coroamento	27
6.2 SUPRAESTRUTURA	29
6.2.1 Lajes	29
6.2.2 Vigas e pilares	30
6.3 ALVENARIA	34
6.4 REVESTIMENTO INTERNO	36
6.5 REVESTIMENTO EXTERNO	37
6.6 CUSTO GLOBAL	39
7. CONCLUSÃO	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo	19
Figura 2: Comparativo entre os custos para a execução das fundações do edifício em alvenaria estrutural e em concreto armado	28
Figura 3: Comparativo entre os custos para a execução de vigas e pilares em alvenaria estrutural e em concreto armado	33
Figura 4: Comparativo percentual entre os sistemas	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre a carga da estrutura e a área da edificação.	25
Tabela 2: Custos das estacas para a execução do edifício em concreto armado.	26
Tabela 3: Custos das estacas para a execução do edifício em alvenaria estrutural.	26
Tabela 4: Custos dos blocos de coroamento e vigas baldrame para a execução do edifício em concreto armado.	27
Tabela 5: Custos das vigas baldrame para a execução do edifício em alvenaria estrutural.	28
Tabela 6: Custos das lajes para a execução do edifício.	30
Tabela 7: Custo para a execução das vigas em concreto armado.	31
Tabela 8: Custo para a execução das vigas do sistema em alvenaria estrutural.	31
Tabela 9: Custos para a execução dos pilares em concreto armado.	32
Tabela 10: Custos para a execução dos pilares em alvenaria estrutural.	32
Tabela 12: Custo da alvenaria para o edifício em concreto armado.	34
Tabela 13: Custos para a execução da alvenaria estrutural.	35
Tabela 14: Custo para a execução do revestimento interno para o edifício em alvenaria estrutural.	36
Tabela 15: Custo para a execução do revestimento interno para o edifício em concreto armado.	36
Tabela 16: Custos para a execução do revestimento argamassado externo para o edifício em alvenaria estrutural.	37
Tabela 17: Custos para a execução do revestimento argamassado externo para o edifício em concreto armado.	38
Tabela 18: Comparação dos custos para os sistemas construtivos.	39

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é o sistema construtivo mais antigo que ainda encontra amplas aplicações na indústria de construção civil atual.

Com as exigências cada vez maiores de qualidade na construção civil, vem crescendo também a necessidade de métodos construtivos mais eficientes, com maior produtividade e custos reduzidos, que favoreçam o gerenciamento de obras. Por atender a estes requisitos e possibilitar maior racionalização do processo construtivo, a alvenaria estrutural em blocos de concreto vem sendo amplamente utilizada.

Segundo Prudêncio Júnior (2002), o uso crescente do sistema indica seu sucesso sob o ponto de vista de competitividade quanto aos custos, em comparação com o sistema tradicional de construção de edifícios. O desenvolvimento das técnicas de projeto estrutural e o aprimoramento de seu nível de detalhamento, assim como dos materiais da alvenaria e das técnicas construtivas, têm contribuído para o grande crescimento do uso da alvenaria estrutural como uma solução eficiente para as edificações modernas.

Por outro lado, o concreto armado apresenta grandes vantagens, o que fez com que este sistema construtivo se consolidasse como um dos principais sistemas estruturais, sendo amplamente utilizado no mundo todo. É um material com excelentes qualidades plásticas, que pode ser moldado em qualquer forma, tem boa resistência à compressão, resiste bem ao fogo e é muito durável, se utilizado corretamente.

O desempenho econômico de qualquer edifício envolve custos associados a terreno, fundações, superestrutura, revestimentos, técnica construtiva, instalações, manutenção, taxas, projeto, entre outros. Estes podem ser divididos em custos iniciais, de manutenção e operação a longo prazo. A experiência mostra que quando a arquitetura é favorável, geralmente o custo da opção em alvenaria estrutural é menor quando comparada a outros sistemas estruturais. Estudos mostram que essa economia pode variar de 30% para prédios baixos de quatro andares sem pilotis, até 5% para edifícios altos de cerca de 20 pavimentos com pilotis, térreo e subsolo (PARSEKIAN, 2012).

A economia indicada para o edifício em alvenaria estrutural está relacionada com a diminuição de outros custos além da estrutura e vedação. Devido à qualidade dos blocos, que passam por um rigoroso controle de qualidade durante a produção, a variação dimensional é mínima. Deste modo, o prumo e o alinhamento das paredes durante a construção são mais precisos. Reduzindo os erros na geometria da obra, é possível minimizar as espessuras dos revestimentos e, desta forma, é possível reduzir custos (PARSEKIAN, 2012).

De acordo com Silva (2002), muitos autores apresentam dados sobre a economia gerada com a utilização da alvenaria estrutural, em relação às obras executadas em concreto armado. Porém, são poucas as pesquisas realizadas por meio de dados obtidos em obra. Portanto, muito ainda precisa ser feito em termos de pesquisa e divulgação de experiências, com o objetivo de unir opiniões e conclusões para finalmente obter dados com maior embasamento, pois é cada vez maior a busca por processos construtivos que garantam a qualidade a custos menores.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o custo da execução de um edifício em alvenaria estrutural com blocos de concreto e em concreto armado com vedação em blocos cerâmicos, para a cidade de Toledo, PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Definir as etapas da obra que possuem diferença de custo em função de cada processo construtivo;
- Quantificar o consumo de materiais empregados;
- Obter o valor real da economia que um processo construtivo apresenta em relação ao outro para o caso de um edifício de 4 pavimentos;
- Avaliar o emprego da alvenaria estrutural como alternativa ao uso do concreto armado.

2.3 JUSTIFICATIVA

Ao longo do tempo, a alvenaria estrutural tem sido apresentada como um processo construtivo racionalizado, cuja economia em relação ao concreto armado era inegável.

Devido ao crescimento da concorrência no setor da construção civil, uma das grandes prioridades das empresas do ramo da construção é a economia na execução de um empreendimento. Construir deixou de ser simplesmente uma materialização de formas e volumes e passa cada vez mais a ser uma questão de custos e controles e isso não poderia ser diferente na construção de edifícios, pois as empresas precisam economizar para viabilizar o repasse do imóvel para seus clientes (FERNANDES E SILVA FILHO, 2010).

Portanto, há a necessidade de quantificar os custos dos diferentes processos construtivos. É necessário verificar se a alvenaria estrutural realmente

apresenta a economia que as fábricas de blocos estruturais afirmam ser na ordem de 20 a 30% em relação às obras com estrutura de concreto armado.

Com os resultados desta pesquisa será possível ter uma ferramenta para avaliar a viabilidade ou não do sistema construtivo em alvenaria estrutural com o emprego de blocos de concreto em relação ao método tradicional do concreto armado para a região de Toledo-PR.

Foi feito um estudo de caso para um edifício de 4 pavimentos, pois este tipo de edifício consiste na maior parte das obras que vêm utilizando o sistema construtivo em alvenaria estrutural na já citada região. Além disso, de acordo com estudos feitos por outros pesquisadores, tem-se maior economia em relação a edifícios com mais pavimentos e com pilotis.

Embora existam outros trabalhos que explorem este tema, seus resultados não podem ser generalizados para todos os tipos de obras, pois existem particularidades que não podem ser comparadas. Além disso, como o sistema não tem sido utilizado com muita frequência na região na qual a obra em estudo está situada, não existem dados concretos sobre a economia do sistema, justificando a importância deste trabalho.

3 ALVENARIA ESTRUTURAL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A utilização da alvenaria como estrutura de edificações data de milhares de anos. De acordo com Prudêncio Júnior (2002), inicialmente eram utilizados blocos de rocha como elementos de alvenaria, mas no ano de 4000 a.C. a argila passou a ser trabalhada, possibilitando assim, a produção de tijolos. Algum tempo depois, os romanos desenvolveram a argamassa de cal, utilizada não só no assentamento, como também no revestimento. Ao longo dos séculos, obras monumentais foram construídas em diversas partes do mundo, demonstrando a capacidade portante da alvenaria. O Parthenon, na Grécia, construído entre 480 a.C. e 323 a.C. e a Muralha da China, no período de 1368 e 1644, são alguns exemplos do uso desta técnica.

Até o final do século XIX, a alvenaria predominou como material estrutural. Entretanto, devido à ausência de procedimentos de dimensionamento, estas estruturas eram demasiadamente robustas e pouco econômicas. Nessa época, surgiram as estruturas de aço e concreto armado. Respaldados por teorias racionais de cálculo e devido ao grande arrojo das formas que possibilitaram às edificações, esses novos tipos de estruturas proliferaram por todo o mundo e fizeram com que a alvenaria como estrutura fosse relegada a um segundo plano (PRUDÊNCIO JR, 2002).

No Brasil, na década de 60, devido às vantagens técnicas e econômicas a alvenaria estrutural passou a ter novo impulso como sistema construtivo. De acordo com Parsekian (2012), a partir da década de 1970, foram iniciadas pesquisas no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Estado de São Paulo, e na década de 1980, na Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo. No final da década de 1980 e início dos anos 1990, o sistema construtivo ganhou força e as parcerias Universidade-Empresa permitiram a criação de materiais e equipamentos nacionais para a produção de alvenaria.

Por ser um sistema construtivo racionalizado e com grandes vantagens técnicas e econômicas, o uso da alvenaria não armada ou com armaduras apenas, cujo dimensionamento indicava ser necessário, passou a ser corrente. De acordo com Parsekian (2012), estudos comparativos chegam à conclusão que, para prédios

residenciais com vãos moderados e de baixa ou média altura, a opção pela alvenaria estrutural poderia levar a uma considerável redução no custo.

Atualmente, no Brasil, o sistema construtivo em alvenaria tem experimentado um grande impulso. Devido à estabilização da economia, a concorrência tem feito com que uma parcela crescente do mercado passe a se preocupar mais com os custos, acelerando as pesquisas e a utilização de novos materiais (PASSOS *et al.*, 2008).

3.2 DEFINIÇÃO

Segundo Prudêncio Junior (2002), a alvenaria estrutural é um tipo de estrutura em que as paredes são elementos portantes compostos por unidades de alvenaria, unidos por juntas de argamassa capazes de resistirem a outras cargas além de seu peso próprio. Essas paredes são dimensionadas por meio de cálculos racionais, diferindo-se assim, da alvenaria resistente que é calculada empiricamente.

De acordo com Camacho (2006), a alvenaria estrutural pode ser classificada em três categorias:

a) Alvenaria estrutural não-armada: aquela constituída de blocos assentados com argamassa, podendo conter armaduras com finalidade construtivas ou de amarração, não consideradas na absorção dos esforços calculados.

b) Alvenaria estrutural armada: aquela onde paredes são constituídas de blocos assentados com argamassa, cujas cavidades são preenchidas continuamente com graute, que envolve quantidade suficiente de armaduras dimensionadas para absorver esforços calculados, além daquelas armaduras com finalidade construtiva ou de amarração.

c) Alvenaria parcialmente armada: aquela em que algumas paredes são construídas segundo as recomendações da alvenaria armada e as demais de acordo com as prescrições da alvenaria estrutural não-armada.

Em um edifício, as paredes de alvenaria devem ser dimensionadas para resistirem basicamente a quatro tipos de esforços: compressão, cisalhamento, flexões no plano e flexões fora do plano da alvenaria

3.3 COMPONENTES

Segundo Camacho (2006), componente é a menor unidade que compõe um elemento de estrutura. Os principais componentes empregados na execução de edifícios de alvenaria estrutural são as unidades (blocos), a argamassa, o graute e as armaduras (construtivas ou de cálculo), que são abordadas a seguir.

É comum também a presença de elementos pré-fabricados como vergas, contravergas, coxins, e acessórios, entre outros.

3.3.1 Unidades

As unidades ou blocos são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, uma vez que são eles que comandam a resistência à compressão e determinam os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos (CAMACHO, 2006).

Segundo Prudêncio Junior (2002), os tijolos e blocos podem ser confeccionados com diferentes materiais, sendo que os mais comumente utilizados são os de concreto e os cerâmicos. Além disso, podem apresentar diferentes formas, podendo ser maciços ou vazados. Desta forma, suas propriedades físicas e mecânicas, bem como o desempenho das alvenarias construídas com os mesmos, dependem fundamentalmente desses parâmetros.

É muito importante que o bloco possua uma boa resistência à compressão, pois a resistência da alvenaria não ultrapassa a resistência da unidade. Além disso, deve possuir estabilidade dimensional, propiciar boa vedação e uma absorção adequada para garantir a aderência da argamassa. Também deve ter dimensões adequadas para garantir a modulação.

3.3.2 Argamassa

É o componente utilizado na ligação entre os blocos, distribuindo cargas, evitando assim pontos de concentração de tensões. Garantem a vedação, propiciam aderência com as armaduras nas juntas e compensam as variações dimensionais das unidades. É composta de cimento, agregado miúdo, água e cal, sendo que algumas argamassas podem apresentar adições para melhorar determinadas

propriedades. Algumas argamassas industrializadas vêm sendo utilizadas na construção de edifícios de alvenaria estrutural (CAMACHO, 2006).

A resistência à compressão da alvenaria é consequência do resultado do conjunto de componentes, ou seja, argamassa e blocos. A espessura da junta de argamassa pode alterar a capacidade de resistência e de acomodar tensões da alvenaria. De acordo com a NBR 15812-2 (2011) a espessura da junta deve ter 10 ± 3 mm. Espessuras maiores que 10 mm ocasionam redução da resistência das alvenarias, em razão do aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades.

3.3.3 Graute

O graute consiste em um concreto fino (micro-concreto), formado de cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequena dimensão (até 9,5mm), devendo apresentar como característica alta fluidez, de modo a preencher adequadamente os vazios dos blocos onde serão lançados. Têm como funções aumentar a resistência da parede e proporcionar boa aderência com as armaduras (CAMACHO, 2006).

Geralmente, o graute é lançado nos vazios das extremidades das paredes e naqueles próximos às aberturas como portas e janelas.

3.3.4 Armaduras

Segundo Camacho (2006), as armaduras empregadas na alvenaria estrutural são as mesmas utilizadas no concreto armado e estão sempre presentes na forma de armadura construtiva ou de cálculo. Têm como funções principais absorver esforços de tração e/ou compressão e cobrir necessidades construtivas.

3.4 ASPECTOS ECONÔMICOS

De acordo com Parsekian (2012), a economia indicada para o edifício em alvenaria estrutural está relacionada com a diminuição de outros custos além da estrutura e vedação. Em função da qualidade dos blocos, com rigoroso padrão dimensional, a construção rigorosa da parede, mantendo-se o prumo e demais

requisitos geométricos, permite que a espessura do revestimento seja a mínima necessária, sendo este um importante redutor de custo.

As fundações são normalmente simplificadas, especialmente se as paredes estruturais chegam até o solo. A superestrutura consiste basicamente de lajes e paredes, não sendo necessários detalhes especiais de ligação entre esses elementos. O tipo de laje é normalmente escolhido pela opção mais econômica para a situação do empreendimento (PARSEKIAN, 2012).

Segundo Camacho (2006), a redução de custos que se obtém no uso da alvenaria estrutural está intimamente relacionada à adequada aplicação das técnicas de projeto e execução. Esta redução pode chegar em até 30%, em função da simplificação das técnicas de execução e da economia de fôrmas e escoramento.

Os blocos são assentados rapidamente na obra sem necessidade de equipamentos especiais, e não são necessárias fôrmas e armações mais complexas para essa etapa. Existe, portanto, menor quantidade de tipos de materiais e processos para serem comprados, programados e controlados. A parede ganha resistência rapidamente e um tempo mínimo de espera é necessário antes da construção do pavimento superior. São comuns casos de construção de edifícios com cada pavimento finalizado a cada três dias, quando a laje é pré-moldada. Para lajes moldadas no local, é comum a construção de um andar por semana.

Da mesma forma, o assentamento dos blocos (de dimensão razoavelmente maior que de um tijolo comum) é geralmente mais econômico e produtivo. A produtividade também é aumentada quando a distribuição dos blocos é planejada de forma modular, sem cortes (padrão para alvenaria estrutural). A múltipla função das paredes (estrutural, estética, de compartimentação, isolamento térmico e acústico) permite uma grande competitividade da solução em alvenaria estrutural (PARSEKIAN, 2012).

Segundo o mesmo autor, todos esses aspectos positivos podem ser otimizados na fase de concepção e projeto, de acordo com as características de cada empreendimento. Se feita corretamente, a construção é extremamente durável, com mínima manutenção, como podem atestar as inúmeras construções ainda hoje existentes.

4 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

Segundo a NBR 6118 (2003), elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

A união da propriedade de resistência à tração do aço com a resistência à compressão do concreto permite alcançar grandes vãos e vencer alturas extraordinárias.

O uso do concreto se difundiu rapidamente, principalmente após o término da Segunda Guerra Mundial, em 1945, para reconstrução dos países devastados pelo conflito. Sua grande aceitação se deve a várias vantagens, como possuir propriedades adequadas e versatilidade que influem para seu emprego extensivo em diversos tipos de construção (ISAIA, 2005).

Por apresentar consistência plástica no estado fresco, é moldado em fôrmas que podem apresentar ampla liberdade de formas e dimensões para execução dos elementos estruturais. Quando bem projetado, dosado e executado, o concreto apresenta estruturas com durabilidade adequada, com resistência aos agentes agressivos ambientais (ISAIA, 2005).

Outra razão para a popularidade do concreto entre os engenheiros é que ele normalmente é o material mais barato e mais facilmente disponível no canteiro (MEHTA e MONTEIRO, 1994). As matérias primas têm custo relativamente baixo e são disponíveis com abundância na maioria dos locais onde é empregado, pois, na sua composição, estão presentes os cinco elementos químicos mais abundantes do planeta: o oxigênio, o silício, o alumínio, o ferro e o cálcio.

O emprego do concreto armado traz as seguintes vantagens, além das citadas anteriormente:

- É facilmente adaptável às formas, por ser lançado em estado semifluído, o que abre enormes possibilidades para a concepção arquitetônica;
- Economia nas construções pela possibilidade de obtenção de materiais nas proximidades da obra;

- Facilidade e rapidez na construção com o uso de peças pré-moldadas, estruturais ou não, e de tecnologias avançadas para a execução de formas e escoramentos;
- Durabilidade elevada. Os custos da manutenção das estruturas de concreto são baixos, quanto atendidos os requisitos das normas técnicas;
- Boa resistência a choques, vibrações e altas temperaturas. A resistência a compressão aumenta com a idade.

Contudo, o concreto armado apresenta algumas desvantagens. Uma delas é a fissuração inerente à baixa resistência a tração. A tendência a fissuração se inicia na moldagem das peças, pela retração do concreto, característica intrínseca à sua composição, e persiste durante toda vida útil da estrutura, pelas condições ambientais, pela utilização, movimentação térmica, e outros fatores. Se esta fissuração estiver acima do limite estabelecido pela norma, pode gerar uma série de patologias, como por exemplo, a corrosão das armaduras, podendo afetar a segurança de edificação.

Além disso, a estrutura de concreto armado apresenta um consumo elevado de fôrmas de madeira e escoramentos. As normas técnicas determinam prazos mínimos para a retirada de fôrmas e respectivos escoramentos para as diferentes peças estruturais, para garantir assim a estabilidade da estrutura até que o concreto ganhe resistência. Desta forma, o processo acaba se tornando mais lento.

Como desvantagem também pode ser citada a maior dificuldade para a execução do revestimento das paredes, pois muitas vezes, há desvios consideráveis em relação ao prumo e ao alinhamento. Desta forma, há um consumo maior de argamassa de revestimento, pois além de proporcionar o acabamento, ela é utilizada para corrigir estes desvios. Sendo assim, a produtividade na aplicação é mais baixa.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos e materiais empregados para o cumprimento dos objetivos especificados anteriormente.

5.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

O edifício escolhido para a elaboração deste trabalho está sendo executado no bairro Jardim Pancera, no município de Toledo, estado do Paraná. É composto por quatro pavimentos com destinação residencial, sendo dois apartamentos por pavimento, totalizando oito apartamentos. Cada apartamento é constituído por dois quartos, sala, cozinha, área de serviço, banheiro e sacada, cada um com 72,53m² de área total. Na cobertura há um salão de festas de uso comum. A área total da obra é de 580,20m².

Apenas os serviços que apresentam diferença de custo na execução da obra em virtude da utilização dos diferentes processos construtivos avaliados são comparados. É o caso dos serviços de revestimento cerâmico, pintura e cobertura, que não são influenciados pelo processo construtivo.

Da mesma forma, o custo da infraestrutura do empreendimento tal como muros, pavimentações, paisagismo, central de gás, entre outros não são influenciados pelo processo construtivo e, portanto, não são computados neste trabalho.

A planta baixa do pavimento tipo da edificação em estudo é apresentada na Figura 1 a seguir.

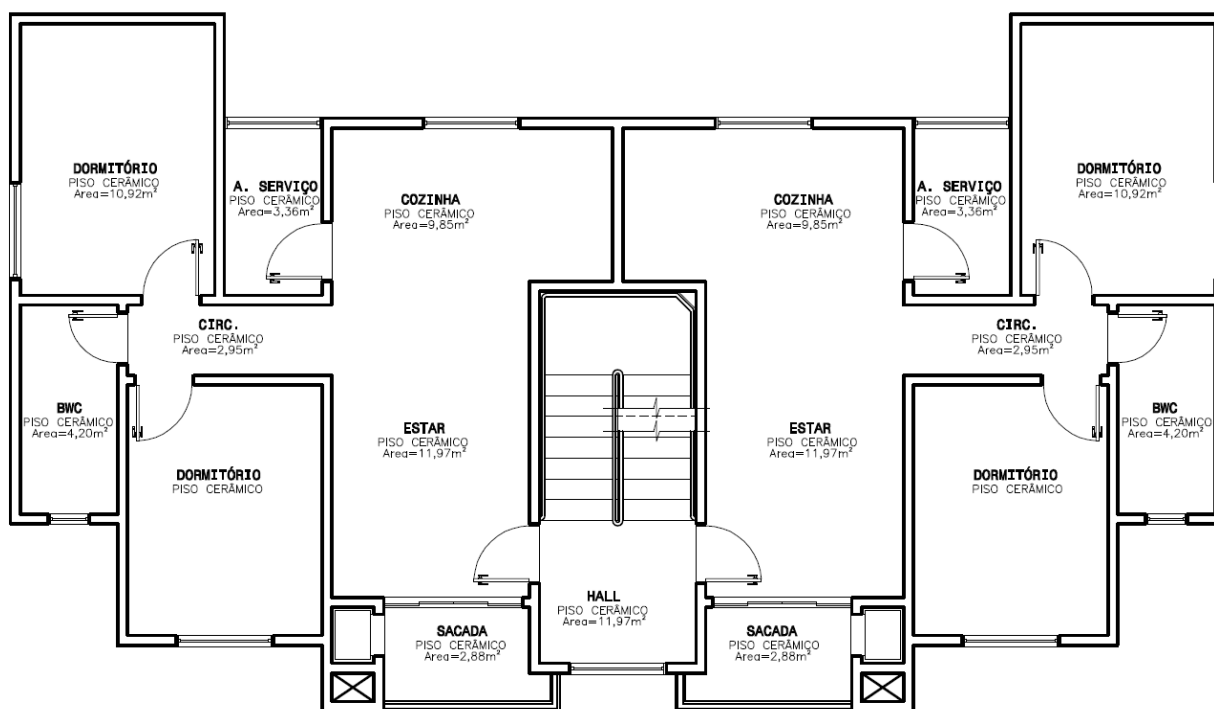


Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo

5.2 ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO

O projeto estrutural em concreto armado foi elaborado apenas para fins de comparação de custo dos sistemas estruturais, sendo que este não será executado. Este projeto foi feito com o auxílio do *software* Cypecad 2011, de acordo com a NBR 6118 (2003). Este programa analisa a estrutura em um modelo pórtico espacial, além de executar o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais tais como, lajes, vigas, pilares, blocos sobre estacas e sapatas. A estrutura foi lançada tendo como referência o projeto arquitetônico.

Através do *software* foi obtido o quantitativo de materiais, onde se obteve o volume de concreto e o quantitativo de aço e fôrmas. Este quantitativo foi utilizado no levantamento de materiais do sistema convencional.

A fundação foi concebida em estacas, com profundidades variáveis de acordo com a carga de cada pilar. Na transição entre as estacas e os pilares foi dimensionado um bloco de coroamento.

As vigas possuem espessura de 12 cm, correspondentes ao bloco cerâmico de vedação utilizado, e altura de 40 cm, ou seja, foi adotada uma seção padrão. Os pilares foram dimensionados com seções diferentes, de acordo com o carregamento recebido, limitando-se a distância máxima de 5 metros entre eles. As lajes utilizadas

no estudo são do tipo pré fabricadas com vigotas de concreto, com altura de 12 cm, e também lajes maciças, com altura de 10cm.

A resistência à compressão do concreto utilizado é de 20 MPa e os cobrimentos de 2,5cm, de acordo com a classe de agressividade I da NBR 6118 (2003).

O revestimento das paredes é considerado como camada única de argamassa sobre chapisco, com espessura final de aproximadamente 2,0cm.

5.3 ALVENARIA ESTRUTURAL

O projeto arquitetônico do edifício em estudo foi desenvolvido para ser executado em alvenaria estrutural, ou seja, suas dimensões foram planejadas de forma que facilitassem a modulação dos blocos. Portanto, o projeto de alvenaria estrutural foi utilizado para a execução do edifício, sendo que a obra neste sistema construtivo foi finalizada recentemente.

Para a elaboração deste projeto foi utilizado apenas o *software* AutoCAD 2007. Este programa, que é uma ferramenta auxiliar para elaboração de desenhos, foi utilizada para planejar a modulação dos blocos. Foi utilizado o *software* Cypecad 2011 apenas para o dimensionamento das vigas baldrames, sendo que os demais cálculos estruturais foram efetuados pelo engenheiro projetista.

A fundação foi projetada com estacas de apoio para as vigas baldrames em concreto armado, ou seja, sem blocos de coroamento, sendo que as próprias vigas baldrames são as estruturas de transição.

O concreto empregado tanto nas fundações quanto nas vigas baldrames é usinado e possui resistência de 20MPa, fator água cimento de no máximo 0,60, com agregados graúdos de no máximo 19 mm de diâmetro.

Os blocos de concreto oferecem uma resistência à compressão de 4,5MPa, assentados com argamassa de resistência 3,15MPa, formando uma junta de 1cm entre os blocos.

Para fazer a amarração nos encontros entre as paredes, vergas, contra vergas, contorno de aberturas, contato entre as duas primeiras fiadas de blocos e as vigas baldrames, foi feito grauteamento dos vazados dos blocos. O objetivo foi efetuar a consolidação das armaduras com as unidades de alvenaria. O graute

empregado deve apresentar 14MPa de resistência à compressão e *slump* de 20 cm (± 1 cm).

A maior parte das lajes foi prevista para ser pré fabricada com vigotas de concreto e altura de 12cm. Também existem algumas lajes maciças armadas nas duas direções, com altura de 10cm.

O revestimento das paredes internas não foi feito com argamassa, e sim com uma camada de gesso corrido de aproximadamente 5 mm. As paredes externas foram revestidas com camada única de argamassa sobre chapisco, tendo este revestimento uma espessura final de aproximadamente 1,5cm.

5.3.1 Coordenação modular

Os blocos de concreto utilizados na análise deste trabalho são fabricados numa indústria da região, na qual é feito controle sobre as características de resistência e integridade das unidades produzidas. São utilizados blocos da família 39, ou seja, com as dimensões de 14x19x39cm, 14x19x34cm, 14x19x54cm e 14x19x19, assim como blocos meia canaleta, com 14x19x19cm, blocos jota de 14x31x19cm e 14x19x7cm, pastilhas de 14x19x4cm e blocos de 14x19x24cm.

A última fiada de cada pavimento será executada com blocos canaleta 14x19x19cm ou blocos jota de 14x31x19. O procedimento correto a ser adotado deveria ser o preenchimento desta fiada com o mesmo graute empregado nos demais vazados dos blocos, ou seja, com resistência de 14MPa. No entanto, é prática comum nas obras de alvenaria estrutural a concretagem desta última fiada juntamente com a laje, ou seja, os blocos canaletas serem preenchidos com concreto de 20 MPa para consolidar as barras de aço com diâmetro variável de acordo com a parede. Desta forma, foi considerada esta situação para o levantamento de quantitativos, pois esta foi a solução adotada na obra.

5.3.2 Dimensionamento dos blocos

Para a determinação da resistência dos blocos e do volume de graute necessário para aumento da resistência das paredes mais solicitadas, foi elaborado o projeto estrutural do edifício conforme as prescrições da NBR 10837 (1989). Neste projeto foram considerados os carregamentos verticais e os carregamentos

horizontais provenientes da ação do vento e do desaprumo. O procedimento de distribuição das cargas verticais foi executado utilizando grupos isolados de paredes.

A resistência da argamassa utilizada no dimensionamento foi de 3,15MPa e a eficiência prisma/bloco foi de 0,8. Esta resistência foi definida através do procedimento de resistência a compressão das paredes, sendo definida a resistência de 4,5MPa para todo o edifício. Desta forma, nas paredes que necessitariam de blocos com maiores resistências, foi previsto no projeto o uso de graute em alguns vazados dos blocos, evitando assim o uso de blocos com diferentes resistências.

5.4 CARREGAMENTO

Para a determinação da sobrecarga utilizada no carregamento da estrutura foi utilizada a NBR 6120 (1980), norma que prevê cargas para o cálculo de estruturas de edificações. No cálculo das ações verticais permanentes utilizaram-se os valores do peso específico dos materiais. Como ações permanentes diretas são consideradas o peso próprio da estrutura, dos elementos de construção e do reservatório.

Como o edifício em estudo é de uso exclusivamente residencial, considera-se uma carga acidental de 1,5KN/m² nas lajes de piso de dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro e de 2,0KN/m² em áreas de serviço.

Para o carregamento horizontal foi considerada a ação do vento nas fachadas verticais. De acordo com a NBR 6123 (1998), para a região de Toledo-PR, a velocidade básica do vento (V_0) é de 47m/s. Segundo a mesma norma, o terreno em estudo pode ser classificado pelo fator topográfico (S1) como plano, a rugosidade do terreno como categoria II, já que no seu entorno observam-se apenas árvores e edificações baixas, e o fator estatístico em função do uso da edificação é de 1,00, já que a edificação pertence ao grupo II por ser residencial.

5.5 QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Quando se quer conhecer o desempenho real de um processo construtivo é necessário efetuar medições. Neste trabalho, foram determinados somente os custos diretos da construção com base nos projetos, ou seja, não foi efetuada a

apropriação de dados na obra. Entende-se por custos diretos aqueles relativos à produção, referentes a materiais, aos equipamentos e mão de obra diretamente aplicados nos serviços.

Devido à maior racionalização da obra para o processo construtivo em alvenaria estrutural, sabe-se que o tempo estimado para a execução da obra é menor. Esta racionalização consiste em canteiros de obras mais organizados, menor acúmulo de resíduos, projetos padronizados e com modulação que elevam a produtividade dos operários, além da mão de obra treinada, entre outros fatores.

Como a obra em concreto armado não foi executada, não foi possível determinar o tempo necessário para a execução da mesma. Portanto, neste trabalho, o tempo estimado para a execução da obra em cada um dos sistemas construtivos foi considerado como igual.

Os custos indiretos envolvidos na administração dos negócios da empresa executante (administração, encargos fiscais da obra, entre outros) não foram avaliados.

O custo da infraestrutura do empreendimento, tal como muros, pavimentações, paisagismo, central de gás, assim como revestimentos cerâmicos e cobertura, não são influenciados pelo processo construtivo e, portanto, não são avaliados neste trabalho.

Normalmente, as obras em concreto armado apresentam consumo extra de materiais, tal como argamassa, e mão de obra para execução e posteriormente fechamento de rasgos na alvenaria destinados às instalações elétricas, telefônica e hidráulica. No entanto, devido à dificuldade de quantificar tais custos, estes não foram computados. Desta forma, os serviços de instalação elétrica e hidráulica foram considerados como iguais.

A comparação de dados foi efetuada por serviços, de acordo com a seguinte ordem:

- Fundação:
 - Estacas;
 - Vigas baldrame e blocos de coroamento;
- Supraestrutura:
 - Lajes;
 - Vigas e pilares;

- Paredes de alvenaria;
- Revestimento interno;
- Revestimento externo.

O preço médio dos materiais foi obtido junto à tabela SEOP 2012, na qual o valor da mão de obra já está incluso no preço unitário do serviço. Os serviços não encontrados nesta tabela foram obtidos através de consultas a três lojas de materiais de construção civil da cidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 FUNDAÇÃO

A partir do memorial de cálculo para as cargas na fundação fornecido pelo projetista para os dois projetos, foi possível obter uma relação entre o peso da estrutura e a área construída para os sistemas construtivos em estudo. A Tabela 1 a seguir apresenta estes índices.

Tabela 1: Relação entre a carga da estrutura e a área da edificação.

Sistema construtivo	Carga (tf)	Índice (tf/m²)
Alvenaria Estrutural	762	1,310
Concreto Amado	624	1,075

Pode-se observar que a carga total da edificação obtida para o sistema construtivo em alvenaria estrutural é aproximadamente 22% maior em relação à carga da edificação em concreto armado. Pode-se explicar esta diferença pelo fato de os blocos cerâmicos apresentarem peso específico inferior aos blocos de concreto.

6.1.1 Estacas

No projeto estrutural em concreto armado, as fundações são dimensionadas considerando-se que as cargas recebidas por elas através dos pilares são concentradas. Desta forma, cada um dos pilares do projeto tinha um bloco de coroamento com a função de fazer a transição deste elemento com duas ou quatro estacas, dependendo da carga.

Deste modo, o projeto estrutural de concreto armado previa 25 blocos de coroamento, sendo 12 de duas estacas e 13 de quatro estacas, totalizando 76 estacas com diâmetro de 25 cm com profundidades variáveis em função da carga recebida. O total de custos previstos para a execução das estacas da edificação em concreto armado está descrito na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Custos das estacas para a execução do edifício em concreto armado.

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Escavação de estacas de ø25cm até 8m	m	226,00	8,97	2.027,22
Escavação de estacas de ø25cm de 8 a 12m	m	411,00	10,00	4.110,00
Armaduras da estacas	kg	583,54	6,42	3.746,35
Volume de concreto	m ³	31,27	268,09	8.382,82
Total				18.266,38

As fundações dimensionadas no projeto de alvenaria estrutural geralmente são contínuas, na forma de sapatas, já que as cargas chegam às fundações de forma distribuída devido ao fato de as paredes funcionarem como elementos portantes. No entanto, o solo da região não tem boa capacidade portante em suas camadas superficiais, o que não favorece o emprego deste tipo de fundação.

Assim, a solução empregada no projeto em estudo foi o uso de 74 estacas com diâmetro de 25 cm, alinhadas e espaçadas em pequenas distâncias, sobre as quais foram posicionadas diretamente as vigas baldrame, que funciona também como um bloco de coroamento. Os custos envolvidos na execução destas estacas estão discriminados na Tabela 3.

Tabela 3: Custos das estacas para a execução do edifício em alvenaria estrutural.

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total
Escavação de estacas de ø25cm até 8m	m	11,00	8,97	98,67
Escavação de estacas de ø25cm a partir de 8m	m	751,00	10,00	7.510,00
Armaduras da estacas	kg	568,19	6,42	3.647,76
Volume de concreto	m ³	37,40	268,09	10.027,80
Total				21.284,23

De acordo com as Tabelas 2 e 3 anteriores, a alvenaria estrutural teve um custo aproximadamente 14,18% superior ao do sistema em concreto armado. Esta diferença se deve ao fato de o edifício em alvenaria estrutural possuir um peso

próprio mais elevado que o concreto armado com vedação em blocos cerâmicos. Desta forma, há um aumento nas cargas da fundação, e, portanto, é necessário que as estacas possuam maior profundidade.

6.1.2 Vigas Baldrames e Blocos de Coroamento

Acima dos blocos de coroamento em concreto armado foram posicionadas as vigas baldrames. Estas vigas possuíam seção de 12x30cm. Os custos para a execução das vigas baldrames e dos blocos de coroamento para o edifício em concreto armado são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Custos dos blocos de coroamento e vigas baldrames para a execução do edifício em concreto armado.

Serviço		Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total
Escavação de valas	Vigas baldrames	m ³	4,62	21,53	99,47
	Blocos de Coroamento	m ³	14,55	21,53	313,26
Formas	Vigas baldrames	m ²	68,86	49,55	3.412,01
	Blocos de Coroamento	m ²	54,65	39,99	2.185,45
Volume de Concreto	Vigas baldrames	m ³	4,62	268,09	1.238,58
	Blocos de Coroamento	m ³	14,55	268,09	3.900,71
Armaduras	Vigas baldrames	kg	396	6,42	2.542,32
	Blocos de Coroamento	kg	960	6,42	6.163,20
Total					19.855,00

As vigas baldrames em concreto armado dimensionadas no projeto de alvenaria estrutural possuíam seção de 30x50cm e foram concretadas junto com as estacas, sendo que o custo para a execução destas vigas encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5: Custos das vigas baldrames para a execução do edifício em alvenaria estrutural

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total
Escavação de valas	m ³	19,47	21,53	419,1891
Formas	m ²	114,97	49,55	5.696,764
Volume de Concreto	m ³	19,47	268,09	5.219,712
Armaduras	kg	175	6,16	1.078,00
	kg	604	6,42	3.877,68
Total				16.291,34

As diferenças de custo para a execução das fundações da obra nos dois sistemas construtivos são apresentadas no gráfico da Figura 2 a seguir.

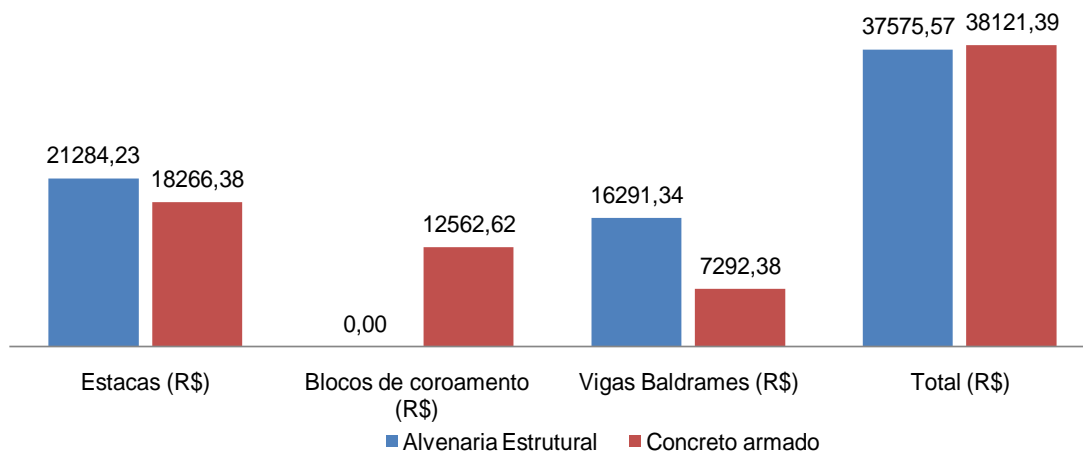


Figura 2: Comparativo entre os custos para a execução das fundações do edifício em alvenaria estrutural e em concreto armado

De acordo com o gráfico da Figura 2 pode-se verificar que em relação às fundações, os dois sistemas não apresentaram diferenças acentuadas no custo final. O fato de a alvenaria estrutural dispensar os blocos de coroamento foi compensado pela maior seção das vigas baldrames, que apresentaram um custo de 55,24% superior em relação às mesmas vigas do sistema em concreto armado.

O custo final das fundações para a estrutura de concreto armado foi superior em aproximadamente 1,43% em relação à alvenaria estrutural.

De acordo com Arcari (2010), em estudo comparativo de custos entre alvenaria estrutural e concreto armado, a primeira apresenta uma vantagem de custo de 0,15%. Desta forma, é possível constatar que diferenças desta grandeza, assim como encontrada neste trabalho, sugerem não existir diferenças de custo entre os dois sistemas.

6.2 SUPRAESTRUTURA

6.2.1 Lajes

Foram previstas lajes maciças e pré-fabricadas com vigotas de concreto, tanto no projeto estrutural em concreto armado, quanto na alvenaria estrutural. Como a utilização e a sobrecarga consideradas nos dois tipos de dimensionamento foram as mesmas, a altura das lajes nos dois projetos também coincidem. Desta forma, não houve diferença de custo entre as lajes dos dois sistemas estruturais, visto que as dimensões dos panos também eram as mesmas.

Na Tabela 6 a seguir estão descritos os custos relativos à execução das lajes tanto para a estrutura de concreto armado quanto para a alvenaria estrutural. Já está incluso nos custos o valor do escoramento.

Tabela 6: Custos das lajes para a execução do edifício.

Lajes pré-fabricadas					
Serviço	Descrição	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Fôrmas	Forma chapa compensada 12mm para laje - reap 3x	m ²	443,16	56,47	25.025,25
Laje	Laje prêmoldada treliçada, e=12cm, capa 5cm	m ²	443,16	70,73	31.344,71
Volume de Concreto	Concreto usinado FCK=20,0 MPA para lançamento mecânico, com vibração	m ³	32,50	268,09	8.712,93
Armaduras	Armadura de aço CA-50 de até ø12,5mm	kg	628,00	6,42	4.031,76
Lajes maciças					
Serviço	Descrição	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Formas	Forma chapa compensada 12mm para laje - reaproveitamento 3x	m ²	44,33	56,47	2.503,32
Volume de Concreto	Concreto usinado FCK=20,0 MPA para lançamento mecânico, com vibração	m ³	4,81	268,09	1.289,51
Armaduras	Armadura de aço CA-50 de até ø12,5mm	kg	242,00	6,42	1.553,64
Total					74.461,11

6.2.2 Vigas e pilares

As vigas utilizadas no projeto estrutural de concreto armado possuíam seção de 12x40cm no geral, sendo que apenas a armadura era variável em função do carregamento de cada uma. Foram orçadas vergas e contra vergas em todas as

aberturas. Na Tabela 7, a seguir, é possível verificar os custos envolvidos na execução das vigas em concreto armado.

Tabela 7: Custo para a execução das vigas em concreto armado

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Fôrmas	m ²	385,23	66,36	25.563,86
Volume de Concreto	m ³	30,17	268,09	8.087,52
Armaduras	kg	1.843,61	6,42	11.835,96
Total				45.487,35

As vigas e vergas utilizadas na alvenaria estrutural são elementos com a finalidade de vencer vãos sobre as aberturas em paredes, tendo sido projetadas para serem construídas em blocos canaletas grauteados. Além disso, também foram previstas vigas na última fiada, para fazer a transição entre a alvenaria e as lajes, utilizando-se blocos canaleta para as paredes internas e blocos jota para as paredes externas. Estas vigas são denominadas cintas de amarração e têm a função de transmissão das cargas, consolidação e cintamento das paredes.

Os blocos grauteados formam fiadas com a armadura horizontal dentro de uma parede e são utilizados para possibilitar a resistência à flexão, tração ou cisalhamento da alvenaria. Os custos referentes à execução destas vigas estão apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Custo para a execução das vigas do sistema em alvenaria estrutural.

Serviço	Unidade.	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Volume de graute	m ³	17,70	216,88	3.838,78
Armaduras	kg	1.119,96	6,42	7.190,12
Total				11.028,89

No projeto estrutural de concreto armado os pilares foram dimensionados com seções e armaduras diferenciadas. Os custos das fôrmas, do concreto e das armaduras para a execução desses pilares estão discriminados na Tabela 9.

Tabela 9: Custos para a execução dos pilares em concreto armado

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Formas	m ²	306,81	64,34	19.740,16
Volume de Concreto	m ³	15,66	236,64	3.705,78
Armaduras	kg	2.012,00	6,42	12.917,04
Total				36.362,98

Os pilares da alvenaria estrutural são os elementos utilizados para melhorar a rigidez da parede e é predominantemente submetido à compressão. Estes pilares, de acordo com o projeto, foram posicionados nos encontros entre as paredes e em algumas paredes mais extensas são encontrados ao longo do comprimento. Além disso, também foram previstos nas laterais das aberturas. A Tabela 10 mostra os custos demandados para a execução desses pilares.

Tabela 10: Custos para a execução dos pilares em alvenaria estrutural.

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Volume de Graute	m ³	25,73	216,88	5.580,32
Armaduras	kg	1.094,85	6,42	7.028,95
Total				12.609,27

A partir das Tabelas 7, 8, 9 e 10 é possível estabelecer uma comparação entre os custos para a execução das estruturas em relação aos elementos vigas e pilares. Esta comparação pode ser analisada de acordo com o gráfico da Figura 3.

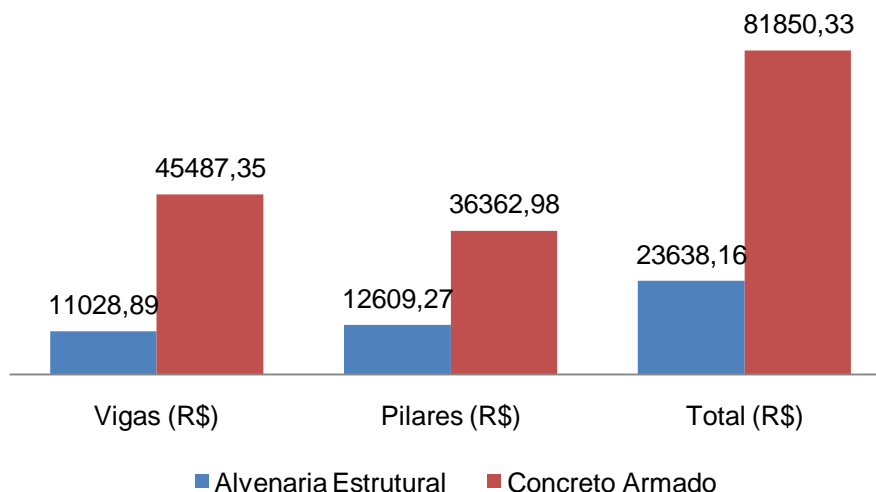


Figura 3: Comparativo entre os custos para a execução de vigas e pilares em alvenaria estrutural e em concreto armado

Pode-se verificar pela Figura 3 que, nesta etapa da obra, houve uma diferença bastante acentuada em relação aos dois métodos construtivos. A alvenaria estrutural apresentou custos aproximadamente 71,12% menores que a estrutura em concreto armado. Isto se deve ao fato de que na alvenaria estrutural as próprias paredes são os elementos portantes, ou seja, são elas que resistem às cargas tanto verticais quanto laterais e as transmitem às fundações.

Por outro lado, no concreto armado, são as vigas e os pilares que exercem a função de estruturas portantes, o que exige destas estruturas uma rigidez determinada. Desta forma, o consumo de aço e de concreto estrutural é muito maior em relação à alvenaria estrutural.

Além disso, a alvenaria estrutural dispensa fôrmas e escoramentos devido ao fato de o grauteamento ser feito diretamente nos furos dos blocos. Isto elimina custos da mão de obra que seria utilizada na execução destes elementos, ou seja, de carpinteiros e armadores, além de haver redução no consumo de concreto e aço. Além disso, há redução significativa dos resíduos gerados em obra.

6.3 ALVENARIA

No processo construtivo no qual a estrutura é feita em concreto armado, a alvenaria faz o papel apenas de vedação do edifício. Desta forma são utilizados blocos cerâmicos sem função estrutural. Na Tabela 11 pode ser verificado o custo da alvenaria para o edifício em concreto armado.

Tabela 11: Custo da alvenaria para o edifício em concreto armado.

Serviço	Descrição	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Alvenaria em blocos cerâmicos	Alvenaria de tijolos cerâmicos 9x14x19 com argamassa mista (1:4+130Kg cim/m ³)	m ²	1.373,033	31,03	42.605,21

No caso da alvenaria estrutural, como os blocos são elementos estruturais e exercem um papel muito importante para o desempenho da estrutura, seu custo é mais elevado. Isto se deve ao fato de a matéria prima para a produção dos blocos ser mais cara, além de exigirem um controle mais rigoroso, com constantes ensaios em laboratório para verificar se atendem às especificações. Os custos relativos à alvenaria estrutural do edifício em estudo estão apresentados na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Custos para a execução da alvenaria estrutural.

Blocos de concreto	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
14x19x39	un.	10.908	2,44	26.632,97
14x19x34	un.	2.856	3,17	9.052,38
14x19x54	un.	922	5,58	5.142,55
14x19x19	un.	625	1,85	1.155,00
14x19x24	un.	518	2,74	1.421,39
Compensador 14x7x19	un.	188	1,49	280,04
Meia Canaleta 14x19x19	un.	2.438	1,85	4.505,42
Bloco Jota 14x27x19	un.	1.744	3,23	5.625,45
Argamassa de assentamento	m ³	9,40	244,75	2.301,40
Total				56.116,61

O que é possível verificar pelas Tabelas 11 e 12 é que na etapa da alvenaria o custo superior se refere ao sistema em alvenaria estrutural. Este custo excede em aproximadamente 24% o custo da alvenaria de vedação para a estrutura de concreto armado. Como foi dito anteriormente, este fato se deve ao custo do bloco de concreto ser bastante elevado em relação ao bloco cerâmico, além da utilização de blocos especiais na modulação, o que também é um fator de encarecimento.

Este valor é bastante inferior ao citado por Hoffmann, Bressiani e Furlan (2012), que, para o ano de 2004 era de 115%. Segundo estes autores, esta diferença de valores pode ser justificada pela evolução do sistema em alvenaria estrutural. O aumento das opções de fornecedores de blocos pode ter proporcionado a redução do custo de transporte, maior disponibilidade de mão de obra qualificada, dentre outros fatores que possam ter acompanhado a evolução do sistema. Da mesma forma, considerando que os blocos utilizados no orçamento deste trabalho são obtidos na cidade de utilização dos mesmos, justifica-se a diferença de valores encontrados, uma vez que o custo de transporte não provocou o aumento no custo dos blocos.

6.4 REVESTIMENTO INTERNO

Considerando a baixa variação dimensional dos blocos de concreto é possível aplicar o revestimento cerâmico diretamente sobre a parede não havendo necessidade da camada de regularização. Com base nessa informação no levantamento do revestimento argamassado na alvenaria estrutural não foram quantificadas as áreas de revestimento cerâmico.

Não foi feito revestimento argamassado nas paredes internas, tendo sido aplicada uma camada de gesso corrido. Os custos da execução do revestimento interno para o edifício em alvenaria estrutural são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Custo para a execução do revestimento interno para o edifício em alvenaria estrutural

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Gesso Corrido	m ³	1.666,48	15,00	24.997,14
Total				24.997,14

Por outro lado, o revestimento interno do edifício em concreto armado foi considerado com uma camada de chapisco de argamassa feita em obra, composto por cimento, areia e água, com traço de 1:3, com espessura de aproximadamente 5 mm. Sobre o chapisco foi considerada a aplicação de uma camada de argamassa para regularização da parede, fornecendo uma espessura média de 1,5 mm. Os custos para a execução deste revestimento estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14: Custo para a execução do revestimento interno para o edifício em concreto armado

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Chapisco	m ²	1.997,77	3,58	7.152,024
Emboço	m ³	1.997,77	15,59	31.145,27
Total				38.297,29

De acordo com as Tabelas 13 e 14, pode-se verificar que, para o edifício em alvenaria estrutural, o custo para a execução do revestimento interno é aproximadamente 34,7% inferior em relação ao edifício em concreto armado.

Esta diferença pode ser explicada devido à aplicação de apenas uma camada única de gesso corrido na alvenaria estrutural. Com isso, se obtém a aplicação do

revestimento em menor tempo, com maior economia. Isso porque o revestimento possui uma espessura média de aproximadamente 5 mm, sendo feito em uma etapa. Pelo contrário, na estrutura em concreto armado, o revestimento argamassado é feito em duas etapas, o que demanda maior utilização de material e diminui a produtividade do serviço.

Como citado por Hoffmann, Bressiani e Furlan (2012), outros autores citam valores de economia proporcionada pela alvenaria estrutural aos revestimentos internos, de 35, 39 e 55%. Com isso constata-se a vantagem proporcionada pelo sistema no serviço de revestimentos internos.

6.5 REVESTIMENTO EXTERNO

O revestimento externo foi feito com chapisco de argamassa fabricada em obra, composta por cimento, areia e água, num traço de 1:3, com espessura média de 5mm. Como o chapisco é de fundamental importância para a aderência do revestimento, além de diminuir a absorção da base, esta etapa foi considerada nos dois sistemas construtivos.

A camada de argamassa aplicada sobre o chapisco constitui o corpo do revestimento e é aplicado para consertar pequenas imperfeições na base. Como na alvenaria estrutural estas imperfeições são mínimas devido à pequena variação dimensional entre os blocos, esta camada foi considerada com espessura de aproximadamente 10 mm. Os custos para a execução do revestimento externo para a edificação em alvenaria estrutural estão descritos na Tabela 15 abaixo.

Tabela 15: Custos para a execução do revestimento argamassado externo para o edifício em alvenaria estrutural

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Chapisco	m ²	832,03	3,68	3.061,86
Argamassa	m ²	832,03	13,97	11.623,40
Total				14.685,26

Para a estrutura em concreto armado, a espessura do revestimento em argamassa geralmente é maior devido ao fato de que em obras executadas em concreto armado, normalmente ocorrem erros na geometria das paredes. Ou seja, é

muito comum encontrar paredes fora de prumo ou com o alinhamento incorreto. Neste caso, o revestimento é aplicado de forma a compensar estes erros, o que acaba gerando custos mais elevados.

Além disso, é comum nas obras em concreto armado o ressalto de vigas e pilares. Este tipo de ocorrência gera a necessidade de requadros nestes pontos, o que também envolve maior demanda de insumos e menor produtividade da mão de obra. Embora os custos envolvidos para esta atividade sejam significativos, não foram contabilizados nos custos, devido à dificuldade de quantificá-los.

Os custos envolvidos na execução do revestimento argamassado para o edifício em concreto armado, com espessura total de 20 mm estão apresentados pela Tabela 16 abaixo.

Tabela 16: Custos para a execução do revestimento argamassado externo para o edifício em concreto armado

Serviço	Unidade	Quantidade	Unit. (R\$)	Total (R\$)
Chapisco	m ²	832,03	3,68	3.061,86
Reboco	m ²	832,03	15,98	13.295,78
Total				16.357,63

Como pode ser observado pelas Tabelas 15 e 16, a redução de custos para o revestimento externo para a execução do edifício em alvenaria estrutural é aproximadamente 10% inferior em relação ao edifício em concreto armado.

Esta diferença, como já foi dito anteriormente, é função da espessura média do revestimento em argamassa, que para a parede de blocos estruturais de concreto é inferior. Isto faz com que menos material seja empregado. Além disso, o tempo despendido pelo operário para aplicar o revestimento é menor, devido à regularidade da parede e ao correto alinhamento.

Desta forma, considerando a diferença de custo de 34,7% nos revestimentos internos e 10% nos revestimentos externos, obtém-se um total de 44,7% para os revestimentos. Este número é semelhante ao citado por Nunes e Junges (2008) que citam 49,4%.

6.6 CUSTO GLOBAL

De acordo com os dados dispostos nos itens anteriores é possível fazer uma comparação geral entre os custos finais de cada um dos subsistemas envolvidos na construção do edifício. Esta comparação pode ser analisada pela Tabela 17.

Tabela 17: Comparação dos custos para os sistemas construtivos.

Subsistemas	Alvenaria Estrutural (R\$)	Concreto Armado (R\$)
Estacas	21.284,23	18266,38
Vigas Baldrame e blocos de coroamento	16.291,34	19.855,00
Lajes	74.461,11	74.461,11
Vigas	11.028,89	45.487,35
Pilares	12.609,27	36.362,98
Alvenaria	56.116,61	42.605,21
Revestimento Interno	24.997,14	38.297,29
Revestimento Externo	14.685,26	16.357,63
Total	231.473,85	291.692,95

A partir destes dados, foi elaborado o gráfico da Figura 4 com os mesmos resultados dispostos em forma percentual, de forma a facilitar a interpretação dos mesmos.

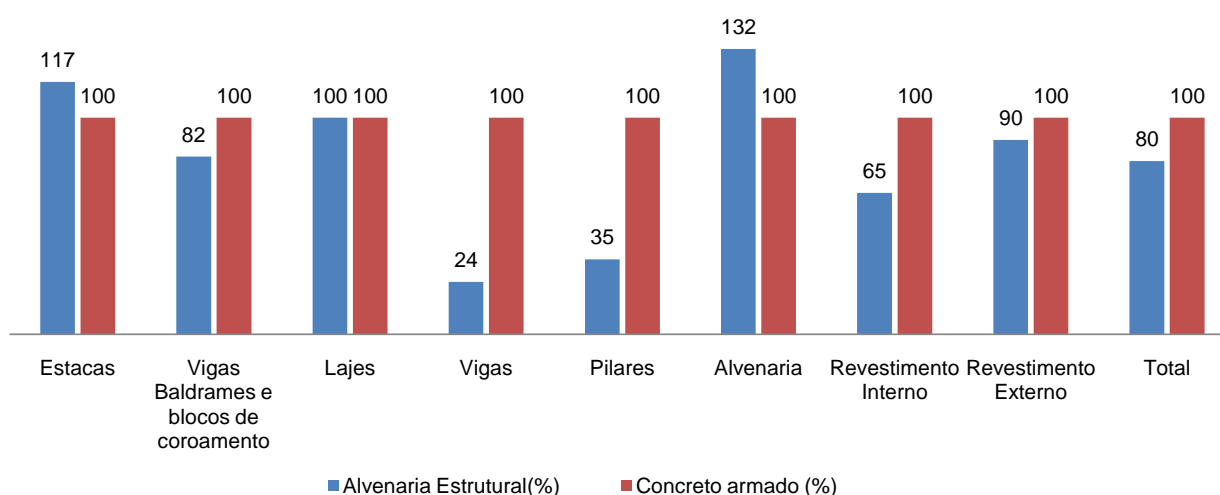


Figura 4: Comparativo percentual entre os sistemas

De acordo com a Figura 4, pode-se verificar que o sistema construtivo em alvenaria estrutural apresentou maior viabilidade em relação ao concreto armado na maioria das etapas da obra. O valor total desta economia atingiu o valor de 20%.

Segundo Wendler (2001) apud Hoffmann, Bressiani e Furlan (2012), a economia de uma obra em alvenaria estrutural pode variar entre 15 e 20% do custo total da obra. Sendo assim, o valor encontrado está coerente com esta previsão.

O percentual encontrado também é próximo ao apresentado por Hoffmann, Bressiani e Furlan (2012), com base em trabalhos semelhantes elaborados no ano de 2004, que é de 17,95%. No entanto, de acordo com as mesmas autoras, para pesquisas do ano de 2012, este número é de 7,35%. Desta forma, a não concordância de percentuais apresentados pelos autores citados pode ser justificado pela diferença do local de realização da pesquisa, sendo que os dados apresentados podem se referir a estudos desenvolvidos em diferentes regiões, e, portanto, se referem a situações distintas em termos de custos de materiais e mão de obra. Além disso, o levantamento de custos nos trabalhos analisados pode não ter levado em consideração os mesmos serviços, o que pode justificar as diferenças encontradas.

7. CONCLUSÃO

O aumento da competitividade na construção civil tem levado as construtoras a buscar novas alternativas para reduzir os custos mantendo a qualidade do produto final. Dentre os diversos sistemas construtivos existentes, a alvenaria estrutural de blocos de concreto tem sido uma opção muito adotada. Além de gerar economia na obra, este sistema construtivo permite maior racionalização do processo, menor geração de resíduos e menos perdas de materiais.

Com a realização da comparação deste processo construtivo com o processo convencional em concreto armado, foi possível concluir que as maiores diferenças de custo observadas são relativas às etapas de vigas e pilares, na qual a alvenaria estrutural oferece grandes vantagens, apresentando um custo 76% inferior no caso das vigas e 65% para os pilares. Além disso, como dispensa blocos de coroamento, gerou uma economia de 16% na infra-estrutura do edifício.

Desta forma, para a obra em estudo, a alvenaria estrutural apresentou um custo 71% inferior em relação à estrutura em concreto armado. Este percentual é superior àqueles citados por Hoffmann, Bressiani e Furlan (2012). Segundo estes autores, relativamente aos dados extraídos de pesquisas anteriores, para o ano de 2004, a economia apresentada pelo sistema em alvenaria estrutural de blocos de concreto em relação à estrutura era de 40% e no ano de 2008, este valor era de 26,38%.

Esta diferença de percentuais pode ser justificada pelo período de realização da pesquisa, conforme foi dito anteriormente. Além disso, o local de realização da pesquisa pode gerar diferenças nos resultados, pois há diferenças de custos dos materiais, equipamentos e da mão de obra de acordo com a região.

Em relação às estacas, a alvenaria estrutural teve um custo 14% superior ao do sistema em concreto armado. Isto pode ser explicado pelo fato de o edifício em alvenaria estrutural possuir um peso próprio mais elevado que o concreto armado com vedação em blocos cerâmicos. Desta forma, há um aumento nas cargas da fundação, gerando a necessidade de as estacas possuírem maior profundidade.

Os valores calculados para as lajes dos dois sistemas construtivos foram equivalentes. Isto pode ser explicado pelo fato de as cargas de utilização e

sobrecargas consideradas nos dois tipos de dimensionamento foram as mesmas. Portanto, a altura das lajes nos dois projetos também coincide.

O custo da alvenaria para a execução do edifício em alvenaria estrutural foi superior ao do sistema convencional em aproximadamente 24%. Isto porque o custo dos blocos estruturais é bastante elevado em relação ao bloco cerâmico convencional.

Os revestimentos internos apresentaram custos 34,7% inferiores no caso da edificação em alvenaria estrutural em relação ao concreto armado. Pode-se explicar esta diferença pelo tipo dos revestimentos aplicados, que são diferentes para cada sistema construtivo. No caso da alvenaria estrutural foi considerado gesso corrido, com espessura média de aproximadamente 5 mm. Para as paredes em concreto armado considerou-se revestimento argamassado, sendo inicialmente aplicado chapisco e posteriormente uma camada de argamassa para regularização das imperfeições geométricas, totalizando uma espessura de aproximadamente 20 mm. Desta forma, a demanda de materiais e mão de obra para a edificação no sistema convencional é maior, justificando o custo mais elevado.

Além disso, na edificação em alvenaria estrutural esta etapa não é necessária nas áreas onde há revestimento cerâmico devido à baixa variação dimensional dos blocos, o que também é um redutor de custo.

Em relação aos revestimentos externos, a economia da alvenaria estrutural em relação ao concreto armado alcançou um valor de 10%. Nos dois sistemas há necessidade de fazer o revestimento inicialmente com chapisco para garantir a aderência e posteriormente uma camada de argamassa. A diferença entre os dois sistemas consiste na espessura do revestimento, que para o edifício em concreto armado é maior devido às imprecisões geométricas.

Em se tratando de revestimentos, a obra em alvenaria estrutural proporcionou economia de aproximadamente 44,7% em relação ao sistema convencional. Este valor é próximo ao citado por Nunes e Junges (2008), sendo este de 49,4%.

Após a análise de todas as etapas da obra, chegou-se a uma economia de 20% no custo final para a alvenaria estrutural em relação ao sistema convencional em concreto armado. Isto evidencia que, para o edifício em estudo, a alvenaria estrutural se torna uma alternativa economicamente viável. Além disso, o tempo de execução da estrutura é menor em consequência da maior racionalização do processo, o que permite maior rapidez no retorno do capital empregado.

É importante observar que os resultados deste trabalho se aplicam ao edifício em estudo, não sendo recomendada a generalização dos resultados. Vale ressaltar que cada obra tem suas particularidades e, portanto apresentam variações nas quantidades de materiais e mão de obra. Além disso, os custos dos insumos variam de acordo com a região, o que também influencia nos resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCARI, A. **Alvenaria estrutural e alvenaria aporcada de concreto armado: estudo comparativo de custos para execução de empreendimento habitacional de interesse social**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações: procedimento, Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural – blocos de concreto parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural – blocos de concreto parte 2: execução. Rio de Janeiro, 2011.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. Publicação do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural – NEPAE. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2006.

ISAIA, G. C. Concreto: da era Clássica à Contemporânea. In: **Concreto. Ensino, Pesquisa, e Realizações**. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2005, p. 01-45.

FERNANDES, M. J. G.; SILVA FILHO, A. F. **Estudo comparativo do uso da alvenaria estrutural com bloco de concreto simples em relação ao sistema estrutural em concreto armado**. Salvador: UCSAL, 2010.

HOFFMANN, L. G.; BRESSIANI, L.; FURLAN, G.C. **Alvenaria estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional**. In: SIMPÓSIO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, III, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1º ed. São Paulo: Pini, 1994.

NUNES, C. C.; JUNGES, E. **Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifício residencial em Cuiabá-MT**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7., 2008, Fortaleza.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos: EDUFSCar, 2012. 625p.

PASSOS, J. S.; CÂNDIDO, W. F. **Requisitos e tendências do controle da qualidade na alvenaria estrutural.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50, 2008.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, L.; BEDIN, C.A. **Alvenaria Estrutural em blocos de concreto.** Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. 208p.

SILVA, A. H. **Comparação de custos entre os processos construtivos em concreto armado e em alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e de concreto.** Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 157p.